

EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE ESCASEZ PARA AGUAS SUPERFICIALES
MEDIANTE EL CÁLCULO DE LA OFERTA Y DEMANDA HIDRICA EN LA
MICROCUEENCA DEL RÍO PALO EN EL MUNICIPIO DE PUERTO TEJADA
(CAUCA)



ESTEFANIA CORDOBA ANAYA

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
2021

EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE ESCASEZ PARA AGUAS SUPERFICIALES
MEDIANTE EL CÁLCULO DE LA OFERTA Y DEMANDA HIDRICA EN LA
MICROCUEENCA DEL RÍO PALO EN EL MUNICIPIO DE PUERTO TEJADA
(CAUCA)



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

DIRECTOR

ESP. JUAN PABLO PRADO

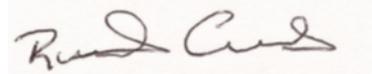
CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
2021

NOTA DE ACEPTACION

Hacemos constar que el presente trabajo de grado. EVALUACION DEL INDICE DE ESCACEZ PARA AGUAS SUPERFICIALES MEDIANTE EL CALCULO DE LA OFERTA Y DEMANDA HIDIRICA EN LA MICROCUENCA DEL RIO PALO EN EL MUNICIPIO DE PUERTO TEJADA (CAUCA), ha sido aceptado por el director y los jurados como requisito para optar al título de Ingeniero Ambiental y Sanitario.



Juan Pablo Prado
Director



Ronald Édinson Cerón
Jurado 1



Fabián Fernández
Jurado 2

Popayán, 2021

DEDICATORIA

Dedico con todo mi amor este trabajo a mi madre, ya que sin ella no lo habría logrado, tu bendición y esfuerzo a lo largo de mi vida me protege y me lleva en el camino del bien. Te amo

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a DIOS por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y brindarme una vida llena de aprendizajes experiencias y sobre todo felicidad.

Le doy gracias a una gran mujer, por sus dulces palabras de apoyo en todo momento, por los valores que me ha inculcado, por el esfuerzo que cada día tenías para brindarme la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida y sobre todo por ser un excelente ejemplo de vida a seguir, gracias madre.

Como no dar gracias a dos seres humano, esas dos personas que han sido parte fundamental en mi vida, mis segundos padres y ejemplo a seguir como personal y profesional, gracias padrinos.

A mi abuela y a mi familia, por haberme apoyado en las buenas y en las malas, sobre todo por la paciencia y amor incondicional.

Agradezco la confianza, apoyo y sobre todo su amistad a mis profesores que hicieron parte fundamental este primer escalón que finalizo.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|----|
| CAPITULO I: PROBLEMA | 15 |
| 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 15 |
| 1.2. JUSTIFICACIÓN | 16 |
| 1.3. OBJETIVOS..... | 17 |
| 1.3.1. OBJETIVO GENERAL:..... | 17 |
| 1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:..... | 17 |
| CAPITULO II: REFERENTES CONCEPTUALES | 18 |
| 2.1. MARCO CONCEPTUAL | 18 |
| 2.2. MARCO LEGAL | 19 |
| 2.3. MARCO GEOGRAFICO..... | 21 |
| CAPITULO III: METODOLOGIA..... | 22 |
| 3.1. CARACTERIZACION MORFOMETRICA | 22 |
| 3.1.1 CARTOGRAFÍA..... | 22 |
| 3.1.2 GENERACIÓN DE SALIDA GRÁFICA | 23 |
| 3.2. OFERTA HÍDRICA..... | 24 |
| 3.2.1. OFERTA HÍDRICA TOTAL (OHT) - METODO DE CAUDAL MEDIO PUNTUAL..... | 24 |
| 3.3. DEMANDA HÍDRICA | 28 |
| 3.3.1. DEMANDA HÍDRICA TOTAL..... | 28 |
| 3.4. ÍNDICE DE ESCASEZ O DISPONIBILIDAD HIDRICA..... | 28 |
| CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 30 |
| 4.1. SALIDA GRÁFICA | 30 |
| 4.2. OFERTA HÍDRICA TOTAL- MÉTODO CAUDAL MEDIO PUNTUAL | 32 |
| 4.2.1. CUANTIFICACIÓN OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE | 36 |
| 4.3. DEMANDA HÍDRICA TOTAL | 51 |
| 4.4. ÍNDICE DE ESCASEZ | 55 |
| 4.4.1. CATEGORIZACIÓN DEL ÍNDICE DE ESCASEZ | 56 |
| CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 57 |
| 5.1. CONCLUSIONES | 57 |
| 5.2. RECOMENDACIONES | 58 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS | 59 |
| ANEXOS..... | 62 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Porcentaje de Caudal disponible en función de calidad del agua del rio. | 27 |
| Tabla 2. Categorización según el índice de escasez..... | 29 |
| Tabla 3. Puntos de monitoreo de la microcuenca del rio Palo. | 30 |
| Tabla 4. Características morfo métricas subcuenca río Palo..... | 31 |
| Tabla 5. Caudales medios de los puntos de Monitoreo, Microcuenca Rio Palo.... | 32 |
| Tabla 6. Oferta total hídrica de la microcuenca del rio Palo..... | 36 |
| Tabla 7. Puntos de monitoreo para la toma de parámetros de la microcuenca del rio Palo | 36 |
| Tabla 8. Población según registros del DANE Municipio de Puerto Tejada, Cauca | 51 |
| Tabla 9. Dotación neta máxima según el nivel de complejidad | 52 |
| Tabla 10. Tabla de Dotación bruta de Puerto Tejada, Cauca | 53 |
| Tabla 11. Distribución de la demanda hídrica expresada en millones de metros cúbicos/ año..... | 54 |
| Tabla 12. Relación oferta total disponible vs demanda | 55 |
| Tabla 13. Categorización según el Índice de escasez..... | 56 |

LISTA DE ILUSTRACIONES

| | |
|--|----|
| Ilustración 1. Mapa de la ubicación geográfica de la Microcuenca del Rio Palo. ... | 23 |
| Ilustración 2. Curva de función de calidad según Coliformes fecales | 25 |
| Ilustración 3. Curva de función de calidad según porcentaje de Saturación de Oxígeno | 25 |
| Ilustración 4. Curva de función de calidad según nitratos..... | 26 |
| Ilustración 5. Curva de función de calidad según potencial de Hidrogeno | 26 |
| Ilustración 6. Curva de función de calidad según demanda bioquímica de oxígeno | 26 |
| Ilustración 7. Curva de función de calidad según fosfatos | 26 |
| Ilustración 8. Curva de función de calidad según temperatura °C | 26 |
| Ilustración 9. Curva de función de calidad según de turbidez..... | 26 |
| Ilustración 10. Curva de función de calidad según sólidos disueltos | 27 |
| Ilustración 11. Toma de los puntos de monitoreo, microcuenca rio Palo. | 33 |
| Ilustración 12. Toma de caudales de los puntos de monitoreo, microcuenca rio Palo. | 33 |
| Ilustración 13. Usuarios industriales y municipales con permisos de vertimientos al río Palo | 35 |
| Ilustración 14. Tramos del Río Palo y ubicación de captaciones y/o descargas ... | 35 |
| Ilustración 15. Toma de muestras para análisis fisicoquímico y microbiológico del punto 4..... | 37 |
| Ilustración 16. Toma de muestras para análisis fisicoquímico y microbiológico del punto 5..... | 37 |
| Ilustración 17. Detalle de descargas y extracciones del río Palo | 39 |
| Ilustración 18. Resultado ICA-NSF microcuenca rio Palo punto I. | 39 |
| Ilustración 19. Resultado ICA-NSF microcuenca rio Palo punto II. | 40 |
| Ilustración 20. Resultado ICA-NSF microcuenca rio Palo punto III | 41 |
| Ilustración 21. Detalles de descargas en la zona de estudio | 41 |
| Ilustración 22. Resultado ICA-NSF microcuenca rio Palo punto IV..... | 42 |
| Ilustración 23. Resultado ICA-NSF microcuenca rio Palo punto V..... | 43 |
| Ilustración 24. Resultado ICA-NSF microcuenca rio Palo punto VI..... | 44 |
| Ilustración 25. Resultado ICA-NSF microcuenca rio Palo punto VII..... | 44 |
| Ilustración 26. Resultado ICA-NSF microcuenca rio Palo punto VIII..... | 45 |
| Ilustración 27. Resultado ICA-NSF microcuenca rio Palo punto IX..... | 46 |
| Ilustración 28. Escala de colores, análisis ICA-NSF | 46 |
| Ilustración 29. Datos finales del ICA-NSF en los 9 puntos de la microcuenca del rio Palo | 47 |

| | |
|--|----|
| Ilustración 30. Análisis manual ICA en los 9 puntos de la Microcuenca del Rio Palo | 47 |
| Ilustración 31. Resultado análisis ICA microcuenca del rio Palo | 48 |
| Ilustración 32. Subcuenca Hidrográfica del rio Palo e identificación de microcuenca | 49 |
| Ilustración 33. IRH de la cuenca del rio Palo a partir de la curva de caudales diarios | 50 |
| Ilustración 34. Resultados alcanzados en la estimación de la demanda hídrica nacional según el IDEAM | 54 |

TABLA DE GRAFICAS

| | |
|--|----|
| Gráfica 1. Caudal zonas de la Microcuenca del rio Palo. | 34 |
|--|----|

TABLA DE ANEXOS

| | |
|---|----|
| Anexo 1. Estaciones Meteorológicas Seleccionadas..... | 62 |
| Anexo 2. Precipitación de la zona de estudio | 62 |
| Anexo 3. Temperatura Media de la zona de estudio | 63 |
| Anexo 4. Evapotranspiración de la zona de estudio..... | 63 |
| Anexo 5. Reporte resultados análisis fisicoquímicos y microbiológicos del Río Palo | 64 |

RESUMEN

El agua es un recurso vital para la vida, y fundamental en el desarrollo socio-económico. Por lo tanto, el estudio de las fuentes hídricas permite conocer el estado actual de las mismas, teniendo en cuenta las actividades que se beneficien de este recurso, así, se evaluó la oferta hídrica disponible en el río Palo, mediante el índice de escasez hídrica y la calidad del agua por medio de pruebas físico-químicas y microbiológicas, con el fin de asegurar la sostenibilidad de esta cuenca, aplicando la metodología expuesta en la resolución 865 del 2004 por el Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial, en la cual relaciona la oferta y demanda neta del agua, considerando la importancia de esta cuenca en el desarrollo de las actividades que realiza el municipio de Puerto Tejada.

En este aspecto se pudo determinar que la oferta hídrica disponible en la cuenca del río Palo, fue de 35,16 Mm³/año. Siguiendo, se realizó la reducción por calidad de agua en la que se tuvo en cuenta 6 parámetros (DBO₅, Coliformes fecales, Nitratos, Sólidos Totales, Fosfatos Totales y Turbidez) mediante la herramienta Ictest en la versión 1.0, donde el resultado fue medianamente contaminada, por lo cual se hizo una reducción del 15%. Además, se hizo reducción por caudal ecológico del 25%. También se realizó una proyección para identificar las actividades que más se abastecen de esta fuente, siendo la agrícola la principal actividad con mayor demanda hídrica anual de 25,78 Mm³/año.

Palabras clave: Oferta hídrica, índice de escasez, físico-químicas, microbiológicas, disponibilidad hídrica, caudal ecológico, demanda hídrica.

ABSTRACT

Water is a vital resource for life and fundamental for socioeconomic development. Therefore, the study of water sources allows us to know their current status, taking into account the activities that benefit from this resource. Thus, the water supply available in the Palo River was evaluated through the water scarcity index and water quality through physical-chemical and microbiological tests, in order to ensure the sustainability of this basin, applying the methodology set forth in resolution 865 of 2004 by the Ministry of the Environment, Housing and Territorial Development, which relates the net water supply and demand, considering the importance of this basin in the development of the activities carried out by the municipality of Puerto Tejada.

In this aspect, it was determined that the available water supply in the Palo river basin was 35.16 Mm³/year. Next, a reduction was made for water quality, taking into account 6 parameters (BOD, fecal coliforms, nitrates, total solids, total phosphates and turbidity) using the Icatest tool in version 1.0, where the result was moderately polluted, so a reduction of 15% was made. In addition, a 25% reduction was made for ecological flow. A projection was also made to identify the activities that are most supplied by this source, with agriculture being the main activity with the highest annual water demand of 25.78 Mm³/year.

Key words: Water supply, scarcity index, physical-chemical, microbiological, water availability, ecological flow, water demand.

INTRODUCCIÓN

El agua para la vida es un recurso imprescindible y al mismo tiempo el acelerado crecimiento de la población humana y su demanda, comprometen cada vez más su disponibilidad. La importancia de este recurso plantea retos que deben ser abordados con prioridad. Es así como nace la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico que busca garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico, mediante la gestión y el uso eficiente y eficaz, articulados al ordenamiento y uso del territorio y a la conservación de los ecosistemas que regulan la oferta hídrica, considerando el agua como factor de desarrollo económico y de bienestar social, implementando procesos de participación equitativa e incluyente [1]. En relación con la administración del agua, se debe partir del ordenamiento del recurso para determinar sus usos e identificar los conflictos existentes o potenciales, en cuyo caso, se debe optar por reglamentar la corriente hídrica distribuyendo y asignando el caudal disponible” [2].

Particularmente la reglamentación del recurso hídrico traza como objetivos lograr una eficiente administración del uso del agua, para ejercer control y vigilancia en las captaciones de las corrientes reglamentadas y conocer las condiciones actuales y futuras de oferta y demanda de las cuencas, evitando conflictos entre usuarios por el acceso al recurso. Todo esto teniendo en cuenta criterios para la preservación de los ecosistemas acuáticos [2].

El estudio tiene lugar en el municipio de Puerto Tejada (Cauca) el área de la subcuenca es aproximadamente 153.262,8 hectáreas (Has). Su principal alcance es establecer un diagnóstico de Oferta y Demanda del recurso hídrico que permita a futuro la reglamentación de uso del agua mediante una propuesta de distribución de caudales entre los usuarios actuales y potenciales de este río [3].

Este documento presenta la explicación metodológica, los resultados en términos de la Oferta – Demanda y la propuesta de distribución de caudales para la Reglamentación.

CAPITULO I: PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La escasez de agua afecta ya a todos los continentes, alrededor de 1.200 millones de personas, casi una quinta parte de la población mundial, vive en áreas de escasez física de agua por lo cual es uno de los principales desafíos del siglo XXI [4]. Se tiene en cuenta que la gestión integrada de los recursos hídricos se guían por una preocupación equilibrada por la eficiencia económica, la sostenibilidad ambiental y la igualdad social, en la práctica, al objetivo de la igualdad social se le da menos prioridad a la hora de tomar decisiones relacionadas con la asignación de agua [5].

En Colombia existe una amplia riqueza hídrica dividida entre drenajes dobles y sencillos, distribuidos en diferentes sectores del territorio nacional siendo el cuarto país del mundo con mayor disponibilidad hídrica, sin embargo, en la actualidad se presentan conflictos por el uso de este recurso, como lo es la degradación de la calidad del mismo junto a sus ecosistemas [6].

La microcuenca del río Palo en jurisdicción del municipio Puerto Tejada (Cauca), es uno de los recursos más importantes, debido a que es una fuente abastecedora de cinco acueductos de la zona rural y urbana, que benefician a esta población [7]. No obstante, la falta de información y estudios que permitan conocer la oferta, demanda y análisis morfométrico de la microcuenca en este sector. Es por ello que las necesidades de agua potable, uso de riego de cultivos y abrevaderos de animales, presenten conflictos por su uso inadecuado y desmedido sin control alguno, incidiendo en la pérdida y disminución de los atributos que mantienen el equilibrio de este ecosistema.

Por lo tanto, la problemática asociada a este recurso afecta de forma directa la capacidad de la cuenca y de forma indirecta a la población que se abastece de esta fuente incluso en tiempos de sequía, además, el crecimiento actual de la población ha congregado aún más la demanda hídrica sobre sectores donde su oferta ya es escasa [8], [9].

1.2. JUSTIFICACIÓN

El Recurso Hídrico es el epicentro del desarrollo sostenible y fundamental para el desarrollo socioeconómico, la energía, la producción de alimentos, los ecosistemas y para la supervivencia de los seres humanos. También forma parte crucial de la adaptación al cambio climático, y es un decisivo vínculo entre la sociedad y el medioambiente [10].

Es por ello que la contabilidad del agua, es decir, la organización y presentación sistemática de la información sobre los volúmenes físicos y la calidad de los caudales de agua en el entorno natural, así como los aspectos económicos del suministro y el uso del agua, son la base para el desarrollo de cualquier estrategia para afrontar la escasez de agua como medida preventiva [11].

Para Puerto Tejada (Cauca) y sus comunidades su eje hídrico es el río Palo, siendo así de vital importancia y principalmente en el desarrollo económico-social, de este modo, a lo largo de su desplazamiento se ha caracterizado por ser una fuente abastecedora de acueductos y de sustento en el desarrollo de actividades agroindustriales y entre otras que benefician a la población, tenida como prioridad su uso para el consumo humano [12].

Por este motivo se deben gestionar acciones que vayan dirigidas al cuidado y protección del río Palo en cuanto a la oferta hídrica, con el fin de establecer información y datos basados en estudios que beneficien al municipio y a las comunidades que hacen uso de este recurso. Por lo tanto, la evaluación de la oferta y demanda se hace necesaria en el tramo que hace parte en jurisdicción del municipio, debido a que se obtendrá información cualitativa y cuantitativa como la oferta total disponible para la clasificación del índice de escasez, de esta forma se podrá conocer la capacidad de distribución de la cuenca y la suficiencia de la misma para satisfacer la demanda requerida, en el sustento de las actividades realizadas en el municipio [13].

Así mismo, este estudio favorece de tal forma que generará un uso sostenible en este sector del río Palo, solventando y cubriendo las necesidades de los habitantes de Puerto Tejada, además, se podrá usar con fundamento en proyectos futuros que vayan dirigidos a la conservación y protección de la fuente, y que sirva como base en la planificación y desarrollo de actividades que vayan encaminadas en pro de la gestión de este recurso ya que no se han realizado estudios a esta zona de vida y no se conoce su estado actual [14].

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL:

Evaluar el índice de escasez para aguas superficiales mediante el cálculo de la oferta y demanda hídrica en la microcuenca del río Palo en el municipio de Puerto Tejada (Cauca).

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Realizar la consolidación de las características morfométricas de la microcuenca del río Palo mediante el levantamiento de la línea base de información.
- Cuantificar la oferta hídrica total disponible mediante el cálculo de reducción por caudal ecológico y caudal por calidad de agua en el río palo.
- Cuantificar la demanda de la microcuenca del río Palo mediante la información establecida por la resolución 0865 del 2004 perteneciente al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Determinar la disponibilidad hídrica mediante el índice de escases en el río Palo.

CAPITULO II: REFERENTES CONCEPTUALES

2.1. MARCO CONCEPTUAL

El objeto fundamental en el manejo de los denominados recursos biofísicos que hacen parte del ecosistema y en relación con las sociedades humanas dentro de su contexto ecológico, comprende como fundamento la sostenibilidad del uso del agua para orientar la gestión pública y privada del recurso hídrico hacia un desarrollo sostenible [15]. El agua, como recurso vital de vida y fundamental en el desarrollo de cualquier país, debe ser administrada en forma de que se beneficie a la población, lo cual implica adquirir responsabilidades relacionadas con su contabilización, conservación y control de uso adecuado, así como reglamentar la asignación de derechos de uso del agua. La gestión del agua tiene que ver con la forma como se administra este recurso natural, teniendo en cuenta que si hay o habrá una crisis del agua también habrá una crisis del desarrollo [16], [17].

El balance hídrico en una cuenca es fundamental en la obtención de información y conocimiento de una fuente y su capacidad de abastecimiento a las poblaciones que se benefician de este recurso. Desde la teoría el análisis de este permitirá realizar juicios para el uso de la fuente, como el principal método para conseguir un uso más racional de los recursos de agua en cuanto al espacio y tiempo a través de la construcción de obras de captación para su posterior distribución. El balance hídrico brindará información acerca de la capacidad de la microcuenca y los meses del año en el cual la fuente aumenta su caudal o lo disminuye como también se podrá realizar predicciones hidrológicas, basado en datos registrados por las estaciones meteorológicas que se encuentren cercanas al área de estudio, información que brinda el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) [18], [19].

Para la determinación del balance hídrico de una cuenca y sus componentes, existen varios métodos, teniendo en cuenta que algunos no se basan en las posibles variaciones ecológicas y/o características naturales del medio. Así mismo, el método general se basa a través de la ecuación del balance hídrico, sin embargo, esta técnica implica realizar mediciones bajo aspectos como almacenamientos y flujos de agua, pero, algunas mediciones se eliminan o se limitan en función del volumen y el periodo de tiempo utilizados en el cálculo del balance, es decir, que esta se podría reducir a una sola ecuación de una forma más general y dependiendo de su complejidad esta podrá reducirse o ampliarse [20].

La evaluación de la oferta hídrica total (OHT) con el modelo de relación Lluvia – Escorrentía, combina información de suelos, de cubierta vegetal bajo un escenario de humedad como antecedente al fenómeno de lluvias, traduciéndose todo en un índice o valor numérico que se aplica a las precipitaciones, y así poder determinar el volumen de agua superficial que transita sobre la cuenca hasta su desembocadura [21].

La determinación de variables como la oferta y demanda mediante un análisis de calidad en una fuente, permite construir un sistema de indicadores hídricos que reflejan el estado actual de las situaciones que, dentro de un enfoque sistémico con visión integral, son determinantes para la toma de decisiones en el marco de la Gestión Integral de Recursos Hídricos (GIRH) adoptado en la “Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico en Colombia” [22].

Un modelo diseñado por medio de un sistema de indicadores hídricos establece un estado de referencia de las condiciones actuales que reflejan variables determinantes para explicar la relación entre oferta y demanda del recurso hídrico ya sea superficial y/o subterráneo. De esta forma también los procesos de variación o cambio por interacción antrópica y los efectos en las condiciones de calidad de los cuerpos de agua superficial y subterránea. Así mismo, las amenazas y vulnerabilidad de los ecosistemas en la regulación hídrica (páramos, humedales, zona de recarga de acuíferos, etc.), y las potencialidades y restricciones en sistemas hídricos para el abastecimiento a la población y el aprovechamiento en las diferentes actividades socioeconómicas [22].

2.2. MARCO LEGAL

La norma fundamental para la gestión de los recursos hídricos en Colombia es el Reglamento Técnico Del Sector De Agua Potable y Saneamiento Básico RAS–2000, el cual se encarga de resaltar de manera clara los aspectos generales de los sistemas de captación de agua, por lo tanto, se tiene en cuenta la siguiente legislación aplicable a este proyecto [23].

Tabla 1: Legislación nacional aplicada

| DESCRIPCIÓN | NORMA | APLICACIÓN | REFERENCIA |
|--|-----------------------------------|--|------------|
| Fortalece la unidad de la Nación y asegura a sus integrantes la vida | Constitución política de Colombia | Art 8 intervención del Estado en el manejo y aprovechamiento de recursos naturales renovables. | [24] |

| | | | |
|---|--|--|------|
| Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. | Decreto 2811 de 1974 | Art 1, art 2, art 9 El Estado como los particulares deben procurar preservar, mediante un manejo adecuado, los recursos naturales. | [25] |
| Decreta las aguas no marítimas | Decreto 1541 de 1978 | Complementa el Decreto 2811 de 1974, específicamente para el caso del agua en todos sus estados. | [26] |
| Reglamenta en cuanto a usos del agua y residuos líquidos | Decreto 1594 de 1984 | 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). | [27] |
| Metodología para el cálculo de índice de escasez para aguas superficiales, (IES). | Resolución 0865 del 2004 | Con el fin de establecer el índice de escasez en fuentes hídricas. | [28] |
| Reglamenta los usos del agua y residuos líquidos. | Decreto 3930 de 2010 | Art 1, art 4, art 6 (3-14), art 9 para las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el Ordenamiento y del Recurso Hídrico. | [29] |
| Da directrices unificadas para el manejo agua en el país. | Política para la Gestión Integral del Recurso Hídrico 2010 | Garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico, mediante la gestión y uso eficiente, articulados al | [7] |

| | | | |
|---|----------------------|---|------|
| | | ordenamiento del territorio y a la conservación de los ecosistemas que regulan la oferta hídrica. | |
| Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible | Decreto 1076 de 2015 | Artículo 1.1.1.1.1 orienta y regula el ordenamiento del territorio y define políticas sujetas a la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables. | [30] |

Fuente: Elaboración propia

2.3. MARCO GEOGRAFICO

AREA DE ESTUDIO

El municipio de Puerto Tejada se encuentra ubicado en el norte de departamento del Cauca entre las coordenadas 3°13'48"N 76°25'03"O a 108 Km al norte de Popayán y a 17 Km al sur de Cali, limita con los municipios de Caloto y Villarrica al Sur, Jamundí al Occidente y Miranda y Padilla al Oriente, cuenta con una superficie de 368,1 Km² y una altura de 968 msnm [31].

El río Palo nace en el páramo de Santo Domingo en los límites con el Departamento del Tolima aproximadamente a 4000 msnm, esta cuenca tiene un recorrido de 92 Km en sentido Este-Oeste y desemboca en el Río Cauca a las alturas de la vereda Bocas del Palo del municipio de Puerto Tejada, cubre una extensión aproximada de 1500 Km² y constituye la red hidrográfica más importante del río Cauca en el Departamento. El río Palo en jurisdicción del municipio de Puerto Tejada es de 10,47 Km en sentido suroeste hasta su desembocadura, de los cuales 7,22 Km hacen parte del abastecimiento de actividades agroindustriales del municipio. La geomorfología de esta microcuenca sobre el área del municipio de Puerto Tejada está adherida a las superficies aluviales de este sector, comprendiendo valles aluvio-coluviales y algunos niveles de terrazas que han sido formadas por los ríos y las quebradas que comprenden el sistema hidrográfico de la cuenca [32].

CAPITULO III: METODOLOGIA

En este capítulo muestra la metodología aplicada para la evaluación del índice de escasez de la microcuenca del río Palo, ubicado en el municipio de Puerto Tejada, Cauca. La cual es conformada de cuatro fases; la primera, es la **consolidación de las características morfométricas**, consistió en la determinación de los parámetros físicos, por medio de la información cartográfica básica y de la información obtenida por la Corporación Autónoma Regional de Cauca (CRC); la segunda **Oferta hídrica total (OHT)**, donde se calcula por el método de Caudal Medio Puntual a la totalidad de la microcuenca del río Palo, la metodología se encuentra está establecida en la resolución 865 de 2004 (y sus respectivas reducciones); la tercera fase **Demanda hídrica total (DHT)**, en cuanto a la demanda hídrica se determinó en base a la información secundaria revisada en etapas previas y la información que fue recolectada en campo y la metodología establecida por la resolución 865 de 2004; Por último en la cuarta fase **Disponibilidad hídrica**, se realizó para dar cumplimiento al objetivo general, mediante la información obtenida en la oferta y demanda aplicando la fórmula de índice de escasez.

3.1. CARACTERIZACION MORFOMETRICA

El estudio y determinación de los parámetros morfométricos, determino el comportamiento hidrológico de la cuenca del río Palo, mediante una serie de variables obtenidas a través de información cartográfica básica (Área de la cuenca, longitud principal del cauce, longitud de la red de drenaje, perímetro de la cuenca, curvas de nivel). Estos aspectos o variables morfométricas y límites de las cuencas fueron obtenidos en la base de datos del IGAC a escala 1:100.000, y, además, se hizo uso de la información en formato Shape suministrada por la CRC de la subzona hidrográfica, que se encuentra en el municipio de Puerto Tejada (Cauca).

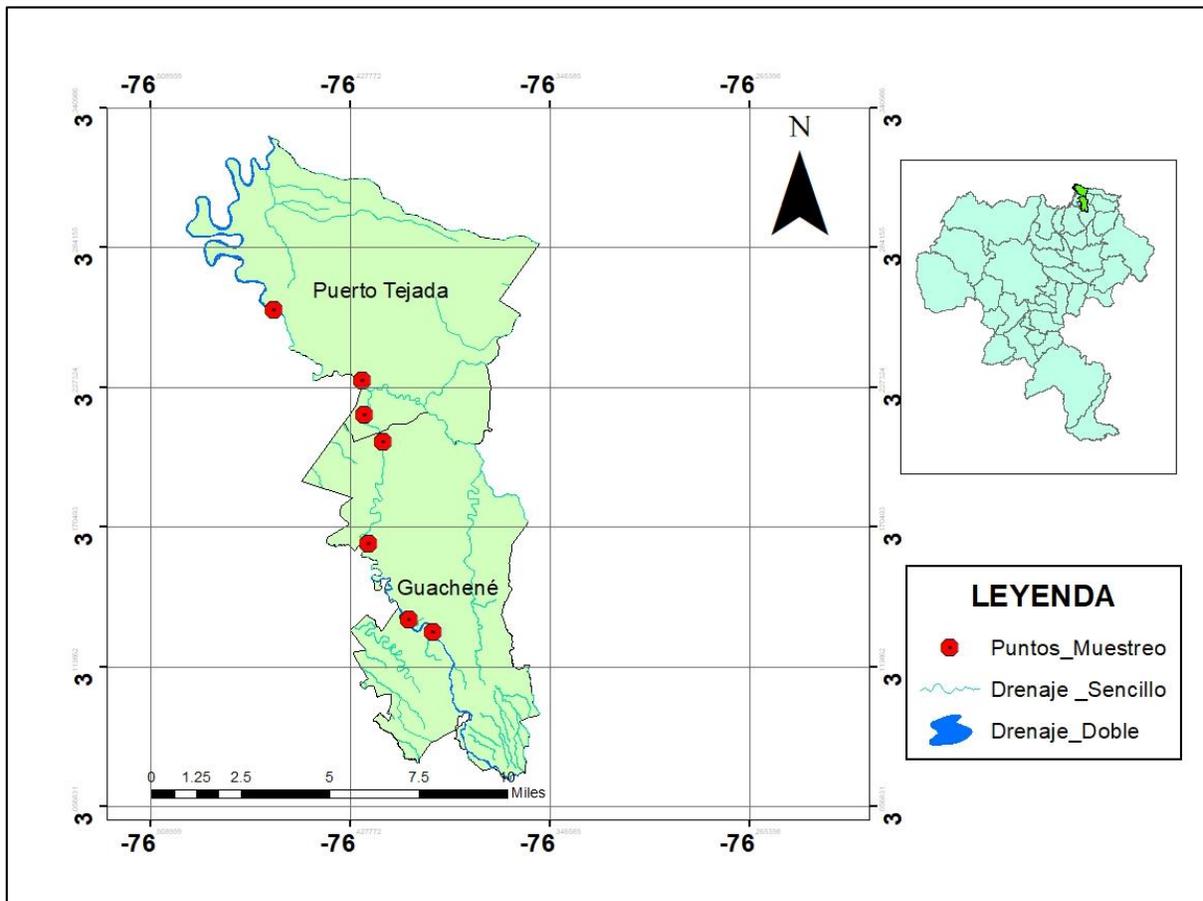
3.1.1 CARTOGRAFÍA

En esta fase se obtuvo información geográfica del municipio mediante los Geoportales y datos abiertos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia – IDEAM, IGAC e información suministrada por la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC), en la que se identificaron las coordenadas de las zonas de muestreo y las estaciones climatológicas, esto en el formato Shapefile a escala 1:25.000, proyectadas a Colombia MAGNA oeste.

3.1.2 GENERACIÓN DE SALIDA GRÁFICA

Las coordenadas geográficas de los siete puntos de monitoreo fueron consignadas en una tabla de Excel, para convertir coordenadas sexagesimales a decimales, con el propósito de generar el respectivo Shape como se observa en la ilustración 1.

Ilustración 1. Mapa de la ubicación geográfica de la Microcuenca del Rio Palo.



Fuente Elaboración Propia

3.2. OFERTA HÍDRICA

La estimación se realizó mediante la determinación de la Oferta Hídrica Total (OHT), para la cual se tuvo en cuenta la Reducción por Calidad de Agua y el Caudal Ecológico.

3.2.1. OFERTA HÍDRICA TOTAL (OHT) - METODO DE CAUDAL MEDIO PUNTUAL

La oferta hídrica total de la microcuenca del río Palo, fue calculada mediante el método de *Caudal medio puntual* de la resolución 0865 de 2004 (y sus respectivas reducciones), ya que se cuenta con series cortas de caudales y no confiables, para lo cual se utilizó la siguiente fórmula, que permitió tener un caudal de referencia [33].

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

Ecuación 1. Caudal medio puntual.

Dónde:

Q= Caudal medio (m³/s)

Qi= Caudal medido en el periodo de estudio

n= Número total de datos de caudal

3.2.1.1. Reducción por Calidad de Agua

La disponibilidad hídrica se consideró teniendo en cuenta la calidad del agua en la fuente, en consecuencia, al amplio rango de sus usos por lo cual se puede restringir o limitar dicho factor. Debido a que la mayoría de los ríos colombianos reciben y acarrean cargas de agua utilizada para los diferentes procesos de la actividad socioeconómica y son vertidos en gran porcentaje sin tratamiento previo, además son los receptores de altos volúmenes de sedimentos, originados por procesos de erosión sea esta de origen natural o derivada de la acción antrópica. Por lo tanto, se ha consolidado la forma como se realiza la afectación de la oferta por objeto de variables asociadas a la calidad de agua en la corriente hídrica, para ello se calculará el Índice de Calidad de Agua (ICA) mediante la herramienta computacional ICATEST V1.0 desarrollado por la Universidad de Pamplona [34].

Ya que se cuenta con 6 parámetros para cada uno de los puntos se utilizó la fórmula del ICA-NSF de forma manual [35].

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

Ecuación 2. Indicador ICA-NSF.

Dónde: W_i = Factor de ponderación para el subíndice i , 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, y S_i = Subíndice del parámetro.

Para asignar valores a los subíndices se tuvo en cuenta las siguientes curvas de función de calidad NSF, para cada parámetro [36], extraídas del documento *Índices de calidad y de contaminación de agua de importancia mundial*:

Ilustración 2. Curva de función de calidad según Coliformes fecales

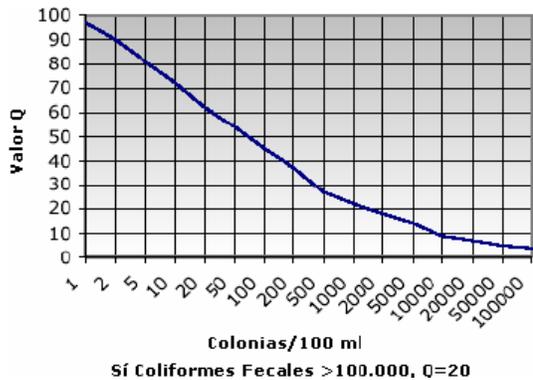


Ilustración 3. Curva de función de calidad según porcentaje de Saturación de Oxígeno

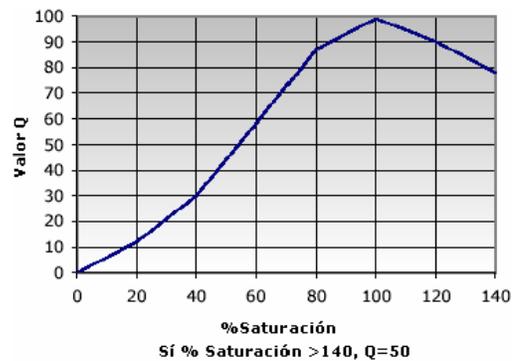


Ilustración 5. Curva de función de calidad según nitratos

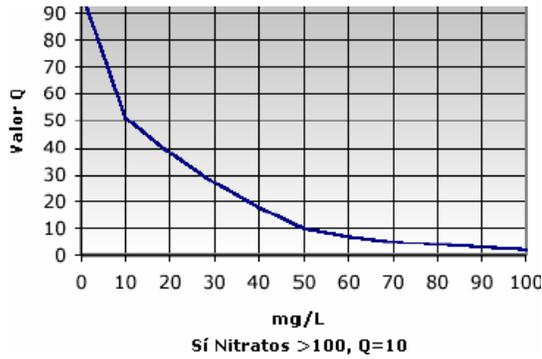


Ilustración 6. Curva de función de calidad según demanda bioquímica de oxígeno

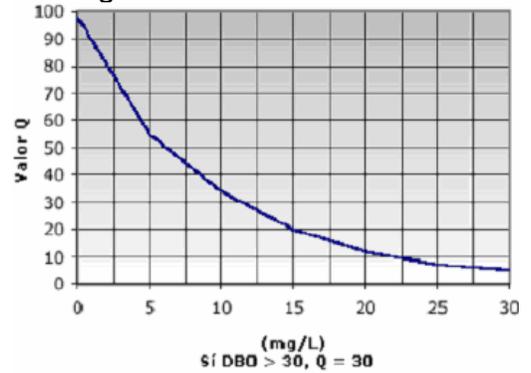


Ilustración 4. Curva de función de calidad según potencial de Hidrogeno

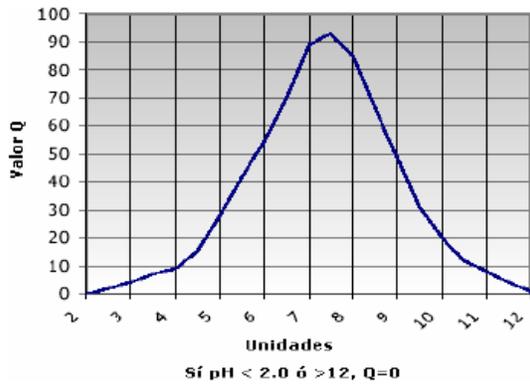


Ilustración 7. Curva de función de calidad según fosfatos

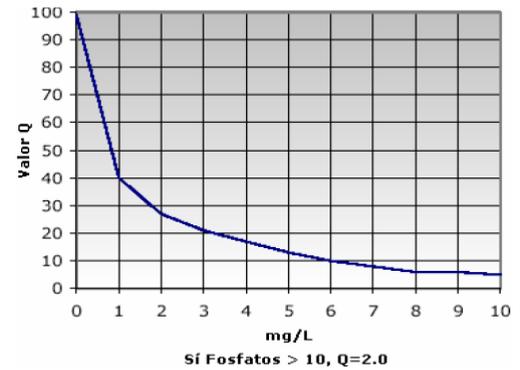


Ilustración 8. Curva de función de calidad según temperatura °C

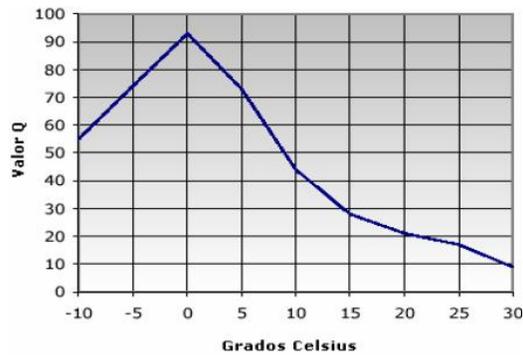
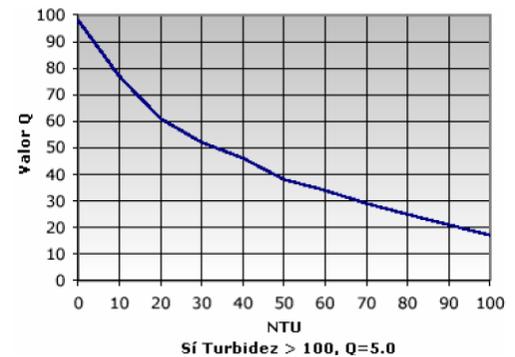


Ilustración 9. Curva de función de calidad según de turbidez



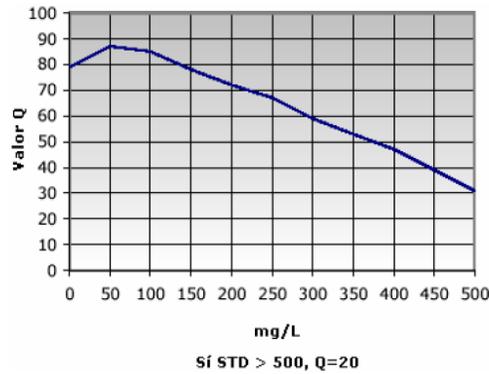


Ilustración 10. Curva de función de calidad según sólidos disueltos

Obtenido el valor del ICA y teniendo en cuenta el numeral 3.4.1 de la resolución 865 de 2004 respecto a la reducción por calidad, por la cual una vez se conozca el estado de la calidad del agua de las fuentes de abastecimiento como de los cuerpos de agua, la oferta hídrica de estos sistemas se debe afectar por el 25%, correspondiendo a la condición de calidad del agua [28]. Se adopta la tabla de *Porcentaje de Caudal disponible en función de calidad del agua del río ICA* propuesto por Brown una versión modificada del “WQI” (Water Quality Index).

Tabla 1. Porcentaje de Caudal disponible en función de calidad del agua del río

| Condición | ICA | % Afectación de Q(mín) por Calidad |
|-----------|-------|------------------------------------|
| Bueno | > 80 | 0% |
| Medio | <= 80 | 10% |
| Malo | <= 50 | 15% |
| Muy Malo | <= 25 | 20% |

Fuente: Water Quality Index

3.2.1.2. Caudal Ecológico

Para calcular la OHND se reduce la Oferta Hídrica Total (OHT) calculada en el numeral 3.2.1 teniendo en cuenta el caudal ecológico y/o ambiental se definió como el caudal entre el 20%-30% del caudal medio mensual multianual (QMM) más bajo; con el fin de proteger la biodiversidad, mantener los servicios eco sistémicos, el ciclo hidrológico, la estructura y funcionamiento de los ecosistemas, representando de esta forma también el bienestar humano, teniendo en cuenta lo establecido por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) [28].

3.3. DEMANDA HÍDRICA

En cuanto a la demanda hídrica se tuvo en cuenta la información secundaria revisada en etapas previas y la información recolectada en campo, esta dinámica de uso y demanda de agua se establecerá una vez se tenga la Oferta Hídrica y se realizó la extracción de acuerdo con la demanda por diferentes sectores y usos, así, la fórmula general para el cálculo de la demanda hídrica superficial.

3.3.1. DEMANDA HÍDRICA TOTAL

La demanda hídrica total (DHT) se calculó mediante las actividades tenidas en cuenta en el municipio con el objetivo de clasificarla dentro de los rangos propuestos por IDEAM. Estos rangos se establecerán a través de un color correspondiente, tanto para la demanda hídrica total, como para la sectorial. Así mismo, la demanda se obtendrá con la siguiente ecuación [33]:

$$DHT = Ch + Csa + Csp + Cspis + Csi$$

Donde:

DHT: Demanda hídrica total; Ch: Consumo humano o doméstico; Csa: Consumo del sector agrícola; Csp: Consumo del sector pecuario; Cspis: Consumo del sector piscicultura; Csi: Consumo industrial

3.4. ÍNDICE DE ESCASEZ O DISPONIBILIDAD HIDRICA

Una vez se realizaron las mediciones, cálculos y análisis con respecto a la oferta hídrica neta y a la demanda, se realizó el cálculo del índice de escasez a partir de la expresión matemática que se relaciona a continuación, de forma porcentual [37]:

$$Ie = \frac{Dh}{Oh} * 100$$

Ecuación para la determinación del índice de escasez

Donde:

Ie: Índice de escasez en porcentaje

Dh: Demanda hídrica en metros cúbicos (m³)

Oh: Oferta hídrica superficial neta en metros cúbicos (m³).

De conformidad con el MAVDT (2004), el índice de escasez (Ie) se agrupa en las cinco categorías que se relacionan; alto, medio alto, medio, mínimo y no significativo, establecidos por unos rangos en porcentajes que determinaran el tipo de demanda hallada en el municipio.

Tabla 2. 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: PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se encuentra la evaluación del índice de escasez mediante la cuantificación de la demanda y disponibilidad hídrica de la microcuenca del río Palo.

Teniendo en cuenta que la subcuenca Hidrográfica del río Palo hace parte de la gran cuenca Cauca según el estudio nacional del agua por el IDEAM. Su variedad de eco sistémica permite el albergue de alta diversidad biológica entre los que se pueden encontrar especies de fauna y flora endémicas de Colombia, siendo un corredor biológico y donde se encuentran innumerables nacimientos de agua, ríos y quebradas.

Según lo anteriormente mencionado, es de relevancia evaluar la disponibilidad hídrica para su conservación y de biodiversidad de la microcuenca. Cabe resaltar que es una base para realizar una buena gestión del recurso hídrico teniendo en cuenta su vulnerabilidad y disponibilidad.

4.1. SALIDA GRÁFICA

En la tabla 3 se aprecia las coordenadas de los puntos de la microcuenca del río Palo en Puerto Tejada Cauca, donde se realizaron aforos y se monitorearon parámetros para determinar la calidad del agua en diferentes puntos.

Tabla 3. Puntos de monitoreo de la microcuenca del río Palo.

| FUENTE HIDRICA | PUNTO DE MONITOREO | DPTO | NORTE | ESTE | LATITUD | LONGITUD |
|----------------|------------------------------------|-------|----------|-----------|------------------|-------------------|
| Río Palo | Río Palo antes de PTAR Guachené | CAUCA | 837689.7 | 1075986.2 | 3° 7' 41.374" N | 76° 23' 38.100 W |
| Río Palo | Río Palo después de PTAR Guachené | | 838241.6 | 1074929.7 | 3° 7' 59.362" N | 76° 24' 12.302" W |
| Río Palo | Río Palo puente del Maíz | | 841650.9 | 1073101.4 | 3° 9' 50.386" N | 76° 25' 11.444" W |
| Río Palo | Río Palo puente PICC | | 846214.2 | 1073737.1 | 3° 12' 18.930" N | 76° 24' 50.762" W |
| Río Palo | Río Palo puente Peóco Negro | | 847428.5 | 1072880.8 | 3° 12' 58.478" N | 76° 25' 18.468" W |
| Río Palo | Río Palo puente Puerto Tejada | | 848982.3 | 1072809.6 | 3° 13' 49.062" N | 76° 25' 20.744" W |
| Río Palo | Río Palo desembocadura a Río Cauca | | 852161.5 | 1068793.5 | 3° 15' 32.640" N | 76° 27' 30.755" W |

Fuente Elaboración Propia

Estos datos fueron la base para realizar el Shape de la microcuenca del río Palo en donde se realizó este trabajo y posteriormente permitió la realización de la metodología del mismo.

De los puntos monitoreados cabe mencionar que la fuente del río Palo pasa por una PTAR lo que incide en los resultados que se evidenciarán en las siguientes fases del análisis de los ICAS

También se tuvieron datos tales como las características morfo métricas del río Palo como se observa en la Tabla 4

Tabla 4. Características morfo métricas subcuenca río Palo

| Subzona Hidrográfica | Variables | Datos |
|----------------------|---|---------|
| río Palo | Área (km ²) | 1648,89 |
| | Perímetro (m) | 234490 |
| | Longitud cauce principal (m) | 96454 |
| | Cota máxima (msnm) | 3553 |
| | Cota mínima (msnm) | 951 |
| | Índice de la compacidad o Índice de Gravellius (Kc) | 1,62 |
| | Factor de Forma | 0,18 |
| | Índice asimétrico (las) | 5,89 |
| | Pendiente media del cauce (s) en | 2,70% |
| | Tiempos de concentración (Tc) en minutos | 539 |

| | | |
|--|---------------------------|------|
| | Elevación media (msnm) | 2088 |
|--|---------------------------|------|

Fuente Elaboración Propia

4.2. OFERTA HÍDRICA TOTAL- MÉTODO CAUDAL MEDIO PUNTUAL

Al no contar con información base limnimétrica respecto a los registros diarios de caudales y al no existir una estación limnimétrica sobre la Microcuenca del Río Palo; se procede a generar los caudales realizando aforos en los siguientes puntos:

1. río Palo antes de PTAR Guachené
2. río Palo después de PTAR Guachené
3. río Palo puente del Maíz
4. río Palo puente PICC
5. río Palo puente Perico Negro
6. río Palo puente Puerto Tejada
7. río Palo desembocadura a río Cauca

Estos puntos de referencia del Río Palo hacen parte del 5.3% de la Subzona hidrográfica del Departamento del Cauca, identificado con el código POMCA e IDEAM 2604 cuya jurisdicción le pertenece a la CRC. Para estimar el caudal disponible de utilización de la fuente hídrica, se aplicó la fórmula de caudal medio puntual obteniendo los resultados observados en la tabla 5:

Tabla 5. Caudales medios de los puntos de Monitoreo, Microcuenca Río Palo

| FUENTE HIDRICA | PUNTO DE MONITOREO | AREA (m ²) | CAUDAL MEDIO PUNTUAL (m ³ /seg) |
|----------------|------------------------------------|------------------------|--|
| Río Palo | Río Palo antes de PTAR Guachené | 0.73 | 0.41 |
| | Río Palo después de PTAR Guachené | 0.96 | 0.47 |
| | Río Palo puente del Maíz | 0.64 | 0.40 |
| | Río Palo puente PICC | 0.67 | 0.35 |
| | Río Palo puente Peóco Negro | 0.67 | 0.35 |
| | Río Palo puente Puerto Tejada | 0.80 | 0.36 |
| | Río Palo desembocadura a Río Cauca | 0.72 | 0.41 |

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 11. Toma de los puntos de monitoreo, microcuenca rio Palo.



Fuente: Propia

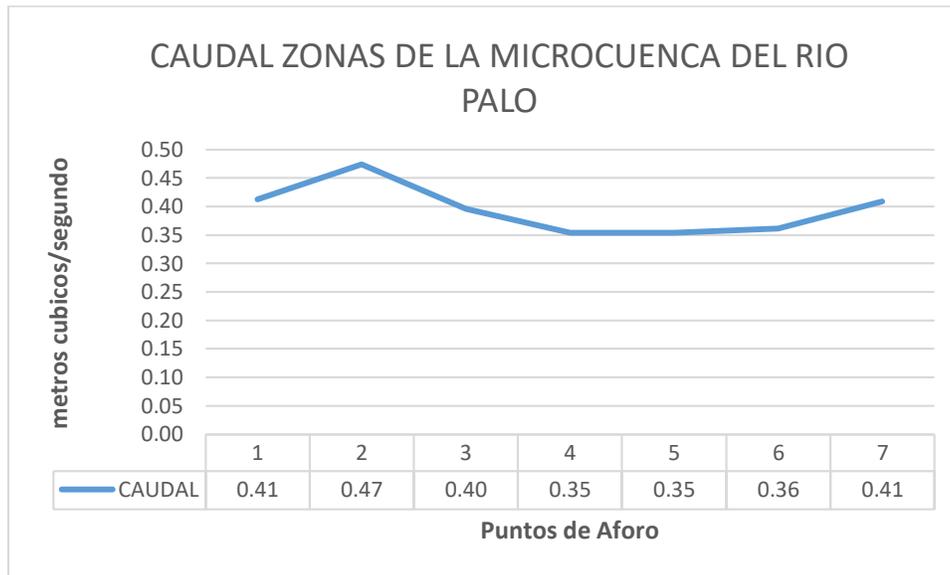
Ilustración 12. Toma de caudales de los puntos de monitoreo, microcuenca rio Palo.



Fuente: Propia

Los resultados indicados en la tabla 5 de la microcuenca del río Palo- parte baja, presentan consistencia con la naturaleza de la misma pues al tener una PTAR funciona como zona de descarga, por lo tanto, su caudal va a cambiar hasta su desembocadura al río Cauca

Gráfica 1. Caudal zonas de la Microcuenca del río Palo.



Fuente: Elaboración Propia

Se puede Observar en la gráfica 1 los diferentes puntos de aforo en donde se tomaron los caudales de la parte baja de la microcuenca del río Palo con un promedio de 12 datos, cuya variación se enlaza con el funcionamiento de la PTAR de la zona hasta su desembocadura en el río Cauca, con un caudal promedio de $0.39 \text{ m}^3/\text{seg}$ de la zona.

Se resalta que después de la PTAR de Puerto tejada se evidencio el caudal más alto con $0.47 \text{ m}^3/\text{seg}$ lo que se puede dar por la cobertura vegetal, relieves, pendientes en conjunto con los vertimientos de ARD y ARnD al río Palo, la cual cuenta con permiso de vertimientos como se evidencia en la ilustración 13. Posteriormente se evidencio una reducción en el caudal debido a la acequia la cabaña con un caudal de $0.046 \text{ m}^3/\text{seg}$, que se encuentra después del punto 2 (descarga de la PTAR Guachene), al igual que la bocatoma propal II con $0.42 \text{ m}^3/\text{seg}$; en cuanto al punto 7 presenta un incremento en su caudal dado que está ubicado después de la confluencia con el río la Paila como se observa en la ilustración 14 [38].

Ilustración 13. Usuarios industriales y municipales con permisos de vertimientos al río Palo



CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA
NIT: 891.501.885 – 4

SUBDIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL
ESTABLECIMIENTO DE METAS DE CARGAS CONTAMINANTES INDIVIDUALES O GRUPALES
USUARIOS INDUSTRIALES Y MUNICIPALES DIRECTOS AL RIO PALO

| EMPRESA/MUNICIPIO | RESOLUCION Y FECHA DE PERMISO DE VERTIMIENTOS/ PSMVs | | CARGAS TOTALES Cc (Kg/sem) | |
|---|--|------------|----------------------------|---------|
| | No. RESOLUCIÓN | FECHA | DBO | SST |
| CARVAJAL PULPA Y PAPEL | 1957 | 2/10/2012 | 433.880 | 471.490 |
| ALPINA CALOTO | 7.003 | 21/04/2015 | 2.838 | 3.872 |
| FAMILIA DEL PACIFICO | 3797 | 12/07/2013 | 2.827 | 9.374 |
| INGENIO LA CABAÑA | 2768 | 24/09/2012 | 414.600 | 112.430 |
| PICC-I | 3027 | 2/01/2013 | 2.288 | 806 |
| PICC-II | 2157 | 18/04/2012 | 154.290 | 103.397 |
| PICC-III | 3658 | 23/07/2014 | 735 | 588 |
| ACUAPAEZ | En Tramite | En Tramite | 1.092 | 761 |
| PROCESADORA DE GALLINA CAMPEONA, RICO POLLO | En Tramite | En Tramite | 1.356 | 289 |
| GUACHENÉ | 10309 | 30/01/2017 | 35.410 | 72.714 |
| PUERTO TEJADA | 9127 | 14/06/2016 | 61.570 | 85.022 |

Fuente: [39]

Ilustración 14. Tramos del Río Palo y ubicación de captaciones y/o descargas

| TRAMO | CAPTACIONES O DESCARGAS | UBICACIÓN EN EL RIO DESDE LA BOCATOMA DE CEDELCA, Km |
|---|---|--|
| No. 1. Bocatoma CEDELCA – Confluencia Quebrada La Trampa. Longitud: 4,26 Km. | Bocatoma de CEDELCA | 0 |
| | Quebrada Nilo | 2,54 |
| | Quebrada La Trampa | 4,26 |
| No. 2. Confluencia Quebrada La Trampa – Descarga Ptar. Guachené. Longitud: 8,28 Km. | Acequia Pilamo | 4,84 |
| | Descarga Ptar. Guachené | 12,54 |
| | Acequia La Cabaña | 12,54 |
| No. 3. Descarga Ptar. Guachené – Bocatoma Propal II. Longitud: 12,32 Km. | Bocatoma Propal II | 24,86 |
| No. 4. Bocatoma Propal II – Confluencia Río La Paila. Longitud: 5,6 Km. | Descarga Ingenio La Cabaña | 25,16 |
| | Descarga Industrial Propal II | 26,20 |
| | Descarga PICC, etapas II y IV | 27,90 |
| | Descarga Barrio El Triunfo. Puerto Tejada | 30,28 |
| | Confluencia río La Paila | 30,46 |
| No. 5. Confluencia Río La Paila – Desembocadura en el Río Cauca. Longitud: 9,12 Km. | Descarga Río Palo hacia el Río Cauca | 39,58 |

Fuente: Estudio INGESAM LTDA. – 2002.

Fuente: [38]

4.2.1. CUANTIFICACIÓN OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE

Para realizar la cuantificación 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 [40], y por caudal ecológico, requerido para la sostenibilidad de los ecosistemas de la microcuenca, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 6. Oferta total hídrica de la microcuenca del río Palo.

| OFERTA TOTAL HÍDRICA DE LA MICROCUENCA | | | | |
|--|---------|--------|---------------|----------------|
| DATOS MICROCUENCA | VALOR | UNIDAD | EQUIVALENCIA | UNIDAD |
| PRECIPITACIÓN ANUAL | 1543,98 | mm | 1.54398 | m |
| AREA MICROCUENCA | 1648,89 | Km2 | 1'648.890.000 | m ² |
| OFERTA HÍDRICA TOTAL/AÑO | | | 2'545.853.182 | m ³ |

Fuente Elaboración Propia

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, genero una mayor confiabilidad de resultados. 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 9 puntos donde se tienen datos de monitoreo como se observa en la tabla 7.

Tabla 7. Puntos de monitoreo para la toma de parámetros de la microcuenca del río Palo

| Código Muestra | Sitio de Muestreo |
|----------------|----------------------------------|
| 0385 | Río Palo, puente Guachené |
| 0386 | Río Palo, después PTARD Guachené |
| 0387 | Río Palo, puente Maíz |
| 0388 | Río Palo, puente PICC |
| 0389 | Río Palo, puente Panamericana |
| 0390 | Río Palo, puente Puerto Tejada |
| 0391 | Río Palo, desembocadura |
| 0392 | Río Paila, puente Panamericana |
| 0393 | Río Paila, desembocadura |

Fuente Elaboración Propia

Ilustración 15. Toma de muestras para análisis fisicoquímico y microbiológico del punto 4



Fuente: Propia

Ilustración 16. Toma de muestras para análisis fisicoquímico y microbiológico del punto 5



Fuente: Propia

Una vez recibidos los resultados de las muestras por el laboratorio de la CRC, se procedió al análisis de parámetros de la microcuenca- aguas abajo se contó con los resultados de monitoreo a 6 parámetros (DBO_5 , Coliformes fecales, Nitratos, Sólidos Totales, Fosfatos Totales y Turbidez) con la herramienta ICATEST V1.0. El ICA resultante para esta zona, se encuentra en un valor ponderado de 55.46, por lo tanto, se clasifica con una escala de color amarillo lo que indica que esta zona está “medianamente contaminada”.

Según las coordenadas geográficas correspondientes a monitoreos (Ver figura 1), se observa que la PTAR en la zona del río Palo, es de gran relevancia ya que cambia sus parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, por ende, se evidencia el cambio del ICA-NSF en estos puntos de “media” a “mala” como se observa en la ilustración 11. Una de las principales razones son las descargas de aguas residuales domésticas, por lo que se registró en este tramo un incremento significativo tanto en Coliformes fecales y totales; No obstante, se considera que es posible que haya descargas de vertimientos sin tratamiento en diferentes puntos que hacen que este parámetro incremente a lo largo de la zona de la microcuenca estudio; también se debe tener en cuenta que la existencia de ganado sobre la zona es importante ya que por escorrentía superficial o infiltración inciden sobre la calidad de esta fuente hídrica.

Se encuentra fuera de los valores admisibles para consumo humano con previo tratamiento convencional, según el decreto 1594 de 1984 de Usos de agua y residuos líquidos como se observa en el artículo 38 [27], enfatizando en los parámetros de color, Coliformes totales y fecales, al igual que turbiedad en la zona baja de estudio.

La calidad de agua es apta para los sectores agropecuario y pecuario, pues el valor de los nitratos, turbiedad, color, orto fosfatos y fósforo total se encuentran dentro de los valores admisibles.

Análisis por puntos de muestreo de la microcuenca del río Palo

Ilustración 17. Detalle de descargas y extracciones del río Palo

Tabla 10. Tributarios y Descargas Principales sobre el Río Palo - Campaña periodo de estiaje – CRC – Agosto 10 de 2006.

| Tramo No. | Tributarios y Descargas Principales | Distancia km | Caudal m3/seg |
|-----------|-------------------------------------|--------------|---------------|
| 1 | Quebrada La Trampa | 34.23 | 2.2000 |
| 2 | Descarga PTAR Guachené | 25.59 | 0.0168 |
| 4 | Descarga ARI Ingenio La Cabaña | 13.33 | 0.1527 |
| | Descarga ARI Propal II | 12.29 | 0.4858 |
| | Descarga ARI PICC Etapa II | 10.59 | 0.0035 |
| | Río Paila | 8.49 | 1.0000 |

Fuente: Estudio UNICAUCA – 2009.

Tabla 11. Principales extracciones sobre el Río Palo - Campaña periodo de estiaje – CRC – Agosto 10 de 2006.

| Tramo No. | Extracciones y Derivaciones | DISTANCIA Km | CAUDAL m3/seg |
|-----------|-----------------------------|--------------|---------------|
| 2 | Acequia Pilamo | 33.645 | 0.0530 |
| | Acequia La Cabaña | 25.945 | 0.0464 |
| 3 | Bocatoma Propal II | 14.414 | 0.4200 |

Fuente: Estudio UNICAUCA – 2009.

Fuente: [38]

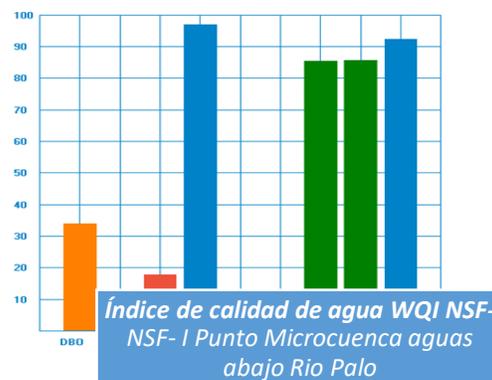
1. Punto I. Puente Guachené:

En este punto se evidencia en la ilustración 18 que los parámetros de turbidez y nitratos presentan una excelente calidad basados en la norma [27], seguido de los sólidos totales y fosfatos con una buena calidad, la DBO₅ presenta una mala calidad y por ultimo las coliformes totales influyendo significativamente en este punto con muy mala calidad basándonos en límites establecidos por la norma y revisión bibliográfica [27] [41]; lo que indica que hay presencia de materia orgánica y su impacto es relevante, cabe resaltar que puede existir la presencia de puntos de vertimientos no registrados y al margen de la normatividad, además en este punto hay una confluencia con la quebrada La Trampa como se observa en la figura 17, la cual puede incidir en los resultados obtenidos.

Ilustración 18. Resultado ICA-NSF microcuenca rio Palo punto I.

| Parámetro: | Resultados | Valor-Q | Factor de Ponderación | Total |
|-----------------------|------------------|---------|-----------------------|-------|
| DBO | 10 (mg/L) | 34 | 0.17 | 5,78 |
| Oxígeno Disuelto | (%Sat) | - | - | - |
| Coliformes Fecales | 2100 (Col/100mL) | 17,8 | 0,22 | 3,92 |
| Nitratos | 0,15 (mg/L) | 96,89 | 0,16 | 15,5 |
| pH | (Unid) | - | - | - |
| Cambio de Temperatura | (°C) | - | - | - |
| Sólidos Totales | 35,9 (mg/L) | 69,38 | 0,13 | 11,1 |
| Fosfatos Totales | 0,26 (mg/L) | 85,6 | 0,16 | 13,7 |
| Turbidez | | | | |

Resultado monitoreo de calidad de agua WQI NSF- I Punto Microcuenca aguas abajo Río Palo

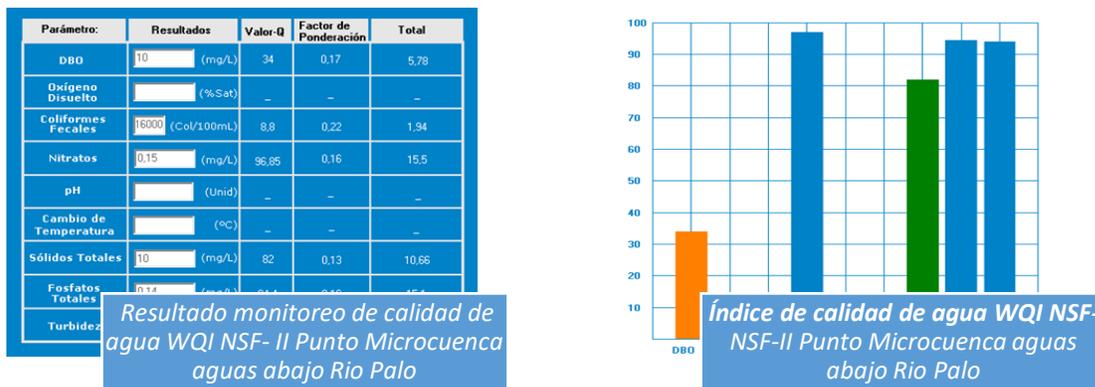


Fuente ICATEST V1.0

2. Punto II. Después de la PTAR de Guachene:

Este punto según el ICATEST como se observa en la ilustración 19, presento parámetros de turbidez, nitratos y fosfatos con una excelente calidad según la [27], seguido de los sólidos totales mayor al 80% con una buena calidad, la DBO₅ y las coliformes totales tuvieron una ponderación mala y muy mala respectivamente teniendo en cuenta la resolución 2115 del 2007 y el decreto 1594 del 1984 y 3930 de 2010, cabe resaltar que la PTAR reduce la presencia de coliformes de un 18% antes de ella a un 8%, por tanto se reitera la importancia de estos tratamientos para optimizar la calidad del agua, también se debe tener en cuenta que en esta zona se encuentran dos acequias Pilamo y la Cabaña como se observa en la figura 17, las cuales aportan materia orgánica (MO) a la fuente principal.

Ilustración 19. Resultado ICA-NSF microcuenca rio Palo punto II.

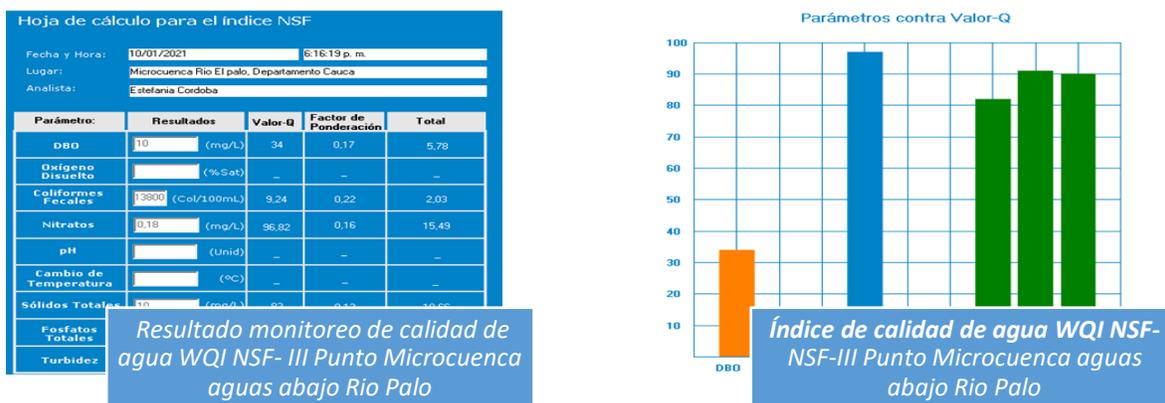


Fuente ICATEST V1.0

3. Punto III. Puente Maíz

Este punto se caracteriza por haber presentado el parámetro de nitratos con una excelente calidad, seguido de turbidez, sólidos totales y fosfatos con una buena calidad, seguido de la DBO₅ y las coliformes totales las cuales se mantienen respecto al punto anterior con una ponderación mala y muy mala respectivamente como se observa en la ilustración 20, según la norma [27], [41]. Es evidente como disminuye la calidad en cuanto a los parámetros físicos respecto al punto II, una de las razones se debe a los aportes distribuidos sobrantes de riego como descargas a la fuente (ver ilustración 21) y posibles otros vertimientos no registrados.

Ilustración 20. Resultado ICA-NSF microcuenca rio Palo punto III



Fuente ICATEST V1.0

Ilustración 21. Detalles de descargas en la zona de estudio

| | | | |
|------------|---|---|-----------------|
| E1 | Rio Palo – Puente via Guachené | | 0.000 |
| | | Acequia La Cabaña | 0.350 |
| | | Descarga PTAR Guachene | 0.710 |
| | | Aportes distribuidos sobrantes de Riego | 0.700 - 11.098 |
| E2 | Rio Palo – Puente campamento El Maíz | | 11.098 |
| E2' | Rio Palo – Antes Bocatoma Propal | | 15.960 |
| | | Bocatoma Carvajal Pulpa y Papel-CPP (antes llamado Propal II) | 15.974 |
| | | Descarga Ingenio La Cabaña Laguna | 16.807 |
| | | Descarga Ingenio La Cabaña E Final | 16.827 |
| | | Descarga Alpina-Colbesa | 17.558 |
| | | Descarga Carvajal Pulpa y Papel-CPP (antes llamado Propal II) | 17.688 |
| | | Captaciones por Bombeo para riego | 17.688 - 20.566 |
| | | Quebrada El Puente | 18.570 |
| | | Descarga P ICC, etapas I | 18.902 |
| | | Descargas de Sancela- Familia | 18.903 |
| | | Descarga P ICC, etapas III | 18.922 |
| | | Descarga P ICC, etapas II y IV | 18.977 |
| | | Retorno de Riego Acequia El Naranja | 19.576 |
| E3 | Rio Palo – Puente Perico Negro | | 20.566 |
| | | Descargas domésticas Barrio El Triunfo | 22.070 |
| | | Desembocadura Rio Paila | 22.250 |
| E4 | Rio Palo – Puente ConFauca | | 22.499 |
| | | Captaciones por Bombeo para riego | 22.499 - 30.893 |
| | | Descarga Matadero Municipal Pto. Tejada | 22.600 |
| | | Captaciones No Reglamentadas (clandestinas o no reportadas) | 22.850 - 30.893 |
| | | Descarga Hospital El Cincuentenario | 22.800 |
| | | Descarga ISS | 22.800 |
| | | Descarga doméstica Barrio Santa Helena | 22.800 |
| | | Retorno de Sobrantes de riego y acequias | 22.850 - 30.893 |
| E5 | Rio Palo – Bocas del Palo | | 30.893 |

Fuente: Consultoría Javier Holguín - 2014.

| NOMENCALTURA | |
|--------------|---------------------------------------|
| | Estaciones sobre el rio Palo |
| | Captaciones |
| | Descargas, vertimientos o tributarios |

Fuente: [38]

4. Punto IV. Puente PICC:

En este punto se mantiene la ponderación anterior en cuanto a calidad de turbidez, nitratos, y solidos totales, sin embargo, incrementan los fosfatos junto a la DBO₅ presentando una ponderación mala y las coliformes totales como muy mala (ilustración 22), por tanto, la presencia de mayor cantidad de fosfatos en la fuente puede llegar a causar eutrofización debido al incremento de nutrientes.

Además, se debe tener en cuenta como lo muestra la figura 21 que en el trayecto del punto III al IV se presentan seis descargas de aguas residuales domésticas, agrícolas y asentamientos humanos, al igual que dos captaciones, debido a estas descargas potencialmente patógenas en la subcuenca del río Palo es alterada su calidad y las actividades eco sistémicas de la biota, a su vez no cumplen con la normatividad colombiana como la resolución 630 de 2015 al igual que otras consideraciones [27] [41].

Ilustración 22. Resultado ICA-NSF microcuenca río Palo punto IV



Fuente ICATEST V1.0

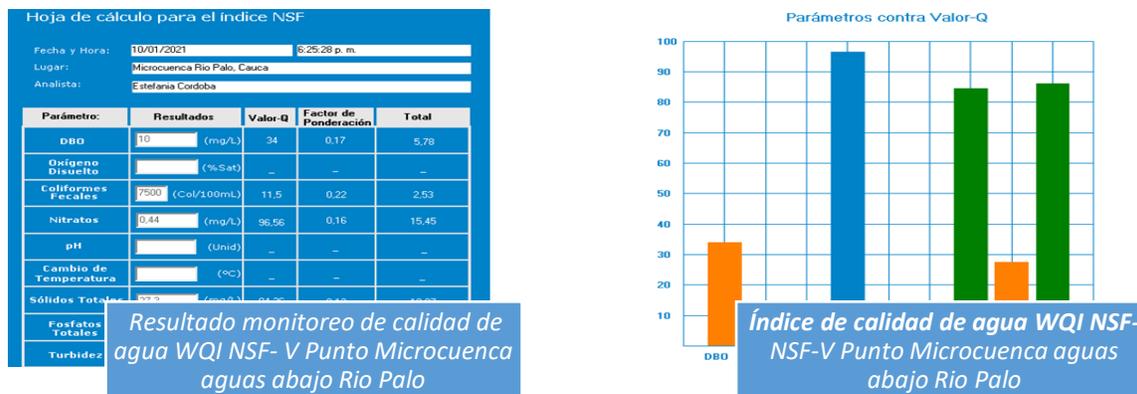
5. Punto V. Puente Panamericana

En este punto se mantiene la ponderación anterior en cuanto a calidad de turbidez, y solidos totales con una buena calidad, en cuanto a los nitratos mejora su calidad, los fosfatos junto a la DBO₅ presentaron una ponderación mala y las coliformes totales se mantuvo en muy mala como se observa en la ilustración 23, respecto a la normatividad ambiental colombiana resolución 2115 del 2007, el decreto 1594 del 1984, 3930 de 2010 y la resolución 630 de 2015 ; este comportamiento se debe a que los vertimientos del punto IV por lo general de tipo agrícola se auto depuran según la capacidad del río Palo mejorando la calidad respecto a los parámetros físicos.

En este caso se resalta que no se observa mejora en los datos de coliformes totales incrementan respecto al punto IV de 36000 a 48600 UFC/100ml, por tanto, se

presume la existencia de mayor cantidad de vertimientos fuera de la información investigada, probablemente por asentamientos humanos según lo observado.

Ilustración 23. Resultado ICA-NSF microcuena rio Palo punto V



Fuente ICATEST V1.0

6. Punto VI. Puente Puerto Tejada

El resultado de calidad entre el punto V y VI no varía significativamente, es decir, presenta el mismo comportamiento de calidad en cuanto a los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos como se observa en la ilustración 24, según la normatividad antes mencionada.

Además, se debe resaltar que el monitoreo fue realizado en el mes de febrero, donde la mayor parte del tiempo los caudales del río Palo fueron bajos, esto influye en el ICA, es decir, al disminuir el caudal, disminuyen los niveles de OD, al igual que su capacidad de autodepuración ya que esta depende de tres aspectos: el caudal, que permite diluir el vertido y degradarlo, la turbulencia del agua, que aportará oxígeno diluido al medio, lo que favorece la actividad microbiana y, la naturaleza y tamaño del vertido que se haya producido a lo largo de su curso, lo que en el momento se desconoce en su totalidad dado que existen muchos vertimientos ilegales.

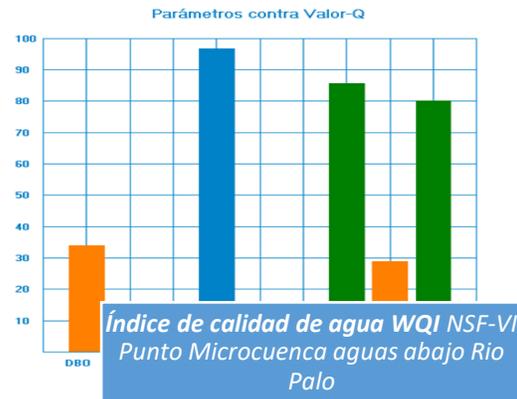
Ilustración 24. Resultado ICA-NSF microcuenca rio Palo punto VI

Hoja de cálculo para el índice NSF

Fecha y Hora: 10/01/2021 6:28:17 p. m.
 Lugar: Microcuenca Rio Palo, Cauca
 Analista: Estefania Cordoba

| Parámetro: | Resultados | Valor-Q | Factor de Ponderación | Total |
|-----------------------|------------------|---------|-----------------------|-------|
| DBD | 10 (mg/L) | 34 | 0,17 | 5,78 |
| Oxígeno Disuelto | (%Sat) | - | - | - |
| Coliformes Fecales | 4100 (Col/100mL) | 14,8 | 0,22 | 3,26 |
| Nitratos | 0,34 (mg/L) | 96,66 | 0,16 | 15,47 |
| pH | (Unid) | - | - | - |
| Cambio de Temperatura | (°C) | - | - | - |
| Sólidos Totales | 74 (mg/L) | 85,65 | 0,13 | 11,13 |
| Fosfatos Totales | | | | |
| Turbidez | | | | |

Resultado monitoreo de calidad de agua WQI NSF- VI Punto Microcuenca aguas abajo Rio Palo



Fuente ICATEST V1.0

7. Punto VII. Desembocadura del río Palo

En este punto se evidencian dos descargas más como se muestra en la figura 21, en cuanto a los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos se mantienen a excepción de los fosfatos con una calidad muy mala (ilustración 25), según la norma [27]; Se resalta que 2.87 mg es el dato más alto de fósforo realizado en el monitoreo este comportamiento pudo ser producto de prácticas en la zona como la agricultura debido a los fertilizantes nitrogenados para cultivos y que llegan a la fuente por escorrentía, la ganadería ya que los excrementos de los animales son ricos en nutrientes y los residuos urbanos principalmente por los detergentes con fosfatos; lo que probablemente cause eutrofización por exceso de nutrientes en esa zona de la microcuenca.

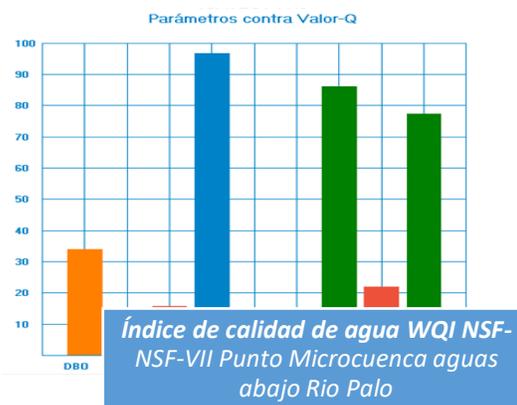
Ilustración 25. Resultado ICA-NSF microcuenca rio Palo punto VII

Hoja de cálculo para el índice NSF

Fecha y Hora: 10/01/2021 6:31:17 p. m.
 Lugar: Microcuenca Rio Palo, Cauca
 Analista: Estefania Cordoba

| Parámetro: | Resultados | Valor-Q | Factor de Ponderación | Total |
|-----------------------|------------------|---------|-----------------------|-------|
| DBD | 10 (mg/L) | 34 | 0,17 | 5,78 |
| Oxígeno Disuelto | (%Sat) | - | - | - |
| Coliformes Fecales | 5200 (Col/100mL) | 15,6 | 0,22 | 3,43 |
| Nitratos | 0,37 (mg/L) | 96,63 | 0,16 | 15,46 |
| pH | (Unid) | - | - | - |
| Cambio de Temperatura | (°C) | - | - | - |
| Sólidos Totales | 40 (mg/L) | 86 | 0,13 | 11,18 |
| Fosfatos Totales | | | | |
| Turbidez | | | | |

Resultado monitoreo de calidad de agua WQI NSF- VII Punto Microcuenca aguas abajo Rio Palo

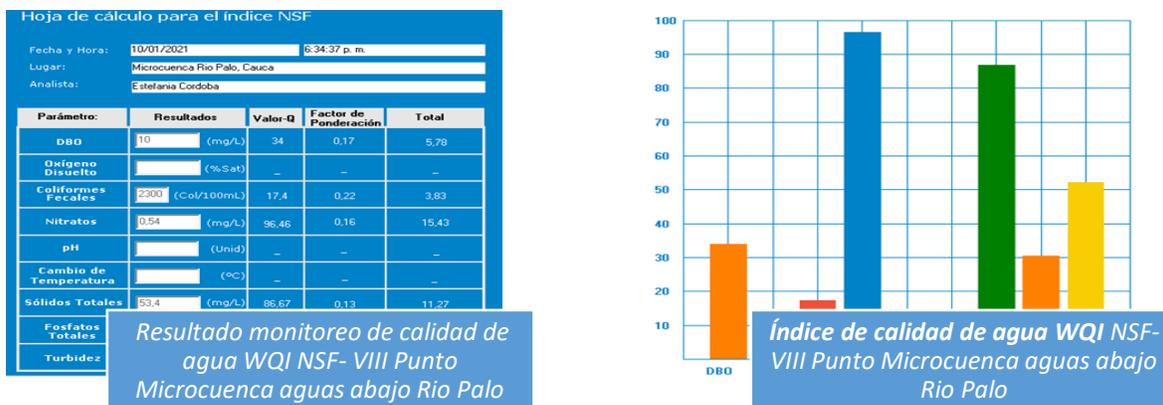


Fuente ICATEST V1.0

8. Punto VIII. Puente Panamericana del río Paila

Los parámetros que cambian en este punto según la ilustración 26 son los fosfatos mejorando su calidad y la turbidez pasando de calidad buena a media según la norma [27], esto se pudo dar debido a que la fuente hídrica se auto depuro, sin embargo, aunque disminuyo la cantidad de coliformes totales a 34000 UFC/100ml sigue estando por fuera de los límites permisibles según la res 630 de 2015, lo que se debe a indicios de puntos de vertimientos sin tratamiento, producto de prácticas como agricultura, ganadería y domésticas; en cuanto a la turbidez su aumento puede causar dificultad para procesos tales como la oxigenación del ecosistema y alteraciones en la fauna y flora de la zona de estudio.

Ilustración 26. Resultado ICA-NSF microcuena rio Palo punto VIII

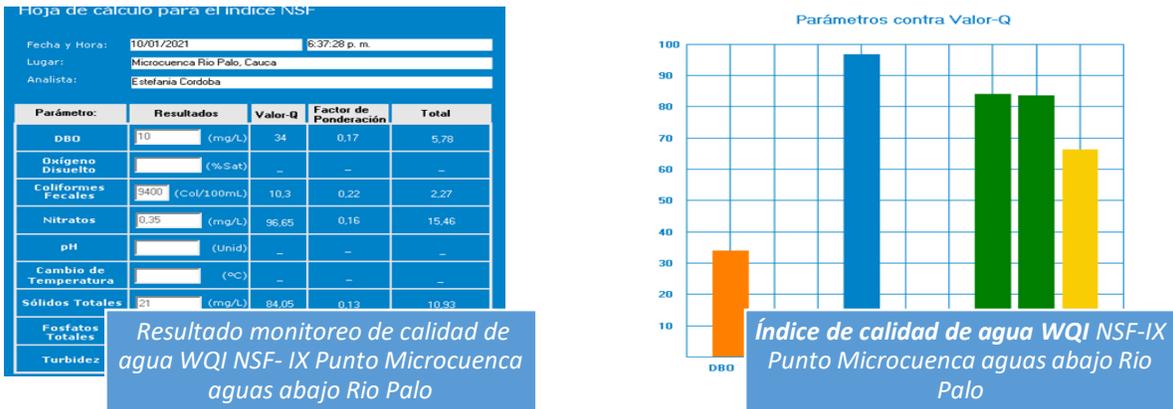


Fuente ICATEST V1.0

9. Punto IX. Desembocadura río Paila

Este punto se caracteriza por haber presentado el parámetro de nitratos con una excelente calidad, seguido de sólidos totales y fosfatos con una buena calidad, turbidez con calidad media como en el punto VIII, seguido de la DBO₅ y las coliformes totales las cuales se mantienen respecto al punto anterior con una ponderación mala y muy mala respectivamente como se observa en la ilustración 27, según la normatividad antes mencionada. Es evidente como mejora la calidad en cuanto a la turbidez y respecto a los demás parámetros se mantuvo constante, es necesario resaltar que la DBO₅ y las coliformes totales no tuvieron mejoría a lo largo del trayecto debido a las numerosas descargas registradas (ver ilustración 21), además de las que no lo están es por ello que se hace un llamado a las entidades para monitorear la zona de estudio y tomar las medidas según lo indica la norma a quienes infringen la normatividad.

Ilustración 27. Resultado ICA-NSF microcuenca rio Palo punto IX



Fuente ICATEST V1.0

También se elaboró manualmente el ICA obteniendo un valor de 46 por ende es de carácter “contaminado o dudoso” a comparación con la ponderación con la herramienta que fue 55.46 con una diferencia de 9.46 lo que se puede dar ya que de forma manual se ingresaron más datos para mayor precisión los parámetros fueron 10 de la siguiente manera: SST, DBO₅, dureza total, alcalinidad, nitratos, fosfatos, turbiedad, Coliformes totales y fecales; a diferencia de los 6 que permite la plataforma. De igual forma se observan que la mayoría de parámetros están por fuera de los límites permisibles como se mencionó anteriormente, lo que significa que hay presencia de materia orgánica, por ende mala calidad del recurso e insuficiencia para la presencia de vida a excepción de especies endémicas muy resistentes. La DBO₅ se encuentra en una escala media y es una razón por la que no se realiza una adecuada oxidación de la cantidad de materia orgánica la cual es alta.

Ilustración 28. Escala de colores, análisis ICA-NSF

| Escala de Color | | |
|-----------------|----------|---------------------------------------|
| Excelente | 91 - 100 | ■ |
| Buena | 71 - 90 | ■ |
| Media | 51 - 70 | ■ |
| Mala | 26 - 50 | ■ |
| Muy Mala | 0 - 25 | ■ |

Fuente ICATEST V1.0

Ilustración 29. Datos finales del ICA-NSF en los 9 puntos de la microcuenca del rio Palo




Contenido de Microcuenca Rio Palo, Cauca.hst:

| Registro | Indic | Fecha | Hora | Lugar | Analista | Número de Parámetro | Valor del indice |
|----------|-------|------------|---------------|----------------------------|-------------------|---------------------|------------------|
| 1 | NSF | 10/01/2021 | 5:59:07 p. m. | Microcuenca Rio El palo, D | Estefania Cordoba | 9 | 62,94 |
| 2 | NSF | 10/01/2021 | 6:07:30 p. m. | Microcuenca Rio El palo, D | Estefania Cordoba | 9 | 62,13 |
| 3 | NSF | 10/01/2021 | 6:16:19 p. m. | Microcuenca Rio El palo, D | Estefania Cordoba | 9 | 61,11 |
| 4 | NSF | 10/01/2021 | 6:20:02 p. m. | Microcuenca Rio Palo, Cau | Estefania Cordoba | 9 | 54,66 |
| 5 | NSF | 10/01/2021 | 6:25:28 p. m. | Microcuenca Rio Palo, Cau | Estefania Cordoba | 9 | 51,15 |
| 6 | NSF | 10/01/2021 | 6:28:17 p. m. | Microcuenca Rio Palo, Cau | Estefania Cordoba | 9 | 51,45 |
| 7 | NSF | 10/01/2021 | 6:31:17 p. m. | Microcuenca Rio Palo, Cau | Estefania Cordoba | 9 | 50,2 |
| 8 | NSF | 10/01/2021 | 6:34:37 p. m. | Microcuenca Rio Palo, Cau | Estefania Cordoba | 9 | 48,46 |
| 9 | NSF | 10/01/2021 | 6:37:28 p. m. | Microcuenca Rio Palo, Cau | Estefania Cordoba | 9 | 57,06 |

| ICATest v1.0 - Detalles generales | |
|---|---------------------------------|
| Nombre de archivo: | Microcuenca Rio Palo, Cauca.hst |
| Número de registros: | 9 |
| Indice promedio: | |
| <input type="button" value="Copiar"/> <input type="button" value="Cerrar"/> | |

Fuente ICATEST V1.0

Los nitratos, solidos totales y turbidez están dentro de los rangos buenos y excelente en su mayoría, es por ello que se encuentran en valores que no limitan usos de la fuente, sin embargo, las coliformes totales y fecales incrementan, por encima de los niveles permisibles por la norma 630 de 2015 para el uso del recurso destinado para el sector doméstico, necesitando de un tratamiento más exhaustivo dado que su calidad es muy mala a lo largo del recorrido. En cuanto a los fosfatos presentaron una mala calidad a medida que se monitorearon los diferentes puntos aguas abajo, una de las razones puede ser debido a que las aguas residuales domésticas son vertidas directamente a la fuente, como también aguas residuales de prácticas económicas como agricultura y ganadería, alterando la calidad de la fuente en la zona de estudio.

Ilustración 30. Análisis manual ICA en los 9 puntos de la Microcuenca del Rio Palo

| PUNTO MONITOREO | NOMBRE | ICA GENERAL | ANALISIS INDICE |
|-----------------|----------------------------------|-------------|------------------|
| 1 | Río Palo, puente Guachené | 50 | POCO CONTAMINADO |
| 2 | Río Palo, después PTARD Guachené | 46 | DUDOSO |
| 3 | Río Palo, puente Maíz | 42 | DUDOSO |
| 4 | Río Palo, puente PICC | 47 | DUDOSO |
| 5 | Río Palo, puente Panamericana | 43 | DUDOSO |
| 6 | Río Palo, puente Puerto Tejada | 41 | DUDOSO |
| 7 | Río Palo, desembocadura | 54 | POCO CONTAMINADO |
| 8 | Río Paila, puente Panamericana | 46 | DUDOSO |
| 9 | Río Paila, desembocadura | 44 | DUDOSO |
| PROMEDIO | | 46 | DUDOSO |

Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 31. Resultado análisis ICA microcuenca del río Palo

| TABLA DE ANALISIS DE EL INDICE DE CALIDAD DE AGUA OBTENIDO | | | | | |
|--|--------------------------|------------------------|--------------------|---------------------------------|--|
| ICA | CRITERIO GENERAL | ABASTECIMIENTO PUBLICO | RECREACION | PESCA Y VIDA ACUATICA | INDUSTRIAL Y AGRICOLA |
| 100 | [Color Azul] | | | | |
| 90 | | | | | |
| 80 | | | | | |
| 70 | [Color Verde] | | | | |
| 60 | [Color Amarillo] | | | | |
| 50 | | | | | |
| 40 | | | | | |
| 30 | [Color Rojo] CONTAMINADO | DUDOSO | DUDOSO AL CONTACTO | SOLO ORGANISMOS MUY RESISTENTES | TRATAMIENTO EN LA MAYOR PARTE DE INDUSTRIA |
| 20 | [Color Negro] | | | | |
| 10 | | | | | |

Fuente: Elaboración Propia

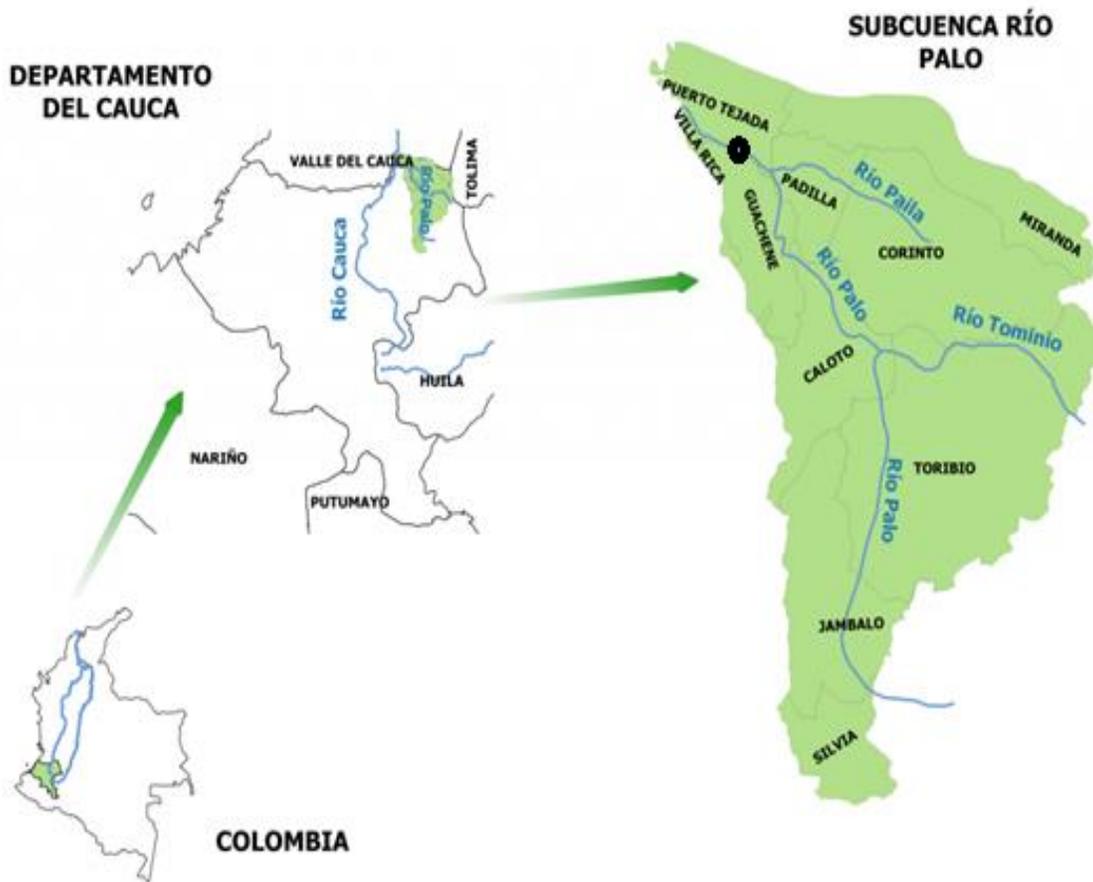
Debido a que los resultados del ICA fueron “media” por la herramienta ICATEST V1.0 y “mala” de forma manual como lo indica la ilustración 30 y 31, para la reducción de oferta hídrica se toma el 15%, dando como resultado una oferta hídrica de 381877977 m³/año (valor que será modificado en el siguiente numeral debido a la reducción por caudal ecológico).

$$\text{Reducción por Calidad} = 2.545'853.182 \text{ m}^3/\text{año} * 0.15 = 381'877.977 \text{ m}^3/\text{año}$$

4.2.1.2. REDUCCIÓN POR CAUDAL ECOLÓGICO

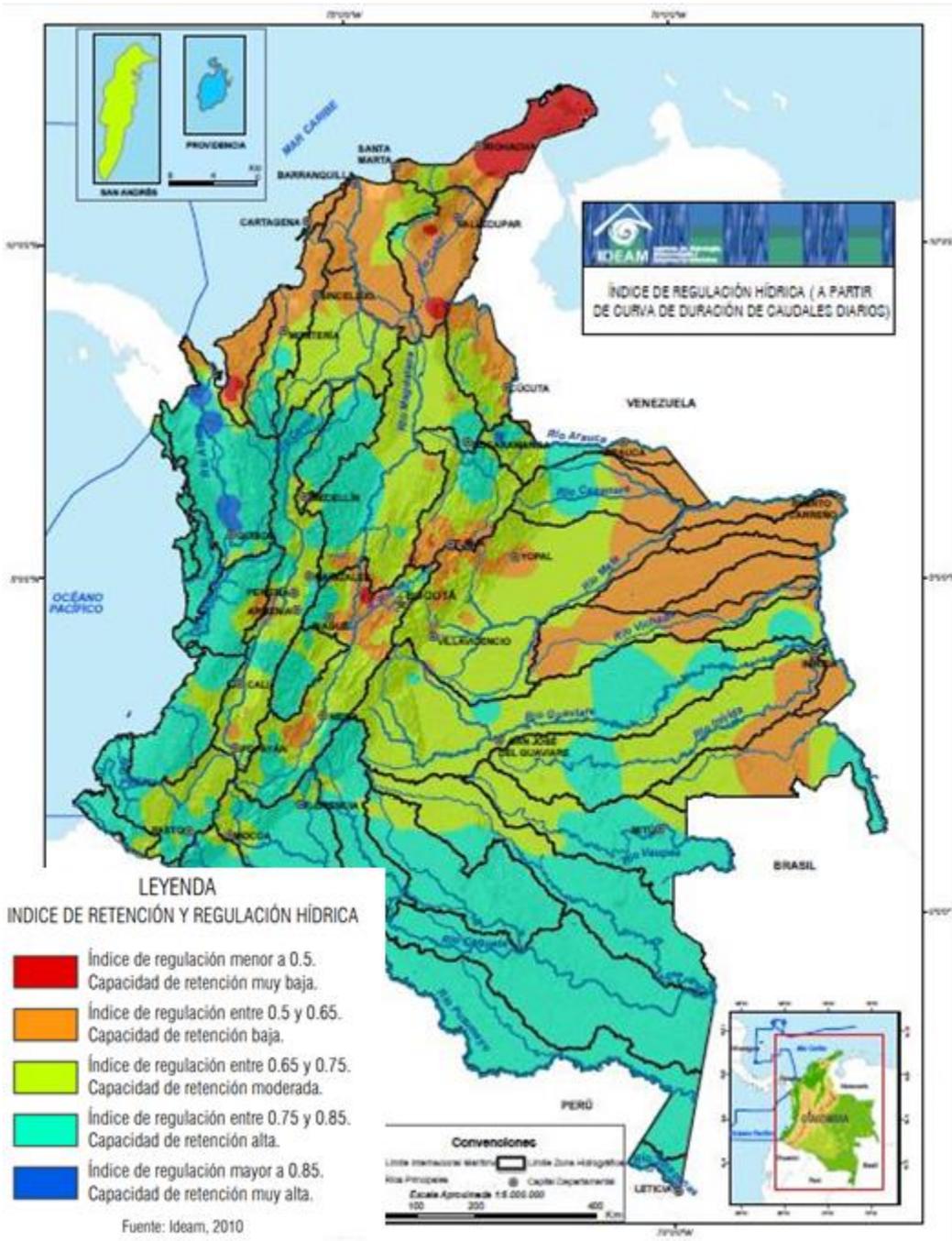
Se debe tener en cuenta un porcentaje de agua para conservar el régimen hidrológico mínimo además de los ecosistemas fluviales y las necesidades de los usuarios aguas abajo de manera que se identificó en el mapa de la ilustración 32, la subzona hidrográfica a la cual pertenece la microcuenca del río Palo.

Ilustración 32. Subcuenca Hidrográfica del río Palo e identificación de microcuenca



Fuente: Corpopalo

Ilustración 33. IRH de la cuenca del río Palo a partir de la curva de caudales diarios



Fuente: IDEAM, 2010

Se encontró en la ilustración 33 que la microcuenca tiene un IRH regional de 0.65-0.75 lo que corresponde a una regulación moderada.

Por lo que se decide tomar el 25% del caudal para el caudal ecológico para la microcuenca del río Palo, en este caso es:

$$\text{Caudal ecológico} = 2.545'853.182 \text{ m}^3/\text{año} * 0.25 = 636'463.296 \text{ m}^3/\text{año}$$

Ecuación. Reducción por caudal ecológico

Oferta Hídrica Neta de la Cuenca (OHNC)

Para obtener la oferta hídrica neta se debe tener en cuenta la reducción por calidad del agua (15%) y la reducción por caudal ecológico (25%) con una reducción total del 40%; por lo tanto, la oferta hídrica neta de la cuenca se puede expresar como:

$$\text{OHNC} = 2.545'853.182 \text{ m}^3 * (1 - 0.4) = 1.527'511.909 \text{ m}^3/\text{año} = 48,437 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Ecuación. Reducción por OHNC

4.3. DEMANDA HÍDRICA TOTAL

La demanda hídrica total (DHT) se calculó mediante las actividades tenidas en cuenta en el municipio con el objetivo de clasificarla dentro de los rangos propuestos por IDEAM. Con el fin de calcular la demanda actual ejercida sobre el recurso que brinda la microcuenca del río Palo, se identificó y cualificó la demanda de uso doméstico, uso industrial, sector acuícola y del sector pecuario.

Tabla 8. Población según registros del DANE Municipio de Puerto Tejada, Cauca

| AÑO MEDIDO | POBLACIÓN |
|------------|-----------|
| 2010 | 44934 |
| 2015 | 45678 |

Elaboración propia

Para la proyección poblacional al año 2020 se utilizó el método aritmético [42].

$$r = \frac{P_{i+1} - P_i}{t_{i+1} - t_i}$$

Ecuación de tasa de crecimiento

$$P_{2020} = P_f + r (t - t_f)$$

Ecuación cálculo de proyección poblacional

Obteniendo una tasa de 148.8 y una población proyectada al año 2020 de 46422 personas en Puerto Tejada en la zona de la subcuenca del río Palo. Según el boletín del DANE, el municipio de Puerto Tejada tiene 88.3% de habitantes en el área urbana es decir, 40991 hab y en el área rural 5431 hab con el 11.7% [43].

Para identificar la demanda de la población abastecida se procedió a consultar 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. Por lo cual se tiene una modificación al RAS por la resolución 2320 del 2009 de la siguiente forma:

Tabla 9. 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 resolución 2320 de 2009

Se trabaja con la Dotación Neta máxima de la tabla 9 y calculo la dotación bruta, se reduce por pérdidas técnicas del sistema, basadas en el RAS 2.000.

- ✓ La población urbana, por su nivel de complejidad Medio alto se tuvo un porcentaje de pérdidas del 25%.
- ✓ La población rural, con un nivel de complejidad bajo, tuvo un porcentaje admisible de pérdidas del 40%.

Se procedió a calcular la dotación bruta para cada población, por medio de la siguiente fórmula:

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

Ecuación Dotación bruta

Dónde: D bruta= Dotación bruta; d neta= Dotación neta; %P= porcentaje de pérdidas.

Adicionalmente se le aumento 5% de pérdidas técnicas por las líneas de aducción

Obteniendo lo siguiente:

Tabla 10. Tabla de Dotación bruta de Puerto Tejada, Cauca

| POBLACIÓN ABASTECIDA | % DE PÉRDIDAS | DOTACIÓN BRUTA (L/hab-día) |
|----------------------|---------------|----------------------------|
| Urbana | 30 | 192,86 |
| Rural | 45 | 181,81 |

Fuente Elaboración Propia

Por último, se cuantifico la demanda doméstica de la microcuenca del río Palo teniendo en cuenta los resultados de la tabla 10, con la siguiente formula:

$$\text{Demanda} = \text{Población} * \text{Dbruta}$$

$$\text{Demanda} = 192.86 \frac{l}{\text{hab} * \text{día}} * 40991 \text{ hab}$$

$$\text{Demanda} = 7905524.26 \frac{l}{\text{día}} = 7905,52 \text{ m}^3/\text{día}$$

Demanda del sector urbano

$$\text{Demanda} = \text{Población} * \text{Dbruta}$$

$$\text{Demanda} = 181.81 \frac{l}{\text{hab} * \text{día}} * 5431 \text{ hab}$$

$$\text{Demanda} = 987410.11 \frac{l}{\text{día}} = 987.41 \text{ m}^3/\text{día}$$

Demanda del sector rural

Se obtuvo la demanda del sector urbano es de 7905,52 m³/día y la demanda del sector rural 987,41 m³/día. Lo que representa una demanda del sector doméstico ejercida sobre la microcuenca del río Palo de 8.892,93 m³/día.

El municipio de Puerto Tejada ha basado durante años su economía en el sector agrícola, productora de cultivos de pan coger, frutales, productos transitorios y un alto sector cultivado en cacao; el monocultivo de la caña de azúcar, en mediana proporción los cultivos de pan coger, otros cultivos, la ganadería y pecuarios. Para la estimación de la demanda se tiene en cuenta que a nivel nacional la agricultura tiene un promedio del 54% de la demanda total con una demanda de 65.783,3 m³/día [43].

Según lo observado en campo algunas haciendas desempeñan la explotación pecuaria con fines de producción de leche, carne y doble propósito, con una demanda de 7.552,9 m³/día.

La industria azucarera cual cuenta con 3 desarrollos industriales hoy convertidos en zonas Francas, considerada como uno de los polos de desarrollo más importantes del país a partir de la legislación del decreto 1197 de 3 de Abril de 2009, consolidados con 19 empresas sentadas y 10 empresas dispersas en el sector urbano-rural [44]; con una demanda aproximada de 5.360,1 m³/día.

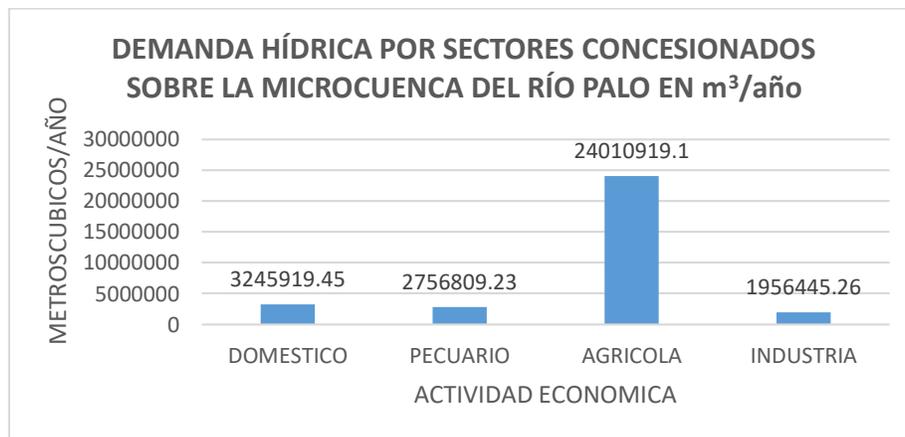
En la ilustración 34 se presentan los estimativos por sectores de la demanda por uso y su participación porcentual con respecto al total nacional [45].

Ilustración 34. Resultados alcanzados en la estimación de la demanda hídrica nacional según el IDEAM

| Usos del agua | Total (Mm ³) | Participación (%) |
|---------------|--------------------------|-------------------|
| Servicios | 528 | 1,5 |
| Industria | 1.577 | 4,4 |
| Pecuario | 2.220 | 6,2 |
| Acuícola | 2.584 | 7,2 |
| Doméstico | 2.606 | 7,3 |
| Energía | 6.976 | 19,4 |
| Agrícola | 19.386 | 54,0 |
| Total | 35.877 | 100 |

Fuente IDEAM [45].

Tabla 11. Distribución de la demanda hídrica expresada en millones de metros cúbicos/ año



Fuente Elaboración propia

Posteriormente se cuantifico la demanda total de la microcuenca del rio Palo, teniendo en cuenta el uso doméstico con 8.892,93 m³/día, pecuario con 7.552,9 m³/día, agrícola con 65.783,3 m³/día e industrial 5.360,124 m³/día para un total de 87.589,3 m³/día, es decir, 31970093.04 m³/año.

4.4. ÍNDICE DE ESCASEZ

Al cuantificar la OHTD y la demanda hídrica, se evaluó de manera cuantitativa y cualitativa el estado de amenaza o vulnerabilidad hídrica de la microcuenca del rio Palo en la actualidad teniendo en cuenta todos los aspectos mencionados íntegramente. Este trabajo faculta hacia la toma de decisiones con respecto a las medidas imprescindibles para la sostenibilidad del recurso hídrico y todos los ámbitos que dependen del mismo, siendo una herramienta para la gestión en el plan de manejo y ordenación de la microcuenca, para lo que se aplicó la ecuación del índice de escasez [37].

Tabla 12. Relación oferta total disponible vs demanda

| OHTD m ³ /año | DEMANDA m ³ /año |
|--------------------------|-----------------------------|
| 1.527'511.909 | 31'970.093,04 |
| Índice de escasez (%) | 2.1% |

Elaboración propia

En la tabla 12 se evidencia la relación de la oferta hídrica total disponible (OHTD) frente a la demanda, siendo la oferta mayor a la demanda, por ende, el índice de escasez es mínimo, al tener la microcuenca del rio Palo una buena oferta hídrica, si bien no es mayor a la demanda, actualmente no ha sido necesario tomar medidas tales como almacenamiento para su escasez en épocas de sequía; sin embargo, es necesario tomar medidas.

4.4.1. CATEGORIZACIÓN DEL ÍNDICE DE ESCASEZ

Una vez realizada la cuantificación del índice, se procedió a cualificar mediante la tabla 13 la categoría del rango en este caso verde, en que se encuentra el índice de escasez de la microcuenca del río Palo, y por el cual se tiene como resultado el índice de escasez (Ie) con un rango 1-10% por tanto es mínimo con 2.1%. Se realizó teniendo en cuenta la demanda por parte de los sectores doméstico, agrícola, pecuario e industrial, lo que quiere decir que el desabastecimiento aunque no tuvo gran magnitud existe por su alta demanda y baja oferta; la microcuenca es privilegiada por la alta precipitación y alta oferta hídrica, posee un Índice de regulación Hídrica (IRH) que está en el rango moderado dentro de una cuenca que es una fuente vasta hídrica; la demanda en la zona por las actividades de producción están superando a la oferta hídrica, por tanto es vital hacer un estudio exhaustivo acerca de las concesiones que se otorgan al igual que los permisos de vertimientos que tienen registro y los que no, de tal forma que se garantice la oferta hídrica necesaria.

Tabla 13. 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 Elaboración Propia

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La microcuenca del río el Palo es un subsistema que presenta un área 1648.49 km², en jurisdicción del municipio de Puerto Tejada tiene una longitud de 10,47 km en sentido suroeste hasta su desembocadura, de los cuales 7,22 km hacen parte del abastecimiento de actividades agroindustriales del municipio, cuenta con un índice asimétrico de 5.89, una precipitación de 1543 mm y su IRH es moderado, lo que permitió teorizar sobre el funcionamiento ecológico del sistema, como una zona con una alta oferta hídrica para las diferentes actividades de la zona de estudio debido a su ubicación geográfica y características morfométricas.
- En cuanto a las reducciones realizadas sobre la oferta hídrica el caudal por calidad se redujo en un 15% debido a un ICA medio, y el caudal ecológico al 25% debido a un IRH de 0.65-0.75, al sumar estos dos valores la reducción total es 40%, dando como resultado una oferta hídrica neta de la cuenca (OHNC) disponible de 1.527'511.909 m³/año.
- Se identificó que las concesiones otorgadas por la Corporación Autónoma Regional del Cauca, se encuentran ubicadas en su mayoría entre el punto 2 después de la PTAR de Guáchene y el 4 en el puente PICC de la microcuenca del río Palo según informes de la autoridad ambiental, al igual que se observaron a lo largo de los puntos de monitoreo la existencia de vertimientos no registrados y sin ningún tratamiento previo.
- Para el cálculo de la Demanda Hídrica Total de la microcuenca del río Palo se realizó en base a las actividades económicas y su uso por sectores, indicando que la mayoría pertenece al sector agrícola con 54% y la mínima al industrial con 4.4%; obteniendo un resultado total de 31'970.093,04 m³/año.
- Finalmente, los resultados mostraron que la microcuenca del río Palo tiene un índice de escasez (Ie) mínimo del 2.1 %, siendo propicio para el ambiente, es decir, no se experimentan presiones importantes sobre el recurso hídrico. Sin embargo, aunque no es inminente crear estrategias para su optimización es importante tomar acciones para proteger, recuperar y/o mantener las fuentes abastecedoras de la microcuenca del mismo.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda la instalación de estaciones de monitoreo limnimétricas con la red del IDEAM en especial sobre las microcuencas abastecedoras de la zona, debido a que permitirá más precisión y confiabilidad al realizar evaluaciones de índole hídrica.
- Se recomienda recopilar información registrada respecto a los registros de caudales en diferentes épocas del año, para poder realizar para la proyección de las curvas de duración de caudales de forma detallada, para mayor precisión en este tipo de trabajos.
- Según los resultados de los parámetros fuera de los límites permisibles se recomienda verificar que la planta de tratamiento este en correcto funcionamiento para mejorar la calidad del recurso hídrico de la microcuenca del rio Palo, y que a su vez mejorara las condiciones de la biota de la zona.
- Se recomienda una vigilancia más estricta en la zona por posibles vertimientos ilegales sin previo tratamiento o que no cumplan con los parámetros permisibles que influye sobre la calidad de la fuente, esto con el propósito de preservar de la fuente del rio Palo.
- Es de relevancia infundir en la comunidad de la zona estudio a la educación y sensibilización ambiental, por medio de campañas, charlas entre otras actividades que faciliten su entendimiento hacia la concientización de la importancia de las fuentes hídricas y sus corredores biológicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] UNESCO, Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019. No dejar a nadie atrás. 2019.
- [2] Comisión Reguladora de Agua, «Análisis del sector de agua potable y saneamiento en Colombia», Plan Reg. Inversiones En Ambiente Salud. Análisis, n.º 11, p. 270, 1997.
- [3] C. F. Pérez, C. A. Madera-Parra, A. F. Echeverri-Sánchez, y N. Urrutia-Cobo, «Wastewater Reuse: impact on the chemical and macronutritional attributes of an inceptisol irrigated with treated domestic wastewater», Ing Compet, vol. 17, n.º 2, pp. 19-28, 2015.
- [4] Decenio Internacional para la Acción “El agua, fuente de vida” 2005-2015. Áreas temáticas: Escasez de agua. <https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/scarcity.shtml> (accedido jun. 25, 2021).
- [5] UNWATER y UNESCO, «Informe de las Naciones Unidas sobre los recursos hídricos en el mundo 2015. pp 2-5». 2015. [En línea]. Disponible en: http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/images/WWDR2015Facts_Figures_SPA_web.pdf
- [6] Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territoria, Informe anual sobre el estado del medio ambiente y los recursos naturales renovables en Colombia. 2008.
- [7] Colombia Ministerio de la Protección Social, Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, vol. 1. 2010.
- [8] CRC, La Subcuenca, Corpopaló.
- [9] Administración municipal de puerto tejada, «Ecología».
- [10] Naciones Unidas, Agua, United Nations. <https://www.un.org/es/global-issues/water> (accedido jun. 25, 2021).
- [11] Food and Agriculture Organization of the United Nations, Afrontar la escasez de agua: un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria. 2013. Accedido: jun. 25, 2021. [En línea]. Disponible en: <http://public.ebookcentral.proquest.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=3239163>
- [12] L. Hernández, S. Palacios, y M. Madroñero, «Importancia Del Componente Social En El Manejo Del Recurso Hídrico, Río El Encano, Humedal Ramsar La Cocha (Nariño, Colombia)», Luna Azul, n.º 42, pp. 200-216, 2015, doi: 10.17151/luaz.2016.42.13.
- [13] O. Burbano et al., «Estimation of the Hydric Supply With Scarce», Rev. Fac. Nac. Agron., vol. 61, n.º 1, pp. 4366-4380, 2008.

- [14] D. SABAS R., CARLOS ANDRÉS; PAREDES CUERVO, «ESTUDIO DE OFERTA Y DEMANDA HÍDRICA EN LA CUENCA DEL RÍO BARBAS», n.º 0122-1701, pp. 405-410, 2009.
- [15] C. Costa Posada, E. Domínguez Calle, H. Rivera, y R. Vanegas Sarmiento, «The rate of water shortage. An indicator or a warning to guide the management of water resources?», Rev. Ing., n.º 22, pp. 104-111, 2005.
- [16] Y. Martínez Valdés y V. M. Villalejo García, «La gestión integrada de los recursos hídricos: una necesidad de estos tiempos», Ing. Hidráulica Ambient., vol. 39, n.º 1, pp. 58-72, 2018.
- [17] Z. Rodríguez, «Gobernabilidad Sobre El Recurso Hídrico En Colombia Entre Avances Y Retos», Gest. Ambiente, vol. 15, n.º 3, pp. 99-112, 2012.
- [18] Corponariño, «Plan De Ordenamiento Del Recurso Hídrico Quebrada Miraflores», pp. 2008-2009, 2011.
- [19] J. I. Vélez, «Balance hídrico Recarga , Reservas , Explotación , Sobrexplotación», Univ. Nac. Colomb. Sede Medellin, 2015.
- [20] M. Velásquez-Restrepo y G. Poveda, «Estimation of the water balance of the colombian pacific region», DYNA Colomb., vol. 86, n.º 208, pp. 297-306, 2019, doi: 10.15446/dyna.v86n208.73587.
- [21] CORPONARIÑO, «Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico- PORH del Río Blanco», vol. 1, pp. 1-378, 2011.
- [22] M. Bedoya, C. Contreras, y F. Ruiz, «Agua 2010», Estud. Nac. Agua 2010, p. 421, 2010.
- [23] C. y T. Ministerio de Vivienda, RAS 2000, Título D - Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y aguas lluvias. 2016.
- [24] Corte constitucional y Consejo Superior de la Judicatura, «Constitución Política de Colombia 1991. Actualizada con los Actos Legislativos a 2016», pp. 1-170, 2016.
- [25] Ministerio del Medio Ambiente, «Decreto 2811 del 1974», p. 244, 1974.
- [26] L. Cortes y L. Cortes, «DECRETO 1541 DE 1978», vol. 1978, n.º lli, p. 1978, 1978.
- [27] Republica de Colombia Ministerio de Agricultura, «Decreto 1594 de 1984», vol. 1984, n.º 36, p. 55, 1984.
- [28] IDEAM, «Resolución 865 de 2004, por medio de la cual se adopta la metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas superficiales a que se refiere el Decreto 155 de 2004 y se adoptan otras disposiciones». 2004.
- [29] Ministerio de ambiente vivienda y desarrollo territorial, «Decreto 3930 del 2010», Minist. Ambiente Vivienda Desarro. Territ., p. 29, 2010.
- [30] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, «Decreto 1076 de 2015», vol. 1, 2015.
- [31] Administración municipal de Puerto Tejada, «Geografía», 2016, nov. 2016.
- [32] Administración municipal de Puerto Tejada, «Geografía y Ecología», sep. 2019.

- [33] IDEAM, «Demanda Hídrica de las Actividades Socioeconómicas y los Ecosistemas (DH)», n.º 96, p. 25, 2016.
- [34] N. Fernández, G. Ramos, y F. Solano, «Una Herramienta Informática para el Análisis y Valoración de la Calidad del Agua», Univ. Pamplona, vol. 2, pp. 90-96, 2009.
- [35] IDEAM, «Formato Común Hoja Metodológica Índice de calidad del agua en corrientes superficiales (ICA)», n.º 96, pp. 1-10, 2011.
- [36] N. J. Fernandez y F. Solano, Capítulo III: índices de calidad (ICAs) y de contaminación (ICOs) del agua de importancia mundial. 2005.
- [37] IDEAM, «Metodología Para el cálculo del Índice de Escasez de Agua Superficial», Ideam, p. 27, 2004.
- [38] J. Holguin, «Calibración del Modelo de Simulación de la Calidad del Agua Qual2Kw del Río Palo con Fines de Ordenamiento del Recurso Hídrico», Conv. Crc - Funaru, p. 76, 2014.
- [39] SUBDIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL CRC, «ESTABLECIMIENTO DE METAS DE CARGAS CONTAMINANTES INDIVIDUALES O GRUPALES USUARIOS INDUSTRIALES Y MUNICIPALES DIRECTOS AL RIO PALO».
- [40] Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo, «Resolución 865 de 2004», 2004.
- [41] CORTOLIMA, «Calidad de aguas». 2009.
- [42] L. León, «Análisis Económico de la Población. Demografía», Grupo Interdiscip. Estud. Crít. América Lat. GIECRYAL, pp. 53-57, 2015.
- [43] Planeación y Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, «Línea base de indicadores socioeconómicos - Diagnóstico de condiciones sociales y económicas», pp. 39-46, 2019.
- [44] Alcaldía Municipal, «Economía del municipio de Puerto Tejada, Cauca».
- [45] O. Jaramillo, M. Gonzales, y G. Saldarriaga, «Estimación de la demanda de agua. Conceptualización y dimensionamiento de la demanda hídrica sectorial», Gest. Ambiente, n.º 1, p. 175, 2010.

ANEXOS

Anexo 1. Estaciones Meteorológicas Seleccionadas

| CODIGO | ESTACION | ALTITUD | TIPO DE ESTACION | COORDENADAS | |
|----------|---------------|---------|------------------|-------------|-----------|
| | | | | X | Y |
| 26040160 | UKRANIA | 1026 m | | 1090128.54 | 841958.22 |
| 26045010 | ING BENGALA | 1000 m | CO | 1073466.21 | 852577.93 |
| 26047070 | PTO TEJADA | 966 m | | 1071597.31 | 849317.54 |
| 26060040 | CENIT EL HDA | 980 m | | 1071592.58 | 856689.86 |
| 26060180 | ESPEJO EL HDA | 980 m | | 1075297.37 | 856692.32 |

Fuente Elaboración Propia

Anexo 2. Precipitación de la zona de estudio

| MES | PRECIPITACION |
|------------|---------------|
| Enero | 132.87 |
| Febrero | 120.27 |
| Marzo | 180.87 |
| Abril | 183.30 |
| Mayo | 121.67 |
| Junio | 57.50 |
| Julio | 29.75 |
| Agosto | 52.00 |
| Septiembre | 97.05 |
| Octubre | 227.20 |
| Noviembre | 208.90 |
| Diciembre | 132.60 |

Fuente Elaboración Propia

Anexo 3. Temperatura Media de la zona de estudio

| MES | TEMPERATURA MEDIA |
|------------|-------------------|
| Enero | 25.26 |
| Febrero | 24.35 |
| Marzo | 25.21 |
| Abril | 25.34 |
| Mayo | 25.27 |
| Junio | 25.34 |
| Julio | 25.66 |
| Agosto | 25.34 |
| Septiembre | 25.19 |
| Octubre | 25.04 |
| Noviembre | 25.13 |
| Diciembre | 25.25 |

Fuente Elaboración Propia

Anexo 4. Evapotranspiración de la zona de estudio.

| MES | EVAPOTRANSPIRACION |
|------------|--------------------|
| Enero | 133.05 |
| Febrero | 125.08 |
| Marzo | 138.49 |
| Abril | 136.21 |
| Mayo | 131.89 |
| Junio | 129.19 |
| Julio | 137.99 |
| Agosto | 138.12 |
| Septiembre | 133.70 |
| Octubre | 133.67 |
| Noviembre | 122.11 |
| Diciembre | 132.05 |

Fuente Elaboración Propia

Anexo 5. Reporte resultados análisis fisicoquímicos y microbiológicos del Río Palo

| | | |
|----------------|---|---|
| Reporte N° 156 |  <p>CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA LABORATORIO AMBIENTAL</p> <p>REPORTE DE RESULTADOS – MUESTRA DE AGUA</p> | Código: FT-PDPA-LA027 Fecha: 11/02/2020 Versión: 4 Página 1 de 2 |
|----------------|---|---|

| | | |
|--|--|-------------------|
| Fecha: Noviembre 12 de 2020 | | |
| Cliente: Subdirección de Gestión Ambiental | Teléfono: 8333232 | Solicitud N°: 124 |
| Dirección: Carrera 7 N° 1N-28, Popayán | | |
| Municipio de muestreo: Caloto, Guachené, Puerto Tejada | Fecha de Recepción: Octubre 28 de 2020 | |

| | |
|---------------------------|----------|
| Muestreo: | |
| Plan de Muestreo N° | N/A |
| Fecha de Muestreo | N/A |
| Lugar de Muestreo | Río Palo |
| Procedimiento de muestreo | N/A |
| Condiciones ambientales | N/A |

| Identificación de la muestra | | |
|------------------------------|----------------------------------|-------------|
| Código Muestra | Sitio de Muestreo | Coordenadas |
| 0385 | Río Palo, puente Guachené | N/A |
| 0386 | Río Palo, después PTARD Guachené | N/A |
| 0387 | Río Palo, puente Maiz | N/A |
| 0388 | Río Palo, puente PICC | N/A |

| | | |
|------|--------------------------------|-----|
| 0389 | Río Palo, puente Panamericana | N/A |
| 0390 | Río Palo, puente Puerto Tejada | N/A |
| 0391 | Río Palo, desembocadura | N/A |
| 0392 | Río Paila, puente Panamericana | N/A |
| 0393 | Río Paila, desembocadura | N/A |

N/A: No Aplica

| Variable/Método/Unidad: | | |
|-------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Variable | Método | Unidad |
| DBO ₅ | SM5210B/SM4500-OG | mg/L |
| DQO | SM5220D | mg/L |
| SST | SM2540D | mg/L |
| Turbiedad | SM 2130 B | UNT |
| Color | SM 2120 C | UPC |
| Dureza | SM 2340 C | mgCaCO ₃ /L |
| Alcalinidad | SM 2320B | mgCaCO ₃ /L |
| Nitratos | SM 4500-NO ₃ B | mg NO ₃ -N/L |
| Nitritos | Kit comercial | mg NO ₂ -N/L |
| Nitrógeno total | Kit comercial | mg N/L |
| Ortofosfatos | Kit comercial | mg PO ₄ -P/L |
| Fosforo total | Kit comercial | mg P/L |
| Coliformes totales | SM9222B | Ufc/100ml |
| Coliformes fecales | SM9222D | Ufc/100ml |

| | | |
|----------------|---|---|
| Reporte N° 156 |  <p>CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA LABORATORIO AMBIENTAL</p> <p>REPORTE DE RESULTADOS – MUESTRA DE AGUA</p> | Código: FT-PDPA-LA027 Fecha: 11/02/2020 Versión: 4 Página 2 de 2 |
|----------------|---|---|

| Resultados laboratorio: | | | | | | |
|--------------------------------|--------------------|------------|--------|--------|--------|-------|
| Fecha de análisis (AAAA-MM-DD) | Variable | Resultados | | | | |
| | | 0385 | 0386 | 0387 | 0388 | 0389 |
| 2020-10-28 | DBO ₅ | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| 2020-10-28 | DQO | < 15 | < 15 | < 15 | < 15 | < 15 |
| 2020-10-30 | SST | 35.9 | < 10 | < 10 | 18.7 | 27.3 |
| 2020-10-29 | Turbiedad | 2.2 | 1.7 | 3.0 | 4.6 | 5.0 |
| 2020-10-29 | Color | 28 | 25 | 38 | 89 | 95 |
| 2020-10-28 | Dureza | 77.0 | 76.9 | 89.8 | 96.2 | 103 |
| 2020-10-29 | Alcalinidad | 65.1 | 67.6 | 68.1 | 98.8 | 103 |
| 2020-10-29 | Nitratos | 0.15 | 0.15 | 0.18 | 0.41 | 0.44 |
| 2020-10-30 | Nitritos | < 0.02 | < 0.02 | < 0.02 | < 0.02 | 0.02 |
| 2020-11-09 | Nitrógeno total | 0.16 | 0.16 | 0.20 | 0.45 | 0.50 |
| 2020-10-30 | Ortofosfatos | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | 0.15 | 0.16 |
| 2020-10-30 | Fosforo total | 0.26 | 0.14 | 0.21 | 0.75 | 1.95 |
| 2020-10-29 | Coliformes totales | 27800 | 68000 | 51600 | 36000 | 48600 |
| 2020-10-29 | Coliformes fecales | 2100 | 16000 | 13800 | 6900 | 7500 |

Resultados laboratorio:

| Fecha de análisis (AAAA-MM-DD) | Variable | Resultados | | | |
|-----------------------------------|--------------------|------------|-------|-------|-------|
| | | 0390 | 0391 | 0392 | 0393 |
| 2020-10-28 | DBO ₅ | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| 2020-10-28 | DQO | < 15 | 18.1 | < 15 | < 15 |
| 2020-10-30 | SST | 74.0 | 40.0 | 53.4 | 21.0 |
| 2020-10-29 | Turbiedad | 8.0 | 9.3 | 31.2 | 15.7 |
| 2020-10-29 | Color | 97 | 104 | 307 | 142 |
| 2020-10-28 | Dureza | 103 | 115 | 115 | 109 |
| 2020-10-29 | Alcalinidad | 91.2 | 102 | 75.3 | 80.0 |
| 2020-10-29 | Nitros | 0.34 | 0.37 | 0.54 | 0.35 |
| 2020-10-30 | Nitros | 0.04 | 0.02 | 0.10 | 0.08 |
| 2020-11-09 | Nitrógeno total | 0.41 | 0.45 | 0.82 | 0.77 |
| 2020-10-30 | Ortofosfatos | 0.15 | < 0.1 | 0.19 | 0.11 |
| 2020-10-30 | Fosforo total | 1.76 | 2.87 | 1.57 | 0.28 |
| 2020-10-29 | Coliformes totales | 37600 | 42400 | 34000 | 42400 |
| 2020-10-29 | Coliformes fecales | 4100 | 3200 | 2300 | 9400 |

Observaciones:

-Los resultados que se relacionan en este informe hacen referencia únicamente a las muestras analizadas.
 -Este documento no puede ser reproducido parcial o totalmente sin la debida autorización del Laboratorio Ambiental.



DIEGO ZULUAGA VERA
 Responsable Laboratorio Ambiental

Laboratorio Ambiental: Vivero CRC, Vereda González, Popayán Telefax: 8333232 ext. 231

Fuente: Laboratorio Ambiental, CRC