



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Problemáticas ambientales asociadas al uso y disponibilidad del agua en la subcuenca del río Piedras del municipio de Tununguá (Boyacá)

Lina Mercedes Almanza Guzmán

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Económicas, Instituto de Estudios Ambientales
Bogotá, Colombia
2022

Problemáticas ambientales asociadas al uso y disponibilidad del agua en la subcuenca del río Piedras del municipio de Tununguá (Boyacá)

Lina Mercedes Almanza Guzmán

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Medio Ambiente y Desarrollo

Director:

Biólogo. Gabriel Hernando Guillot Monroy

Profesor Asociado

Departamento de Biología

Línea de Investigación:

Gestión Ambiental

Grupo de Investigación:

Grupo de Investigación del Instituto de Estudios Ambientales - Bogotá

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Económicas, Instituto de Estudios Ambientales

Bogotá, Colombia

2022

Declaración de obra original

Yo declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.

Lina Mercedes Almanza Guzmán

Fecha 28/02/2022

Fecha

Agradecimientos

Primero quiero dar gracias a Dios por permitirnos estar día a día con nuestros seres queridos, darnos salud, vida y la posibilidad de desempeñar nuestras actividades diarias, de igual forma quiero agradecer a mis padres por la oportunidad de profundizar los temas de mi carrera y apoyarme en la culminación de la maestría.

También quiero agradecer a mi director Gabriel Hernando Guillot Monroy, biólogo de la Universidad Nacional de Colombia por el acompañamiento y dirección de mi tesis, por los consejos y apoyo íntegro tanto en las actividades académicas como en las situaciones de salud, así mismo agradecer a todos aquellos que me brindaron la información necesaria para el desarrollo del proyecto, a los profesores que hicieron parte de la formación académica de la maestría en Medio Ambiente y Desarrollo y sus consejos que son de mucho valor para la vida profesional y personal, así como a todos aquellos que hacen parte del IDEA, los cuales me orientaron y guiaron en todo este proceso.

Finalmente, dar gracias a la Universidad Nacional de Colombia por la posibilidad de acceder a educación de calidad, tanto por sus profesores como la enseñanza en la vida académica, por permitirnos formarnos y conocer nuevas personas que se convierten finalmente en amigos; por sus espacios educativos y las experiencias que nos deja esta trayectoria. Espero poder volver y seguir disfrutando de esta institución.

Resumen

Problemáticas ambientales asociadas al uso y disponibilidad del agua en la subcuenca del río Piedras del municipio de Tununguá (Boyacá)

Este texto permite identificar las condiciones de calidad y cantidad del agua, así como las problemáticas ambientales originadas en la subcuenca del río Piedras en el municipio de Tununguá y sus respectivas estrategias de planificación, donde a partir del cálculo de la huella hídrica total (huella hídrica azul, huella hídrica verde y huella hídrica gris), realizado por medio de dos metodologías aplicadas por parte de un estudio basado en una guía metodológica para cuenca, y las ecuaciones para huella hídrica azul y verde establecidas en el Estudio Nacional del Agua, nos permiten conocer los porcentajes correspondientes al total del consumo de agua para el municipio, correspondientes a la HH azul (32%), HH verde (55%) y HH gris (13%), en donde la actividad que más consume agua superficial es el sector pecuario y los sectores que más aportan a la huella gris son el doméstico y pecuario. Dentro de los resultados identificados para las distintas actividades y su respectiva huella hídrica se encuentra un valor de 21803,57 m³/mes (doméstico), 3347656,42 m³/mes (agrícola) y 439101,07 m³/mes (pecuario), siendo el de mayor aporte el sector agrícola por parte de la huella hídrica verde; por otro lado, las actividades que generan mayores problemáticas a nivel ambiental y de uso y disponibilidad del agua son la deforestación, uso de agroquímicos, el cambio de cobertura del suelo y la contaminación hídrica. De este modo, se plantean cuatro estrategias de planificación con las cuales se busca preservar y conservar los bienes ambientales y con ellas mejorar las condiciones de acceso al agua, evitando riesgos para los seres vivos a futuro.

Palabras clave: Huella Hídrica, Uso y disponibilidad del agua, Problemáticas ambientales, Estrategias de planificación del agua, Actividades agrícolas y domésticas.

Abstract

Water availability and water usage issues in the sub-basin of Piedras River, municipality of Tununguá (Boyacá, Colombia)

This project aims to identify the quality and quantity water conditions, main environmental issues, and prospective planning strategies of the sub-basin of Piedras River, municipality of Tununguá (Boyacá, Colombia). The total water footprint calculation was assessed (green, blue, and grey water footprint) using the basin methodological guideline and the blue-green water footprint equations stated in the National Water Study. The results showed that 32% of the water footprint was blue, 55% green, and 13% grey. The activity that demands more surface water is the livestock sector. The domestic and livestock sectors contributed the most to the grey water footprint. Overall, 218.03,57 m³/month were consumed in the domestic sector, 3.347.656,42 m³/month in the agricultural sector, and 439.101,07 m³/month in the livestock sector, being the green water footprint from the agricultural sector the main contributor. The major environmental issues related to water availability and water usage were deforestation, agrochemical use, land cover change, and water pollution. Four planning strategies were proposed to preserve environmental goods which will aim to improve the access to drinking water and avoid risks for future living organisms.

Keywords: Water footprint, water availability and usage, environmental issues, water management strategies, agriculture and domestic activities.

Contenido

	Pág.
Resumen	VII
Lista de figuras	XI
Lista de imágenes	XII
Lista de tablas	XIII
Lista de Símbolos y abreviaturas	XIV
Introducción	1
1. Capítulo 1. Generalidades	3
1.1 Justificación.....	3
1.2 Planteamiento del problema.....	4
1.2.1 Definición del problema	4
1.2.2 Pregunta problema	4
1.3 Objetivos	5
1.3.1 Objetivo general.....	5
1.3.2 Objetivos específicos	5
1.4 Marcos de referencia.....	5
1.4.1 Marco teórico	5
1.4.2 Marco conceptual	7
1.4.3 Estado del arte	10
2. Capítulo 2. Metodología	13
2.1 Fases del trabajo de grado.....	13
2.2 Proceso metodológico.....	14
2.3 Técnicas e instrumentos.....	16
3. Capítulo 3. Desarrollo y resultados	17
3.1 Descripción de la zona de estudio.....	17
3.1.1 Datos generales de la subcuenca.....	20
3.1.2 Estado del ecosistema.....	39
3.2 Análisis ambiental y cálculo de la huella hídrica	45
3.2.1 Definición de la escala de trabajo	46
3.2.2 Uso actual del agua e identificación de problemáticas ambientales.....	46
3.2.3 Método de cálculo.....	55

X Problemáticas ambientales asociadas al uso y disponibilidad del agua en la
 subcuenca del río Piedras del municipio de Tununguá (Boyacá)

3.2.4	Resultados del cálculo.....	59
3.2.5	Análisis ambiental	65
3.3	Formulación de estrategias de planificación.....	67
4.	Capítulo 4. Análisis y discusión	69
5.	Conclusiones y recomendaciones	78
5.1	Conclusiones	78
5.2	Recomendaciones	79
A.	Anexo: Normatividad aplicada al proyecto	81
B.	Anexo: Datos básicos para el cálculo de las huellas	83
C.	Anexo: Encuesta aplicada a la comunidad del municipio	91
D.	Anexo: Estrategias propuestas para la planificación del agua	93
	Bibliografía	95

Lista de figuras

	Pág.
Ilustración 1-1. Preguntas de investigación.....	4
Ilustración 2-1. Proceso metodológico del proyecto.....	14
Ilustración 2-2. Proceso metodológico para la huella hídrica total.....	15
Ilustración 3-1. Mapa de ubicación territorial de la cuenca.....	18
Ilustración 3-2. Mapa de los límites territoriales de la cuenca por municipios.....	19
Ilustración 3-3. Mapa de la subcuenca del río Piedras.....	21
Ilustración 3-4. Precipitación promedio anual para los años 2000 al 2020.....	22
Ilustración 3-5. Precipitación promedio mensual para los años 2000 al 2020.....	23
Ilustración 3-6. Temperatura promedio anual para los años 2000 al 2020.....	24
Ilustración 3-7. Temperatura promedio mensual para los años 2000 al 2020.....	25
Ilustración 3-8. Humedad relativa promedio anual para los años 2001 al 2020.....	26
Ilustración 3-9. Humedad relativa promedio mensual para los años 2001 al 2020.....	26
Ilustración 3-10. Humedad Relativa y Temperatura Anual para los años 2001 al 2020.....	27
Ilustración 3-11. Evapotranspiración promedio anual para los años 2000 al 2020.....	28
Ilustración 3-12. Evapotranspiración promedio mensual para los años 2000 al 2020.....	29
Ilustración 3-13. Balance hídrico.....	30
Ilustración 3-14. Mapa Geológico de Colombia (2007).....	31
Ilustración 3-15. Cobertura de suelos en la cuenca Carare Minero.....	34
Ilustración 3-16. Fuentes de abastecimiento de agua.....	46
Ilustración 3-17. Dispositivos de captación de agua.....	47
Ilustración 3-18. Uso agrícola y pecuario del municipio.....	47
Ilustración 3-19. Consumo de agua por cultivos agrícolas.....	48
Ilustración 3-20. Consumo de agua por actividades pecuarias.....	48
Ilustración 3-21. Consumo de agua por actividades domésticas.....	49
Ilustración 3-22. Formas de riego en los cultivos.....	49
Ilustración 3-23. Consumo de agua para control de plagas y enfermedades.....	50
Ilustración 3-24. Hectáreas por tipo de cultivo.....	50
Ilustración 3-25. Tiempo de residencia en el municipio.....	51
Ilustración 3-26. Estado de la calidad del agua.....	51
Ilustración 3-27. Condiciones de calidad del agua del municipio.....	52
Ilustración 3-28. Cambios en la cobertura del suelo.....	53
Ilustración 3-29. Otras actividades desarrolladas en algunas zonas del municipio.....	54
Ilustración 3-30. Resultados HH azul sector agropecuario mensual multianual.....	61
Ilustración 3-31. Resultados HH verde sector agropecuario por cultivo.....	62
Ilustración 3-32. Estrategias de planificación.....	68

Lista de imágenes

	Pág.
Imagen 3-1. Ubicación de tramos de evaluación del ecosistema.....	40
Imagen 3-2. Vegetación del río - Ancamay.....	41
Imagen 3-3. Cultivos orillas del río - Ancamay.....	41
Imagen 3-4. Afluente río - Ancamay.....	42
Imagen 3-5. Estado del agua del río - Ancamay.....	42
Imagen 3-6. Vegetación río Canutillo, tramo II.....	43
Imagen 3-7. Cultivos a la orilla del río Canutillo, tramo II.....	43
Imagen 3-8. Afluente río Canutillo, tramo II.....	43
Imagen 3-9. Estado del agua río Canutillo, tramo II.....	44
Imagen 3-10. Vegetación río Canutillo, tramo III.....	44
Imagen 3-11. Cultivos río Canutillo, tramo III.....	45
Imagen 3-12. Estado del agua río Canutillo, tramo III.....	45

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1-1. Normatividad vigente para el proyecto.	9
Tabla 2-1. Componentes necesarios para el cumplimiento de objetivos.	16
Tabla 3-1. Tipos de pliegues por municipio.	31
Tabla 3-2. Consumo de agua por tipo de cultivo.	36
Tabla 3-3. Dinámica poblacional en el municipio desde 1993 al 2021.....	37
Tabla 3-4. Porcentaje Huella Hídrica para los diferentes sectores.	64

Lista de Símbolos y abreviaturas

Para tener un ideal de los significados de las abreviaturas que se mostrarán a lo largo del documento se presenta la siguiente información:

Abreviaturas

Abreviatura	Término
--------------------	----------------

<i>DANE</i>	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
<i>IDEAM</i>	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
<i>ENA</i>	Estudio Nacional del Agua
<i>POMCA</i>	Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica
<i>DNP</i>	Departamento Nacional de Planeación
<i>PTAP</i>	Planta de Tratamiento de Agua Potable
<i>PTAR</i>	Planta de Tratamiento de Agua Residual
<i>Ha</i>	Hectárea
<i>OMS</i>	Organización Mundial de la Salud
<i>IRCA</i>	Índice de Riesgo de la Calidad del Agua
<i>DQO</i>	Demanda Química de Oxígeno
<i>DBO</i>	Demanda Bioquímica de Oxígeno
<i>SST</i>	Sólidos Suspendidos Totales

Introducción

El municipio de Tununguá se encuentra situado al occidente del departamento de Boyacá, cuenta con una población total de 1576 habitantes (DNP, 2020), en donde la mayoría de la población se encuentra establecida en la zona rural con aproximadamente 1306 habitantes (82,86%) y en la zona urbana con 270 habitantes (17,13%). La zona rural tiene una extensión territorial de 61,6 km² (80% de la extensión del municipio) y la zona urbana de 15,4 km², así mismo, la base de la economía parte del sector agropecuario con cultivos permanentes y propios de la zona como: la guayaba, cítricos (mandarina, limón, naranja) y caña; tecnificados como: guayaba, guanábana, pitahaya, aguacate, cacao, entre otros. (Concejo Municipal de Tununguá, 2016). En general el municipio cuenta con suelos fértiles para la producción agrícola, tiene gran potencial hídrico con varias quebradas presentes en su territorio y riquezas representadas en biodiversidad nativa.

La fuente abastecedora de agua del municipio se basa principalmente en la subcuenca del río Piedras, el cual hace parte de la hoya hidrográfica Carare Minero y su desembocadura se realiza finalmente en el río Magdalena. Esta subcuenca no ha sido objeto de estudio con relación a los consumos, usos, calidad y disponibilidad del agua que generan diferentes actividades económicas del sector agrícola y doméstico; sobre todo por el cambio de cobertura de los suelos y el aumento de cultivos, como toda actividad que presenta un consumo, lo cual se simplifica en la falta de conciencia por parte de la población en el uso que se da al recurso y las consecuencias ocasionadas por su inadecuada gestión (Delgado et al., 2013); adicionalmente, a lo largo de su drenaje, se presentan múltiples actividades de contaminación y fluctuaciones de caudales, relacionadas con épocas de sequía y de aumentos de lluvias, los cuales no han sido cuantificados ni analizados desde un enfoque ambiental.

Para cuantificar los diferentes consumos, determinar la calidad y disponibilidad del agua se aplica el método del cálculo de la huella hídrica, el cual permite hacer la medición a nivel de huella hídrica azul, huella hídrica verde y huella hídrica gris, con el fin de determinar en el recurso hídrico la cantidad de agua que es utilizada en actividades como consumo en el hogar, agricultura y vertimientos de origen doméstico respectivamente, así mismo, se identifica la oferta hídrica con la información obtenida de los cálculos realizados previamente con la huella hídrica.

Por otro lado, en cuanto al uso del agua y las problemáticas ambientales presentes con relación a los cambios ecosistémicos o de biodiversidad que se han generado en los últimos 20 años, para la recuperación de los datos de análisis se aplican cincuenta (50) encuestas que proporcionan información relevante para el proyecto enfocadas en las actividades que son desarrolladas diariamente, así mismo, se lleva a cabo una visita en campo para responder y corroborar estos cambios presentes en el ecosistema, así como la intervención a personas que residan por al menos veinte (20) años en la zona.

De este modo, se determina que el municipio tiene una limitación en la información de las problemáticas derivadas del consumo, los impactos, los cambios representativos en el ecosistema y la cuenca abastecedora, los tipos de usos del agua y su disponibilidad, así como las actividades que generan una escasez y mayor consumo de agua; adicionalmente la variabilidad climática puede ser ocasionada por los cambios en las épocas de poca o abundante lluvia, para lo cual, es necesario conocer las condiciones meteorológicas del sector, las cuales se establecen por medio de la estación de Albania, Santander, siendo la de mayor cercanía a la zona de estudio.

Dado lo anterior, con el proyecto se busca identificar las problemáticas ambientales generadas por el uso del agua de la subcuenca del río Piedras, para que con la información recopilada se puedan proponer lineamientos de planificación del agua, contribuir a reducir los efectos negativos de su inadecuado uso en la zona, evitando su pérdida, degradación y promover la disposición y conservación del agua para el bienestar natural y humano.

1. Capítulo 1. Generalidades

Los subcapítulos que se verán a continuación se relacionan principalmente con las generalidades del proyecto, tales como la justificación, planteamiento del problema, definición del problema, pregunta problema, los objetivos (general y específicos) y los marcos de referencia de los cuales se hace su respectiva descripción a medida que se profundiza en la información implantada en el documento.

1.1 Justificación

La oferta, la demanda y la disponibilidad del agua presentes en la subcuenca del río Piedras, a partir de las actividades desarrolladas en el sector doméstico y agropecuario, permiten ofrecer al municipio información con relación a los tipos de uso del agua que se están empleando en esta fuente abastecedora, tomando en cuenta el indicador de la huella hídrica para la cuantificación de la calidad y cantidad de agua usada y con esta implementar técnicas/estrategias de planificación del recurso. Adicional se busca la identificación de las problemáticas ambientales causadas por la limitación del agua y los cambios ecosistémicos que se han presentado en la zona de estudio, proponiendo un manejo óptimo para el abastecimiento futuro de la población y los ecosistemas. Así mismo, se busca contribuir en la conservación del recurso y mantener su oferta en épocas de poca lluvia para las comunidades, a partir de la educación ambiental, fomentando el conocimiento acerca de la importancia, la gestión y el cuidado del recurso hídrico, con el fin de mantener en abundancia el sistema.

1.2 Planteamiento del problema

1.2.1 Definición del problema

El municipio de Tununguá presenta ausencias y limitaciones en cuanto a información referente a los usos directos e indirectos del agua proveniente de la subcuenca del río Piedras, así como en la cantidad y la calidad de esta que es utilizada para el desarrollo de las diferentes actividades domésticas y agropecuarias, además de los impactos y cambios generados en los ecosistemas, donde no se han realizado estudios previos. Es así, que dado este desconocimiento y sin tener en cuenta los diferentes factores ambientales que intervienen en la oferta hídrica, se presenta una escasez para el consumo y desarrollo humano, además de las acciones antrópicas y de las especies domésticas previas a la llegada al casco urbano, donde exponen una afectación directa en las condiciones y características del agua, ocasionando de este modo distintos problemas ambientales y perturbando el estado natural del ecosistema de la subcuenca; es por ello que se ve la necesidad de efectuar una gestión del agua, con el fin de llevar a cabo una adecuada planificación que permita promover, proveer y mantener este bien ambiental a lo largo de la subcuenca, además de preservar los ecosistemas del municipio.

1.2.2 Pregunta problema

Ilustración 1-1. Preguntas de investigación.

1. ¿Qué actividades y factores ambientales se relacionan con el uso, disponibilidad y calidad del agua en la subcuenca del río Piedras (municipio de Tununguá, Boyacá) - expresados a través de la huella hídrica del sector agropecuario y doméstico?

2. ¿Cuáles son las características de disponibilidad (fuentes, usos, calidades, cantidades, eficiencia) actuales del agua en los sectores doméstico y agropecuario del municipio de Tununguá (Boyacá)?

3. ¿Cuál es la huella hídrica del uso del agua en las dos actividades consideradas del municipio?

4. ¿Cuáles son los principales factores ambientales que inciden en la huella hídrica calculada y que afectan el uso y la disponibilidad del agua en el municipio?

Fuente: Autor (2021).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Identificar las problemáticas ambientales generadas por el uso del agua de la subcuenca del río Piedras en el municipio de Tununguá (Boyacá), a fin de proponer lineamientos de planificación desde la perspectiva ambiental.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Caracterizar el uso actual del agua relacionado con las actividades domésticas y agrícolas de la subcuenca del río Piedras en el municipio de Tununguá, Boyacá.
2. Determinar las condiciones de calidad y cantidad del agua a partir del cálculo de la huella hídrica en la subcuenca del río Piedras.
3. Proponer estrategias de planificación del recurso, que privilegien el abastecimiento del agua para el uso de las comunidades.

1.4 Marcos de referencia

1.4.1 Marco teórico

A partir de la información recopilada, se plantean las siguientes bases teóricas que permitirán desarrollar con mayor profundidad los temas que competen en este trabajo.

Ecología política y economía ecológica

De acuerdo con lo referido por Enrique Leff (2003), la ecología política constituye un campo de estudio y de acción en el encuentro de diversas disciplinas, pensamientos, éticas, comportamientos y movimientos sociales. Así mismo, se relaciona con diferentes disciplinas que abordan los conflictos derivados de la distribución desigual y las estrategias de apropiación de los recursos ecológicos, los bienes naturales y los servicios ambientales.

La ecología política analiza los procesos de significación, valorización y apropiación de la naturaleza que no se resuelven por la vía de la valoración económica de la naturaleza ni por la asignación de normas ecológicas a la economía. Esta disciplina entiende que los conflictos socio-ambientales se plantean en términos de controversias derivadas de formas diversas de valorización de la naturaleza (Enrique Leff, 2003).

Así mismo Escobar (1999) dice que la articulación entre lo ecológico, lo cultural y lo económico constituye una ecología política para la reconstrucción de las relaciones entre naturaleza y sociedad. Igualmente se dirige hacia un momento de postdesarrollo en donde el carácter unidimensional del desarrollo economicista es puesto en cuestión.

Es así, como la ecología política busca que la sociedad y la naturaleza tengan un equilibrio dinámico que articulen los diferentes aspectos de la naturaleza con interrelaciones múltiples de culturalidad, historia, ecología, biología y otros que permitan obtener un espacio cultural, biofísico y económico en igualdad y armonía para la producción de un tipo de naturaleza social (M. Gómez, 2016).

En otro sentido, Castiblanco (2007) indica que la Economía Ecológica (EE) emerge como una disciplina científica que integra elementos de la economía, ecología, termodinámica, ética y otras ciencias naturales y sociales para integrar la economía y medio ambiente. En este sentido se entiende como la abstracción estructural y funcional de los procesos económicos, de los cuales la economía convencional no se ocupa (p.7).

De esta manera, la EE emerge como una disciplina orientada al estudio de las relaciones e interacciones entre los sistemas ecológicos y los sistemas económicos, incorporando esquemas de lógica, de racionalidad y de valores, enmarcada en una nueva visión ética menos antropocéntrica y más ecológica, promoviendo la uniformidad con las generaciones futuras y con las especies no humanas (Jiménez e Higón, 2003, como se citó en Castiblanco, 2007).

Por otro lado, Beltrán & Velázquez (2015) señalan que el concepto de Huella Hídrica no parte necesariamente desde el enfoque de la Economía Ecológica, sino desde otros campos científicos como la geografía y la ingeniería. La HH se ha desarrollado como un indicador parcial que debe ser integrado con otros elementos de análisis, como resultado de este, se proponen recomendaciones encaminadas a aumentar la eficiencia y a reducir la escasez del agua, es por esto que se debe conocer quien tiene acceso a esos recursos hídricos y quién es excluido de ese acceso y control.

La Ecología Política estudia las relaciones de poder que originan los conflictos ecológicos distributivos y nos propone contextualizar el conocimiento ambiental. Por esto, las estimaciones biofísicas desde la perspectiva de la Economía Ecológica deben ser

complementadas con el análisis de los procesos institucionales, políticos y sociales que coexisten y condicionan esos flujos que aporta el enfoque de la Ecología Política (Beltrán & Velázquez, 2015).

De este modo, relacionamos que la ecología política y la economía ecológica tienen que estar articuladas en el proceso de definir una interacción armónica y equilibrada entre los procesos humanos y la naturaleza, donde estas se basen en interacciones interdisciplinarias y promuevan la igualdad y el acceso de los “bienes naturales” como el agua, teniendo en cuenta que se deben reducir los procesos antrópicos y promover la conciencia ambiental, para lo cual, el cálculo de la huella hídrica permite conocer el estado del medio, mantener el sistema en constancia y promover métodos y estrategias de mejora y cuidado al ambiente, el entorno de desarrollo y la salud humana y ambiental.

1.4.2 Marco conceptual

Con el fin de ofrecer referencias conceptuales de acuerdo con el tema a desarrollar del proyecto, se citan los siguientes términos y definiciones:

En primer lugar, se establece la **huella hídrica** donde se define como el volumen total de agua que se utiliza para producir los bienes y servicios consumidos por los habitantes de un país, sin que esta agua sea retornada al sitio inicial (Hoekstra & Chapagain, 2006) y se expresa en unidades de volumen (m^3 o litros) por servicio consumido.

De acuerdo con Dourojeanni, A, Jouravlev, A & Chávez, G (2002): La **gestión del agua**, hace referencia a la gestión realizada en el agua superficial o subterránea desde una perspectiva multidisciplinaria, con referencias cualitativas, cuantitativas y ecológicas, centrándose en las necesidades y requerimientos de una sociedad en materia del agua.

Según el Quality of Life Assessment Group de la Organización Mundial de la Salud (1996), la **calidad de vida** es la percepción que un individuo tiene en el contexto de la cultura y del sistema de valores en los que vive y en relación con sus objetivos, sus expectativas, sus normas, sus inquietudes. Se trata de un concepto que está influido por la salud física del sujeto, su estado psicológico, su nivel de independencia, sus relaciones sociales, así como su relación con el entorno.

En cuanto al **paisaje**, se estima que este término ha tenido un significado netamente escenográfico, con referentes principalmente estéticos. Actualmente se dice que cualquier fragmento de territorio, natural o intervenido por los humanos, configura un paisaje. El paisaje refleja la realidad ambiental de cada lugar, al tiempo que compendia la historia del proceso antrópico que en él se haya podido desarrollar (Folch & Bru, 2017).

De acuerdo con la definición de los **recursos ambientales**, “constituyen activos sobre los que los individuos ejercen diversas demandas con el objetivo de obtener un nivel de bienestar, teniendo en cuenta que existen restricciones y límites. En términos generales, se puede afirmar que la gestión de los recursos naturales estudia cuál debe ser el mejor comportamiento de los agentes sociales, en sentido amplio, respecto al uso, explotación, conservación o preservación de dichos bienes” (R. Gómez, 2005, p.2).

Los **problemas ambientales** surgen a partir del grado de destrucción ambiental de la atmósfera y de los recursos naturales. Ello ha generado un proceso de encarecimiento de los productos naturales y una crisis que se expresa en la decreciente oferta natural y el aumento en la demanda social (González et al., 2013).

El concepto de **planificación** ha sido definido “como una forma de actuar congénita al ser humano, se constituyó en un proceso imprescindible para racionalizar las decisiones y las acciones” (León, 2014).

En cuanto a la **Planificación ambiental** del artículo 7° decreto 1768 de 1994, define la planificación ambiental como: la herramienta prioritaria y fundamental para el cumplimiento de los objetivos de las corporaciones y para garantizar la continuidad de las acciones. Donde se generarán mecanismos de planificación que permitan realizar un inventario de la existencia de los recursos naturales renovables, su manejo integral y utilización sostenible prolongado en el tiempo, manteniendo su equilibrio ecológico (Mantilla, 2015).

El artículo 80 de la Constitución Política de Colombia se indica que: el Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados (Mantilla, 2015).

De acuerdo con el Estudio Nacional del Agua; IDEAM (2015): La Huella Hídrica, se define como una herramienta que permite estimar el contenido de agua oculta en cualquier bien o servicio consumidos por un individuo o grupo de individuos de un país. Otra definición la toma como una medida de agua requerida para la elaboración de un determinado producto o desarrollo de una actividad, que suple las necesidades de los seres humanos.

Dentro de los conceptos claves de la Huella Hídrica, se encuentran los niveles de división a un grado más específico, estos se categorizan de la siguiente manera: agua verde, agua azul y agua gris; de este modo nace la estructura del cálculo de la Huella Hídrica, en la que se establecen los diferentes componentes, dos enfocados a la cantidad de agua (verde y azul) y uno a la calidad del agua (gris) (IDEAM, 2015).

En primer lugar, la **huella hídrica verde**, es comprendida como la apropiación humana del agua almacenada en el suelo para un uso antrópico, donde define el grado de competencia del sector agropecuario con los sistemas naturales. La **huella hídrica azul**, se define como la extracción y retención del agua de los sistemas hídricos superficiales para uso antrópico que no retorna a la cuenca de origen, establece los conflictos por uso en relación a la oferta hídrica disponible. En cuanto a la **huella hídrica gris** se expresa como el volumen de agua dulce necesario para asimilar la carga contaminante vertida a un cuerpo receptor, presentando reducción de la disponibilidad por afectación a la calidad de agua (IDEAM, 2015).

Para dar un conocimiento general a la normatividad aplicable en el ámbito ambiental nacional para diferentes factores, se dispone la **Tabla 1-1** con las normativas más representativas, sin embargo, si se quiere indagar más sobre estas, se puede observar la tabla plasmada en el Anexo: Normatividad aplicada al proyecto, donde se muestran otro tipo de políticas, leyes, resoluciones y otras.

Tabla 1-1. Normatividad vigente para el proyecto.

Tipo	Año	Entidad	Concepto
Decreto Ley 2811	1974	Presidencia de la República	Regula el aprovechamiento de las aguas no marítimas en todos sus estados y formas, dominio de las aguas y sus cauces, modos de adquirir derecho al uso de las aguas ya sea por ministerio de la ley o por las concesiones, art. 77 al 166.
Ley 9	1979	Congreso de Colombia	Establece las normas generales que servirán de base a las disposiciones y reglamentaciones necesarias para preservar, restaurar y mejorar las condiciones sanitarias en lo que se relaciona a la salud humana.

Constitución Política	1991	Presidencia de la República	Establece los derechos fundamentales y los servicios públicos, donde el Estado debe asegurar su prestación eficiente, entre estos se establecen los artículos 365 y 366, así como los artículos 134 a 138, 11 y 49 referentes al saneamiento, contaminación y salud.
Ley General Ambiental de Colombia 99	1993	Congreso de Colombia	“Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones”.
Decreto 1076	2015	Presidencia de la República	“Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible”. Políticas y regulaciones que buscan la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables y del ambiente de la Nación.
Resolución 631	2015	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	“Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones”.

Fuente: Autor (2021).

1.4.3 Estado del arte

- **A nivel internacional**

A nivel internacional, los trabajos consultados corresponden principalmente a los orígenes y funciones de la metodología de la huella hídrica, guía metodológica para la evaluación de la huella hídrica en cuencas hidrográficas y en el sector agropecuario.

Con respecto al trabajo desarrollado por Pegram et al., (2015) con el apoyo de la Autoridad Nacional del Agua del Perú, se explica principalmente la importancia del recurso hídrico en el desarrollo de los pueblos, como la explicación de lo que constituye la huella hídrica, considerando la producción y consumo nacional como el comercio internacional, se efectúa un análisis de la huella hídrica de 16 productos agropecuarios principalmente. Así mismo, el indicador permite constituir un concepto de evolución que actualmente permite analizar el uso del agua a nivel nacional, en un sector económico, en una empresa, en un producto o en una cuenca.

Teniendo en cuenta el trabajo realizado por Seguí et al., (2016), se efectúa un análisis de la utilidad y aplicación de esta metodología como planeación y evaluación de los recursos hídricos, en varias regiones del mundo. En este trabajo se realizó una revisión del rol del agua con relación a los agentes de presión y la dinámica del consumo. Se incluye la revisión en la aplicación de esta metodología en varias regiones, sus alcances y limitaciones. Enfocándose en la aplicación de esta metodología principalmente en la industria mexicana.

Por otro lado, se presenta la guía realizada para el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), desarrollado por Zárate et al., (2017), la cual busca cuantificar el consumo de agua y su composición (verde, azul y gris) para la obtención de los bienes y servicios que nos permite determinar no solo el nivel de eficiencia, sino también el impacto que se genera al medio ambiente e identificar oportunidades para mejorar. De este modo, la aplicación del cálculo de la huella hídrica permitirá la comprensión del impacto que la actividad agropecuaria y otros sectores están ejerciendo sobre el recurso hídrico, teniendo en cuenta la evaluación de la Huella Hídrica (HH) y su potencial como herramienta de trabajo hacia la sostenibilidad en el uso del agua de la región.

A partir de la información recopilada en el ámbito internacional, se determinan diferentes aplicaciones del indicador de la HH principalmente en Latinoamérica, en el que se especifican los sistemas agrícolas y su huella hídrica, el cálculo de la huella hídrica total (azul, verde y gris), el alcance y las limitaciones que esta presenta y la planeación en la gestión del recurso hídrico, con el fin de evitar su escasez y evidencien el impacto que esta genera en la población, el ambiente y en los ecosistemas.

- **A nivel nacional**

En cuanto al proyecto de tesis de Edwin Builes, (2013), busca la cuantificación de la huella hídrica azul, verde y gris de las actividades agrícolas y pecuarias en el área de la cuenca del río Porce, centro occidente de Colombia. Donde la huella hídrica agrícola total de la cuenca es de aproximadamente 250 m³/año, para el periodo de 2005-2010, 93% HH verde, 5% HH azul y 2% HH gris. También se identificaron posibles hotspots, los cuales se definen como aquellos sitios o periodos de tiempo en los cuales la huella hídrica excede la disponibilidad de agua en la cuenca. En el que finalmente se propone la huella hídrica como indicador para la toma de decisiones en la ordenación y gestión del agua por parte

de diferentes entidades competentes, y se formulan lineamientos de manejo para la gestión integral del recurso hídrico en la cuenca.

En cuanto al trabajo de Díaz et al., (2017), en el cual se busca determinar la huella hídrica en un cultivo de algodón en el municipio de Natagaima localizado en el departamento del Tolima. Se basó en la metodología cuantitativa y cualitativa, con el fin de determinar la presión ejercida sobre el recurso hídrico con dicha actividad. A partir del diagnóstico de los ciclos de consumo de agua, la simulación de un programa virtual de cálculo de la huella total y finalmente el análisis de los procesos interventores antrópicos que afectan cada tipo de huella. Dando como resultado la implementación de riego por goteo para la compensación hídrica y obteniendo una huella hídrica total de 2057.5 m³/Ton para un tiempo de cosecha de 195 días; con mayor representación de la huella verde con 1158 m³/Ton y azul con 749.5 m³/Ton y finalmente la gris con 150 m³/Ton.

Con respecto al trabajo realizado por el IDEAM y la Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo, en su proyecto, se determinan las formas de cuantificación por tipo de huellas, los conceptos y la evaluación y análisis de la huella hídrica por componente, adicionalmente se realiza la evaluación multisectorial y agrícola de esta (ENA et al., 2015).

Por otro lado, se establece el Estudio Nacional del Agua del 2014 y 2018 desarrollados por el IDEAM; los cuales permiten conocer y estudiar la riqueza en agua del país, su uso y las medidas de protección de este elemento, así como evaluar la situación actual y posibles escenarios futuros con respecto al agua en Colombia, observación, seguimiento y pronósticos sobre las condiciones ambientales (IDEAM, 2015).

Relacionando los diferentes trabajos en el ámbito nacional, se puede concluir que el cálculo de la huella total, es un indicador de importancia al momento de efectuar algún modo de cultivo o un tipo de actividad que requiera de la disposición del recurso hídrico, ya que esto, permite conocer la presión que se ejerce y que es posible reconocer la disponibilidad hídrica en tiempos de escasez. La planificación de la cantidad y calidad de agua, es de vital importancia para ofrecer agua en los diferentes puntos de una cuenca, mantener el ecosistema y la distribución de este recurso para los diferentes pobladores y actividades que se desarrollan en la misma, evitando así los conflictos ambientales y sociales generados por la limitante del recurso.

2. Capítulo 2. Metodología

Para la realización de la metodología se tienen en cuenta las diferentes aplicaciones que se muestran en los siguientes subtítulos de este capítulo, esto para dar cumplimiento a los objetivos planteados anteriormente, donde se establecen las fases del trabajo de grado, el proceso metodológico y las técnicas e instrumentos utilizados para el desarrollo de las diferentes actividades planteadas por objetivo.

2.1 Fases del trabajo de grado

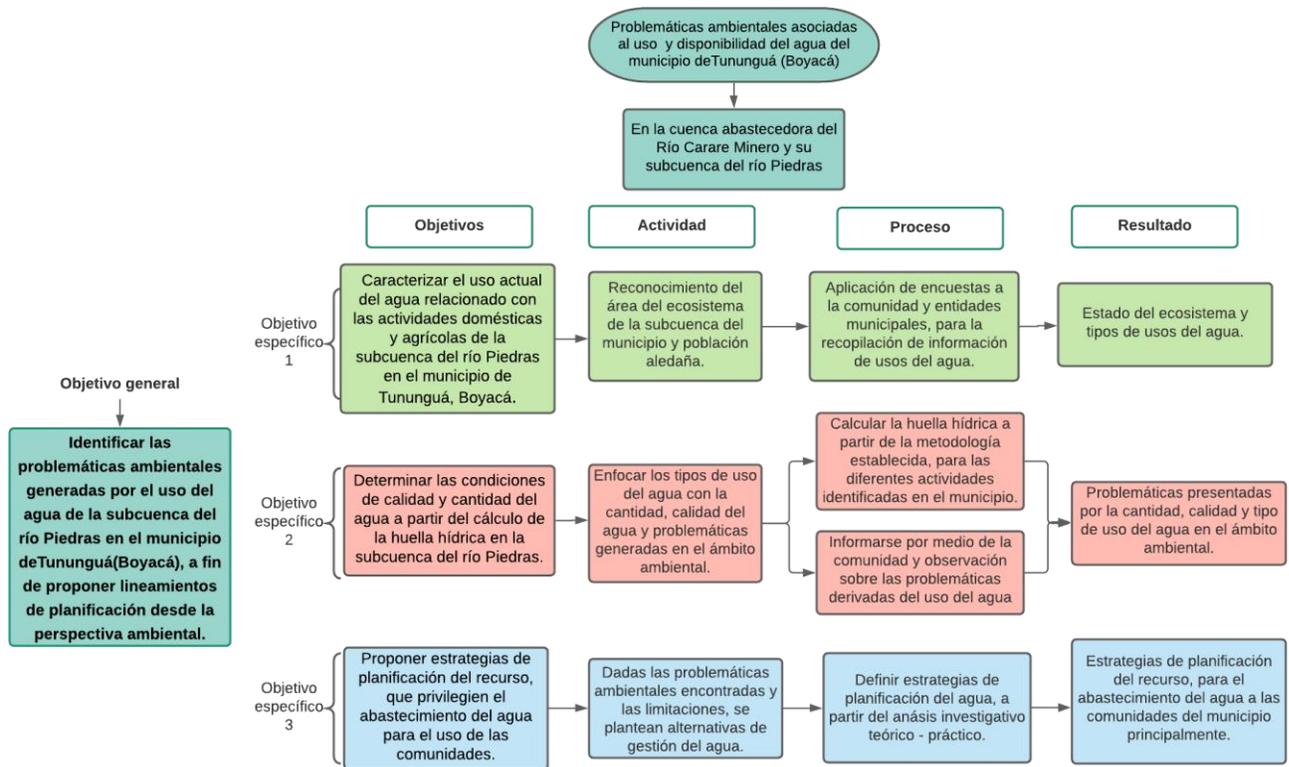
El proyecto se divide en tres fases para el cumplimiento de los objetivos establecidos, con las cuales se obtiene la información primaria y secundaria, así como la descripción de las actividades a realizar tal como se muestra en la **Ilustración 2-1**. En la fase I del proyecto, se debe elegir el área específica a estudiar en el municipio de Tununguá, donde la información a recolectar parte de la identificación de las actividades que allí se desarrollan como las domésticas y agrícolas según documentos establecidos por las Autoridades Ambientales y la Alcaldía Municipal; para verificar estos datos se ejecuta un trabajo en campo con el fin de identificar actividades adicionales y establecer información más actualizada y confiable.

En la fase II del proyecto, se establece un método para el cálculo de la huella hídrica, donde a partir de diferentes fuentes bibliográficas se selecciona el más adecuado para su explicación y aplicación, con el que se identifican las diferentes cantidades de agua utilizadas en las actividades desarrolladas y a su vez, conocer las condiciones de calidad y disponibilidad para estos procesos. Igualmente se identifican las problemáticas ambientales que se generan por el condicionamiento de la cantidad de agua ofertada, demandada y las actividades que ocasionen la pérdida de la calidad de esta para uso antrópico, pecuario, agrícola u otro.

Por último, en la fase III del proyecto teniendo en cuenta la información suministrada resultado de la información tanto primaria como secundaria, en cuanto a los usos del agua, las calidades y cantidades, así como las problemáticas resultantes de las actividades antrópicas o animales, se establecen unas estrategias de diferentes índoles, que deben permitir al municipio efectuar la planificación del agua, a fin de prevenir su limitación, contaminación y otras en las épocas de poca o mucha lluvia.

2.2 Proceso metodológico

Ilustración 2-1. Proceso metodológico del proyecto.

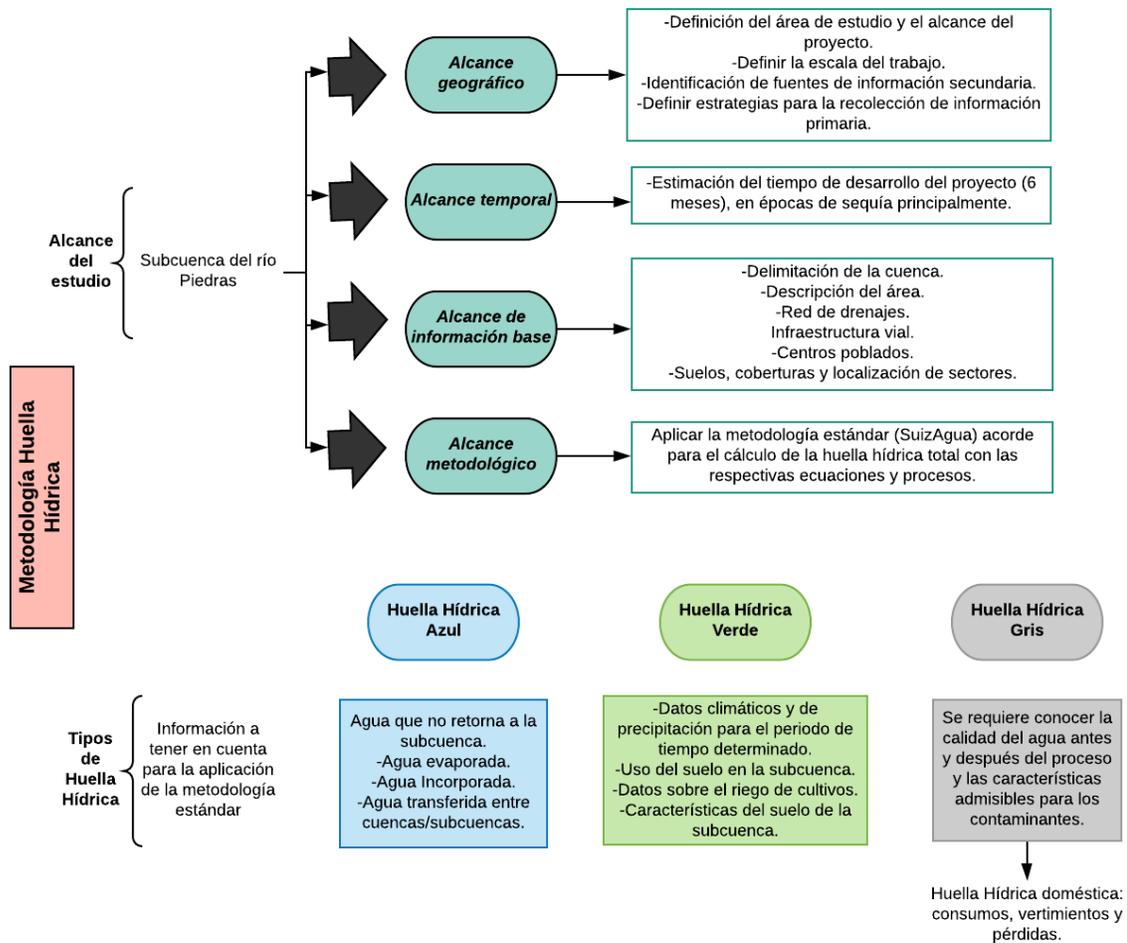


Fuente: Autor (2020).

De igual modo, con el fin de conocer la información necesaria para la aplicación del cálculo de la Huella Hídrica (HH), se toma en cuenta la guía metodológica de aplicación de huella hídrica en la cuenca Porce, como parte de la iniciativa de SuizAgua Colombia, desarrollada por (Arévalo & Campuzano, 2013). Esta guía ofrece información metodológica que debe aplicarse al sitio de estudio del proyecto, correspondiente a la subcuenca del río Piedras del municipio de Tununguá, Boyacá en el cual se indica que se debe definir como mínimo

seis aspectos como el área de estudio, alcance y escala del proyecto, identificación de información secundaria, estrategias de recolección de información primaria y su confiabilidad. Los cuales se muestran en la **Ilustración 2-2**.

Ilustración 2-2. Proceso metodológico para la huella hídrica total.



Fuente: Adaptado de la guía metodológica de aplicación de huella hídrica en cuenca, como parte de la iniciativa de SuizAgua Colombia, Arévalo, D & Campuzano, C. (2013).

A partir de la aplicación de la metodología que se presenta en la ilustración anterior, se pretende recopilar la información pertinente para dar cumplimiento al objetivo propuesto con relación al cálculo de la huella hídrica, con el fin de abordar las diferentes temáticas presentadas y obtener los resultados esperados para el proyecto.

2.3 Técnicas e instrumentos

A partir de los objetivos planteados y el procedimiento general a desarrollar para llevar a cabo el proyecto, se plantean las siguientes técnicas, procedimientos y actividades (**Tabla 2-1**) con enfoque de tipo mixto (cualitativo y cuantitativo) y un método de tipo analítico que son necesarios para dar cumplimiento a cada uno de los objetivos propuestos.

Tabla 2-1. Componentes necesarios para el cumplimiento de objetivos.

Objetivos específicos	Técnicas	Procedimientos	Actividades
Caracterizar el uso actual del agua relacionado con las actividades domésticas y agrícolas de la subcuenca del río Piedras en el municipio de Tununguá, Boyacá.	<ul style="list-style-type: none"> Observación y levantamiento de información primaria. Recopilación de datos y documentación. Análisis de datos cuantitativos y cualitativos. 	<ul style="list-style-type: none"> Fotografías. Lista de datos. Encuestas. Fuentes primarias. Documentos visuales (gráficos, cálculos, diagramas). Tabulación de encuestas. 	<p>Realizar una observación en campo del sitio de estudio (subcuenca del río Piedras).</p> <p>Aplicar 50 encuestas de percepción del uso del agua a la comunidad y entidades territoriales del municipio.</p>
Determinar las condiciones de calidad y cantidad del agua a partir del cálculo de la huella hídrica en la subcuenca del río Piedras.	<ul style="list-style-type: none"> Observación. Cálculo de la huella hídrica / trabajo en campo. Sistematización de la información. Procesamiento de datos. 	<ul style="list-style-type: none"> Fuentes secundarias y primarias. Medición de la huella hídrica a partir de la metodología base. Identificación de las problemáticas ambientales de la subcuenca. 	<p>Efectuar el cálculo de la huella hídrica estándar de acuerdo con el tipo de uso del agua en el municipio.</p> <p>Realizar un análisis de las posibles problemáticas socio ambientales que se presentan en la subcuenca del río Piedras del municipio.</p>
Proponer estrategias de planificación del recurso, que privilegien el abastecimiento del agua para el uso de las comunidades.	<ul style="list-style-type: none"> Observación. Análisis investigativo teórico práctico. Análisis de información primaria y secundaria. 	<ul style="list-style-type: none"> Fuentes secundarias y primarias. 	<p>Ofrecer alternativas estratégicas de planificación del agua, para garantizar su disponibilidad en el municipio.</p>

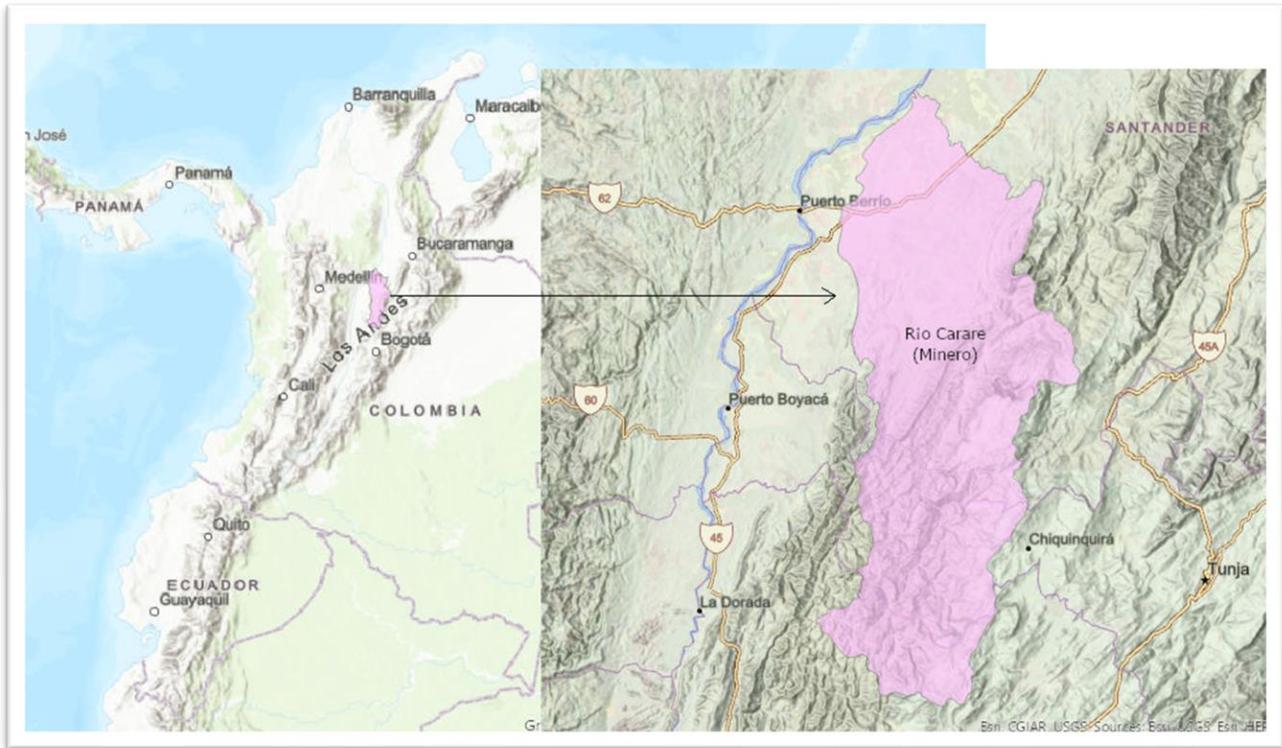
Fuente: Autor (2020).

3. Capítulo 3. Desarrollo y resultados

Para dar cumplimiento a los objetivos establecidos para el proyecto, se toman en cuenta diferentes subcapítulos, donde se desarrollan la descripción de la zona de estudio, el análisis ambiental y cálculo de la huella hídrica, identificación de problemáticas ambientales y la formulación de estrategias de planificación.

3.1 Descripción de la zona de estudio

La cuenca del río Carare Minero cubre un total de 731.059,402 hectáreas (POMCA, 2018) y distribuye sus drenajes en zonas territoriales correspondientes a municipios del departamento de Boyacá, Cundinamarca y Santander; por lo que su jurisdicción se encuentra enmarcada por la Corporación Autónoma Regional de Santander – CAS, Corpoboyacá y la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, estos municipios pertenecen a la región Centro Oriente de Colombia y hacen parte de la Provincia de occidente (Boyacá), las provincias de Ubaté y Río Negro (Cundinamarca) y las provincias de Vélez y Carare Opón (Santander) (POMCA, 2016). En la **Ilustración 3-1**, se muestra el mapa, donde se observa la ubicación territorial en Colombia:

Ilustración 3-1. Mapa de ubicación territorial de la cuenca.

Fuente: Adaptado de Piragauta, E (2020), *IDEAM & ENA*.

La gran extensión de esta cuenca permite que se presenten muchos otros drenajes constituidos en menor magnitud y con menores municipios en jurisdicción como las subcuencas, para lo cual, se toma una zona en específico correspondiente a la subcuenca del río Piedras, ubicada en la zona media de la cuenca Carare Minero; en el siguiente subcapítulo 3.1.1 Datos generales de la subcuenca se detalla más información.

Así mismo, en la **Ilustración 3-2** se muestra el mapa que presenta la división territorial de la cuenca por municipios y se encuentra señalado por una estrella color amarilla aquel de interés para el proyecto correspondiente a Tununguá, Boyacá.

humano, presentando un valor del IRCA de 10,9 en la zona urbana con un nivel de riesgo bajo y es aún mayor en la zona rural, en la que algunas veredas cuentan con sistemas de abastecimiento definidas por bocatomas y dos plantas de tratamiento poco servibles ubicadas en la vereda Santa Rosa y Vijagual, no siendo suficientes para abastecer la comunidad rural con un valor de IRCA de 71,2 con un índice de riesgo alto (Barón, 2017).

El índice de riesgo a nivel municipal - IRCA es de 48,0 con un índice alto (Barón, 2017), esto, dado los contaminantes y condiciones presentes tales como: cloro residual, hierro, coliformes totales, E.coli y dureza del agua; por lo que su consumo es el principal factor de transmisión de morbilidades en la población tales como: EDA, poli parasitismo intestinal, dermatitis, conjuntivitis (POMCA, 2017).

En cuanto al saneamiento básico, la contaminación es bastante presente en el sector urbano y rural, la principal problemática es la contaminación del agua a causa de las basuras de los servicios domésticos y excrementos de animales. Los servicios públicos de acueducto abarcan aproximadamente un 51,6% de la cobertura municipal, no siendo suficiente para el consumo de la población, dada su poco tratamiento y el alcantarillado tiene una cobertura del 19,3% disponible únicamente en la zona urbana (DNP, 2020).

3.1.1 Datos generales de la subcuenca

En cuanto a la subcuenca, en el mapa escala 1:300.000 enseñado en la **Ilustración 3-3** se observa su ubicación dentro de la cuenca del río Carare – Minero, la cual se representa por el código 2312-05 en la clasificación del POMCA; ésta comprende 11 municipios de dos de los tres departamentos, donde se encuentran en el departamento de Boyacá los municipios de Caldas, Tununguá, Briceño, San Pablo de Borbur, Pauna y una pequeña parte de Chiquinquirá y Saboyá y en el departamento de Santander, se encuentra el municipio de Albania, Florián, Jesús María y una parte de la Belleza (POMCA, 2018).

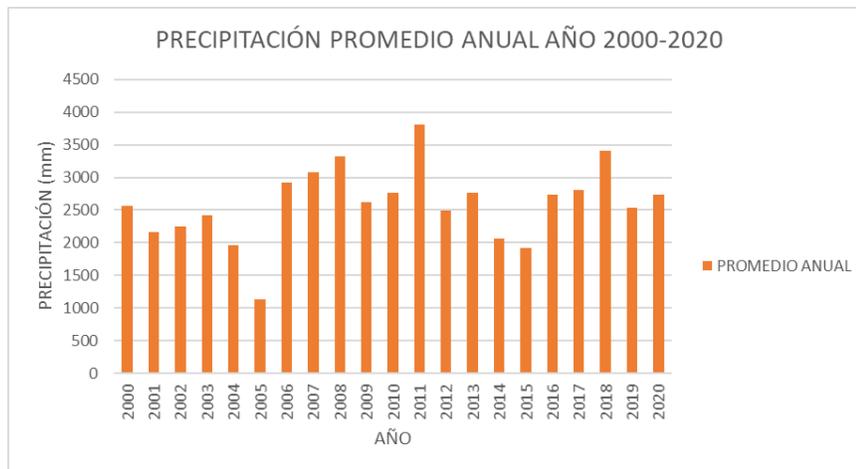
Evapotranspiración Real- ETR, entre otras. Cada una de ellas importantes para entender el desarrollo de los ecosistemas y las especies existentes en estos.

Para la zona de interés del proyecto se toma como referencia la estación meteorológica en el municipio de Albania correspondiente al departamento de Santander, municipio que limita con Tununguá para el cual se ejecutará el proyecto y corresponde a la estación que se encuentra en la zona media de la Cuenca del río Carare Minero, esta se toma como única de referencia, ya que es la que más se asemeja a las condiciones climáticas de la zona de estudio; para ello, algunos de los datos básicos que se obtienen para el ítem clima de esta estación se describen a continuación:

Precipitación:

Para el cálculo de la precipitación mensual y anual, se toman en cuenta los datos ofertados por el IDEAM (2021) para la estación de Albania, Santander, con los cuales se hace la cuantificación promedio mensual y total anual, como se aprecia en la **Ilustración 3-4** y la **Ilustración 3-5**:

Ilustración 3-4. Precipitación promedio anual para los años 2000 al 2020.



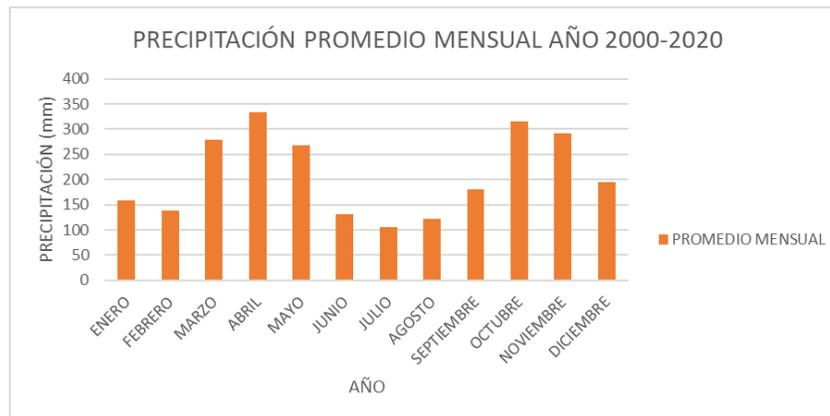
Fuente: Adaptado de estación meteorológica IDEAM Albania Santander (2021).

De acuerdo con la ilustración anterior, se ve una disminución en la precipitación en los años 2014 y 2015, con una precipitación de 2057,14 mm y 1923,57 mm respectivamente, esto dada la ocurrencia del fenómeno del niño el cual incluye una fuerte ausencia de precipitación o lluvias a nivel nacional, sin embargo, en el año con un nivel más alto de

precipitación referente al año 2011 cuenta con un valor de 3809,76 mm, influenciado netamente por el fenómeno de la niña, con fuerte presencia de lluvias.

Aunque el año 2005 muestra un valor más bajo que todos los demás no es un valor de referencia, dado que para la ponderación de la información únicamente se obtuvo 5 de los 12 datos necesarios para ello, igualmente sucede con los años 2001, 2002, 2004, donde faltan alrededor de 1, 3 y 2 datos respectivamente.

Ilustración 3-5. Precipitación promedio mensual para los años 2000 al 2020.



Fuente: Adaptado de estación meteorológica IDEAM Albania Santander (2021).

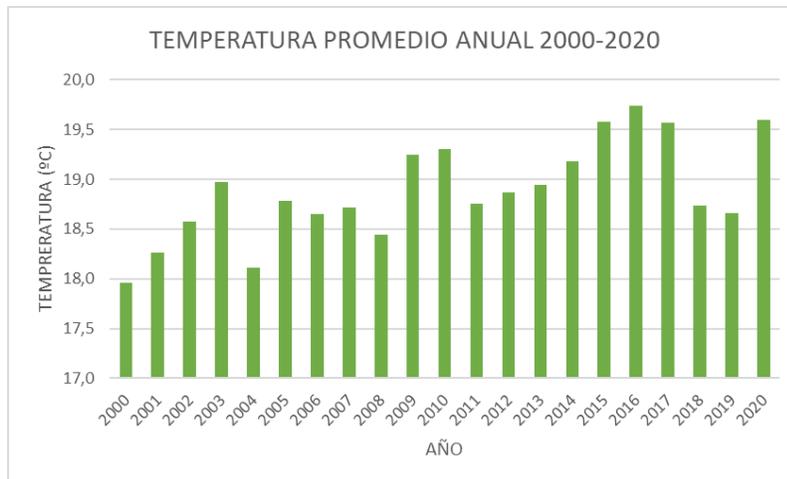
Dado que Colombia no tiene estaciones, cuenta únicamente con dos condiciones climáticas (temporadas secas y temporadas de lluvia) de esta forma, de acuerdo con la ilustración los meses con mayor presencia de precipitación o periodo lluvioso son principalmente marzo, abril, mayo, octubre y noviembre, así como los meses de temporadas secas o menor precipitación corresponden a enero, febrero, junio, julio, agosto, parte de septiembre y diciembre.

Lo anterior, varía de acuerdo a la ubicación territorial según lo indica Molano, J & Batista, J (1967): donde mencionan que las tierras altas de las Cordilleras, como el Valle del Cauca y en los valles altos del Magdalena tienen esta relación aproximada de las temporadas secas y de lluvia lo cual se valida con la ubicación de la estación correspondiente a la ilustración.

Temperatura:

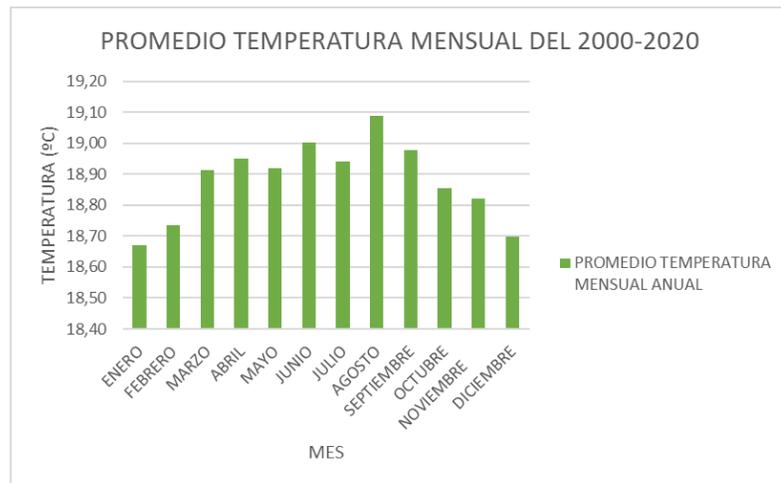
En cuanto al valor de la temperatura de la estación Albania, se establece la siguiente información para los años del 2000 al 2020, representadas en la **Ilustración 3-6** y la **Ilustración 3-7**.

Ilustración 3-6. Temperatura promedio anual para los años 2000 al 2020.



Fuente: Adaptado de estación meteorológica IDEAM Albania Santander (2021).

Teniendo en cuenta la ilustración anterior, la temperatura tiene una variación significativa, donde al pasar los años se puede ver una tendencia al crecimiento, por varias razones unas de ellas son el desarrollo desmedido de las actividades humanas, el incremento de la temperatura de la Tierra, cambios en la cobertura boscosa por cultivos permanentes, entre otras situaciones; esta variación se encuentra en su mayoría entre valores de 18°C a 19,5°C aproximadamente, con un cambio de 1°C o menos anual, siendo el año 2016 con 19,7°C el de mayor temperatura registrado en la estación de Albania, el cual corresponde al año más caluroso a nivel nacional.

Ilustración 3-7. Temperatura promedio mensual para los años 2000 al 2020

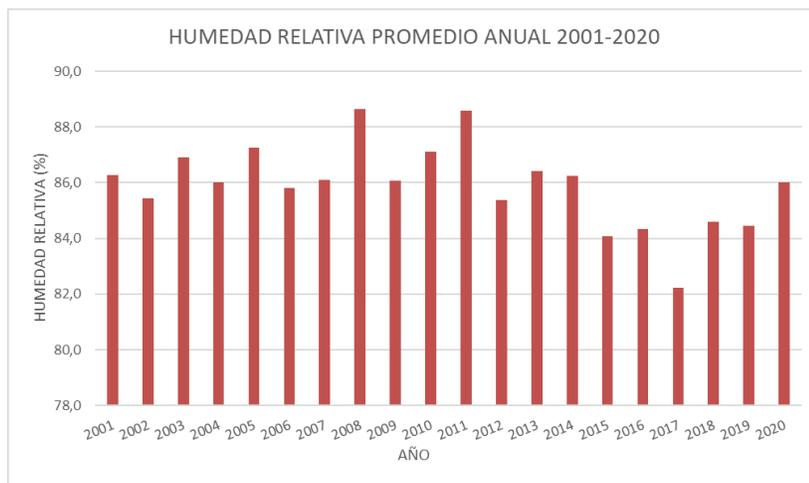
Fuente: Adaptado de estación meteorológica IDEAM Albania Santander (2021).

La temperatura promedio mensual para los años 2000 al 2020, establece valores por encima de los 18,6°C a una temperatura máxima de 19,09°C para el mes de agosto, puesto que es uno de los meses donde el sol permanece con mayor tiempo de exposición en la Tierra, así mismo, los demás meses indican que la temperatura de la zona de estudio presenta temperaturas altas principalmente.

Humedad relativa:

La Humedad Relativa-HR es el contenido de vapor de agua en el aire expresado como un porcentaje (%), es fuertemente proporcional a la temperatura y es perceptible a sus cambios, si esta es estable también lo será la humedad, sin embargo, a medida que aumenta la temperatura la humedad relativa disminuye y al disminuir la temperatura, el aire se vuelve más húmedo, aumentando la humedad relativa, así como tiene dependencia de la presión de este mismo sistema (Secoin, 2019), tal como se muestra en la **Ilustración 3-8** y la **Ilustración 3-9**.

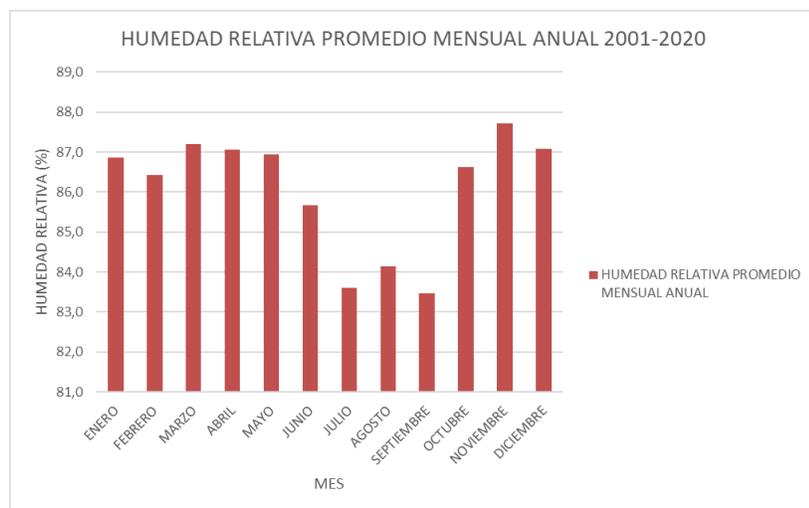
Ilustración 3-8. Humedad relativa promedio anual para los años 2001 al 2020.



Fuente: Adaptado de estación meteorológica IDEAM Albania Santander (2021).

En la ilustración anterior, la humedad relativa tiene una variación por encima de 84% del valor con un máximo de 88,6% para los años 2008 y 2011, así mismo, los valores más bajos corresponden al periodo de los años 2015 al 2017 con valores de 84,7% y 82,2% respectivamente, en cuanto al valor del año 2017 presenta los valores más bajos en % de humedad, dado que el promedio se hizo con los valores correspondientes anuales que se encuentran por debajo de 84%.

Ilustración 3-9. Humedad relativa promedio mensual para los años 2001 al 2020.

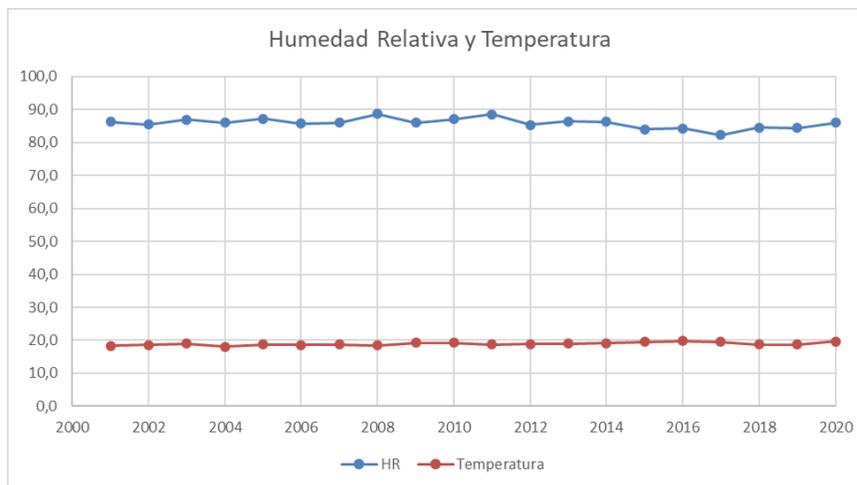


Fuente: Adaptado de estación meteorológica IDEAM Albania Santander (2021).

En cuanto al valor promedio mensual para los años en mención, es importante tener en cuenta que los meses con un valor menor de 86% de humedad relativa son los meses de junio, julio, agosto y septiembre, debido a que los meses con mayores temperaturas corresponden igualmente a estos meses en específico. Adicional se observa una tendencia de aproximadamente 87% de humedad relativa para los otros meses, demostrando que los meses anualmente presentan unas condiciones similares, a causa de diferentes factores.

Así mismo, en la **Ilustración 3-10** se hace una comparación de la temperatura y la humedad relativa para los años del 2001 al 2020, con el fin de demostrar la relación que estos dos parámetros meteorológicos presentan, a continuación, se muestra un gráfico con su variación aproximada.

Ilustración 3-10. Humedad Relativa y Temperatura Anual para los años 2001 al 2020.



Fuente: Autor (2021).

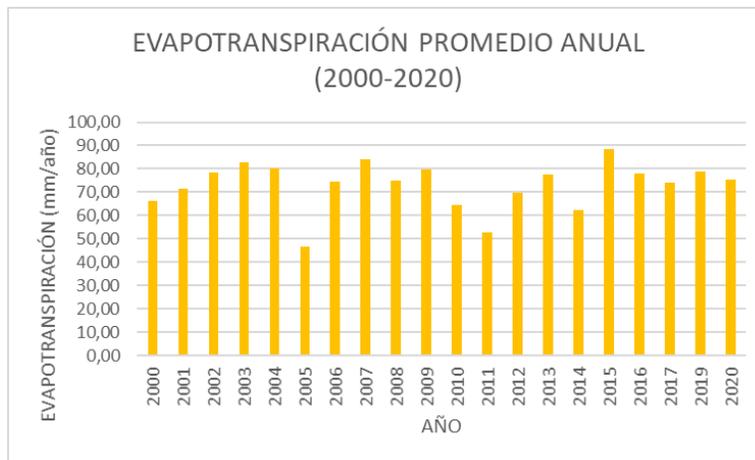
A partir de la ilustración, es posible determinar que la temperatura y la humedad relativa tienen una relación directamente proporcional, demostrando que al mantener una temperatura estándar, la humedad permanece de la misma manera, sin embargo, como se vio anteriormente, la humedad relativa no presenta características muy variables si la temperatura aumenta o disminuye, en contraposición a la regla de que a medida que aumenta la temperatura disminuye la humedad relativa, es poco evidente en esta investigación, dado que el parámetro no presenta grandes cambios en sus valores para afirmar y demostrar dicha regla.

Evapotranspiración Real:

La evapotranspiración es el proceso combinado de evaporación desde superficies líquidas y de transpiración o vaporización del agua líquida de los tejidos de las plantas. Estas actividades naturales pueden variar según la radiación, la temperatura, la humedad atmosférica y la velocidad del viento (Geo portal, 2010).

De este modo, la existen dos tipos de esta, la primera, la evapotranspiración potencial (ETP) se define como tasa máxima a la que se podría evapotranspirar el agua desde la cubierta vegetal, superficies libres de agua, suelo y vegetación en unas condiciones óptimas de suministro, con el suelo y vegetación existente. La ETP se diferencia de la evapotranspiración real (ETR) en que en esta última se tienen en cuenta las disponibilidades de agua (Geo portal, 2010).

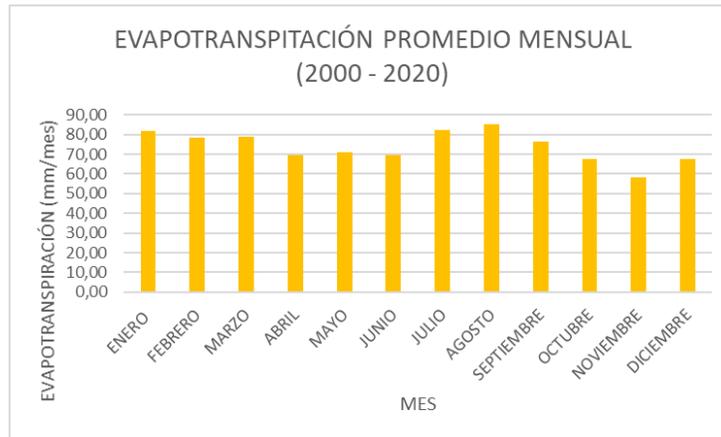
Ilustración 3-11. Evapotranspiración promedio anual para los años 2000 al 2020.



Fuente: Autor (2021).

Teniendo en cuenta la información recopilada para los años 2000 al 2020 **Ilustración 3-11**, se considera que aquellos años en que se genera menor evapotranspiración o pérdida de humedad, corresponden a los años 2005 y 2011, esto principalmente por falta de recuperación de datos para el año, donde se determinan valores faltantes para su ponderación, así mismo, los años con valores más altos corresponden al 2015 y 2007, siendo estos los años con mayor nivel de pérdida de humedad del suelo.

Ilustración 3-12. Evapotranspiración promedio mensual para los años 2000 al 2020.



Fuente: Autor (2021).

Por otro lado, los meses con mayores niveles de evapotranspiración **Ilustración 3-12**, corresponden a los meses de agosto y julio con valores de 85,49 y 82,26 mm/mes por ser aquellos meses con mayores grados de temperatura, lo cual ocasiona que la evaporación del agua en el suelo y vegetación sea más alta que los otros meses, en cuanto a los otros meses, los datos de este ítem se mantienen en valores constantes, exceptuando el mes de noviembre, por tener los valores de evapotranspiración más bajos.

Balance hídrico:

Finalmente, para conocer el equilibrio de los recursos hídricos que entran y salen de la subcuenca en un tiempo determinado, se aplica la siguiente ecuación del modelo de Thornthwaite, el cual requiere datos de temperatura que se detallan en el Anexo: Datos básicos para el cálculo de las huellas, para el cálculo de la Evapotranspiración Potencial Mensual.

$$ETPmen = 16f((10 * T)/I)^\alpha$$

$$\alpha = 0,000000675 * I^3 - 0,0000771 * I^2 + 0,0179 * I + 0,49239$$

$$I = \sum i \text{ (sumatoria de los índices calóricos mensuales)}$$

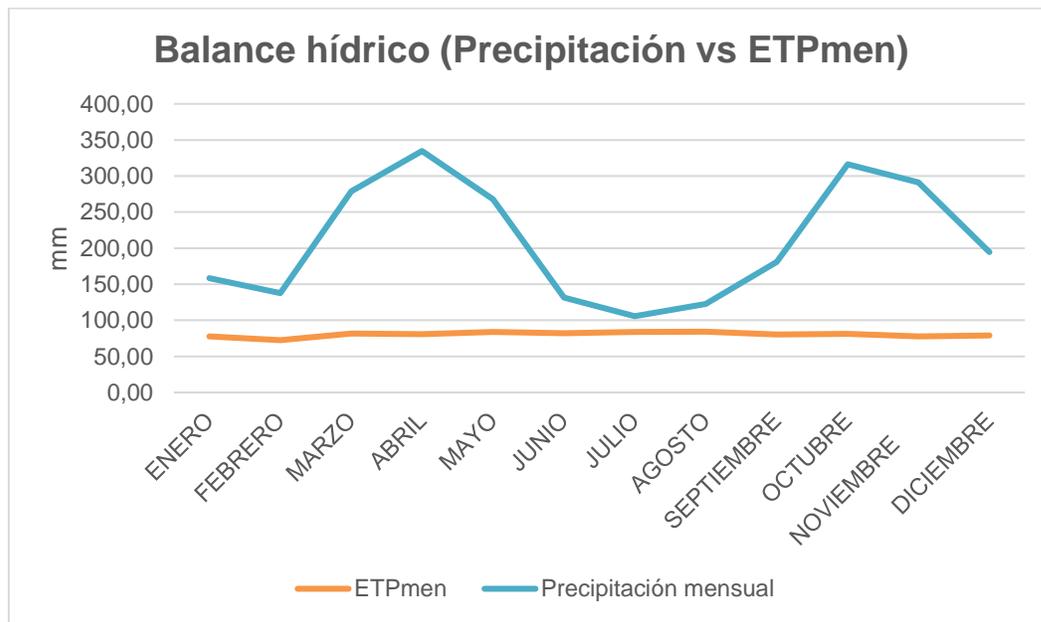
$$i = (T/5)^{1,514} \text{ (índice calórico de cada mes)}$$

T: temperatura media mensual multianual del mes.

f = factor de corrección, por duración media de horas de sol expresada en 30 días, con 12 horas de sol cada una.

Relacionando el resultado de los datos aplicados por la ecuación referenciados en el anexo mencionado anteriormente, se tiene la **Ilustración 3-13** que muestra el debido balance hídrico resultante del cálculo del método de Thornthwaite.

Ilustración 3-13. Balance hídrico.



Fuente: Autor (2022).

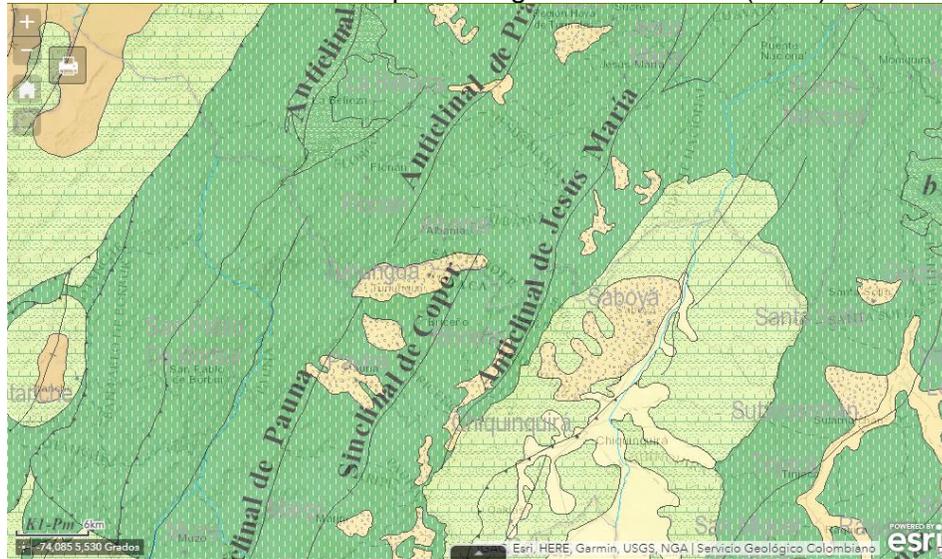
Es así, que este método permite deducir que el balance hídrico de la subcuenca es un tipo de balance positivo, ya que la precipitación tiene índices más altos que la misma evapotranspiración, lo cual hace referencia a la pérdida de agua, indicando el equilibrio entre el ingreso del agua a la subcuenca y las salidas.

Geología

De acuerdo con la **Ilustración 3-14** del mapa geológico de Colombia para el año 2007 del Servicio Geológico Colombiano, escala 1:100.000 para la geología presente en los municipios que se encuentran dentro de los límites de la subcuenca del río de estudio, los cuales corresponden a: Caldas, Tununguá, Briceño, San Pablo de Borbur, Pauna y una pequeña parte de Chiquinquirá y Saboyá (Boyacá) y Albania, Florián, Jesús María y una parte de la Belleza (Santander).

En otro sentido, entra las unidades cronoestratigráficas se presentan Cuarzoarenitas de grano fino a conglomeráticas con intercalaciones de lodolitas y conglomerados, Abanicos aluviales y depósitos coluviales; Shales, calizas, fosforitas, cherts y cuarzoarenitas. Arcillas, turbas, arcillas arenosas con niveles delgados de gravas. Localmente capas de diatomitas. Shales con yeso, cherts, calizas y arenita. (Servicio Geológico Colombiano, 2007)

Ilustración 3-14. Mapa Geológico de Colombia (2007).



Fuente: Servicio Geológico Colombiano (2007).

Por otro lado, en la **Tabla 3-1** los pliegues que forman la estructura geológica del suelo y que se pueden encontrar dentro de la zona del municipio y la subcuenca son los siguientes:

Tabla 3-1. Tipos de pliegues por municipio.

Nombre del pliegue	Tipo de pliegue	Municipio receptor
Anticlinal de Portones	Anticlinal con cabeceo	La Belleza y Florián
Sinclinal de Chiquinquirá-San José de Pare	Sinclinal	Saboyá
Anticlinal de Jesús María	Anticlinal	Briceño, Pauna, Chiquinquirá, Saboyá, Jesús María
Anticlinal de Pradera	Anticlinal	Jesús María, Florián
Sinclinal de Coper	Sinclinal	Briceño, Pauna, Albania
Anticlinal de Pauna	Anticlinal	Pauna y parte de Tununguá

Fuente: Servicio Geológico Colombiano (2007).

En cuanto a las fallas presentes dentro del territorio abarcado por la subcuenca, se encuentran tipos de fallas como la de rumbo dextral que va de San Pablo de Borbur a La Belleza, la Falla de Tambrías que se sitúa en San Pablo de Borbur y su tipo corresponde a inversa o de cabalgamiento, entre otras las cuales no tienen un tipo específico que se sitúan aproximadamente en los límites de Jesús María.

Hidrogeología

De acuerdo con el POMCA, (2018): La cuenca del río Carare Minero, se encuentra localizada en el flanco occidental de la Cordillera Oriental haciendo parte de la hoya hidrográfica del río Magdalena, atravesando los departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Santander. Así mismo, el río Minero tiene confluencia con los ríos Negro y Guaquimay, en Boyacá, además recibe los ríos Guazo, Cobre y Mártires, en Santander.

Posteriormente el río Minero cambia su nombre en un punto de la cuenca donde recibe el nombre de río Carare, rodeado por la Serranía Las Quinchas y la vertiente occidental de la Cordillera Oriental, adicionalmente tiene aportes de los ríos Horta y Joroba, la quebrada Corcovada y el río San Juan hasta su desembocadura al río Magdalena.

Así mismo, la cuenca se halla en el Sistema Acuífero Valle Medio del Magdalena, en donde se encuentran acuíferos libres y semiconfinados; en sus unidades hidrogeológicas por mencionar algunas están el Acuífero Terrazas del río Magdalena, Acuífero depósito aluvial del Río Magdalena, Acuífero Mesa, entre otros, cada uno de ellos constituyen características propias de su hidrogeología, adicional a pertenecer al Valle Medio del Magdalena, compila también el sistema acuífero Sabana Bogotá y el sistema acuífero Ubaté – Chiquinquirá (POMCA, 2018).

El mapa de Sistemas en la cuenca del Río Carare Minero del POMCA (2018) permite conocer los acuíferos pertenecientes en la zona del municipio, los cuales se dividen en:

Sedimentos y Rocas con Flujo Esencialmente Intergranular los cuales se encuentran conformados por sedimentos cuaternarios y rocas sedimentarias poco consolidadas, representando Acuíferos libres y confinados con agua de regular calidad química. Igualmente se encuentran las *Rocas con Flujo Esencialmente a Trávez de Fracturas (Rocas Fracturadas y/o Carstificadas)*, caracterizados con baja productividad, conformados por rocas sedimentarias y volcánicas, determinados por Acuíferos confinados con agua de buena calidad química.

Sedimentos y Rocas con Limitados o Ningún Recurso de Aguas Subterráneas, constituidos por depósitos lacustres, marinos y rocas sedimentarias poco consolidadas de origen continental y marino, con las que se almacena agua de regular a mala calidad química. Y por último en menor medida los Acuíferos continuos de extensión regional de mediana productividad, conformados por rocas sedimentarias poco consolidadas, presentando confinamiento de agua con buena calidad química.

Hidrografía

De acuerdo con el POMCA (2018): El río Carare nace como río Minero en el departamento de Cundinamarca, en el páramo El Ratón a una altura de 3600 msnm, posteriormente atraviesa los departamentos de Santander y Boyacá donde su desembocadura se realiza en el río Magdalena a unos 88 msnm. Su longitud es aproximadamente de unos 172 km con una cuenca de 7340,1 km². En el departamento de Santander el nombre del río Minero cambia al de Carare cuenta con un área en su cuenca de 4.550 km² de las cuales 52.08 km² corresponden a la subcuenca del río Piedras (Corporación Autónoma Regional, 2019) y finalmente tiene su desembocadura en el Magdalena, en el municipio de Puerto Parra.

Adicionalmente la Cuenca del río Carare Minero presenta límites por el norte con el Río Magdalena en su desembocadura, al sur con los municipios de Peñón y Tausa, al oriente con Barbosa, Puente Nacional, Saboyá y Chiquinquirá, finalmente al occidente con Puerto Boyacá y la Palma Cundinamarca. Por otro lado, la subcuenca abastecedora del Río Carare Minero correspondiente al Río Piedras se establece entre las cotas 3350 msnm y los 425 msnm, además cuenta con un área dentro de la cuenca de unos 410,6 km² representando un porcentaje de cobertura de 5,60% (POMCA, 2018).

Hidrología

La cuenca del Río Carare cuenta con cinco estaciones de medición de caudales distribuidas a lo largo de la cuenca, en sus sistemas lenticos se encuentran ciénagas (25,24 km²) y lagunas (4,44 km²), las cuales representan un total de 29,68 km² representando el 0,4% del total del área de la cuenca. La función de las ciénagas se basa en regular el cauce hidrológico del río en épocas de mayores lluvias, mientras en épocas de poca lluvia, liberan agua a los ríos, es por esto que es crucial la conservación de estos ecosistemas; ya que la mayoría se han visto intervenidos por la sedimentación y la deforestación (POMCA, 2018).

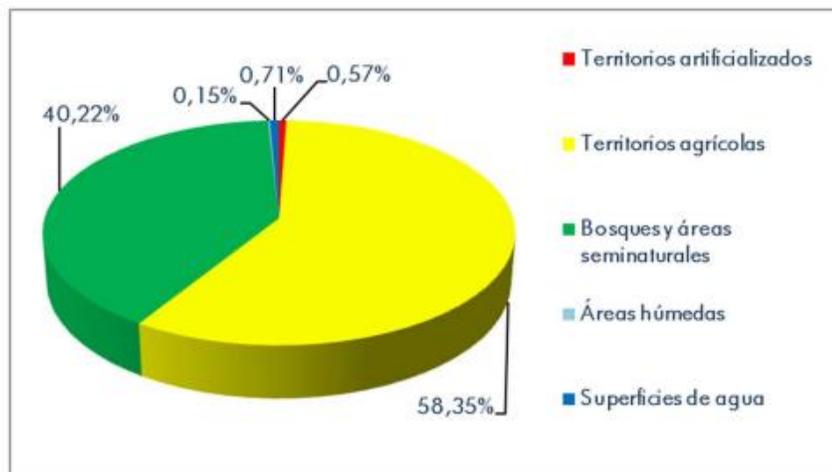
En cuanto a los valores del caudal medio de la subcuenca del río Piedras se encuentra un total de 76,1 – 155,2 m³/s, con un caudal máximo de 236,5 – 440,2 m³/s y un caudal mínimo de 180,4 – 216,6 m³/s. Por otro lado, la oferta hídrica de la subcuenca presenta un valor de caudal de 91,8 – 143,6 m³/s (POMCA, 2018).

Relacionando la demanda hídrica que se presenta en la subcuenca y el uso del agua para diferentes actividades como la doméstica se tiene un valor entre 1,0 – 3,0 L/s, uso agrícola de 0,0 – 0,025 L/s, uso pecuario de 15,0 – 38,52 L/s y por último el uso industrial 4,0 – 5,58 L/s, con un total de demanda hídrica (DH) para la cuenca de 18 – 46,08 L/s, representando un índice de uso del agua categorizado en muy alto y un índice de regulación y retención hídrica categorizado en muy baja, lo cual indica que para tener una idea de la baja oferta hídrica (POMCA, 2018).

Cobertura y usos de la tierra

La distribución de la cobertura de las tierras de la cuenca se divide en 29 tipos de las cuales se agrupan principalmente en 5 niveles (**Ilustración 3-15**), los cuales corresponden a: territorios agrícolas, con un mayor valor en área de 58,35% posterior, los bosques y áreas seminaturales con un 40,22% del total de la cuenca, las superficies de agua las cuales representan un 0,71%, los territorios artificializados 0,57% y, por último, las áreas humedad 0,15% del total de la cuenca (POMCA, 2018).

Ilustración 3-15. Cobertura de suelos en la cuenca Carare Minero.



Fuente: POMCA (2018).

De acuerdo con la información suministrada por el POMCA (2018): Dentro de la clasificación de las coberturas de la cuenca, en cuanto a los territorios artificializados, se encuentran las áreas transformadas por el hombre, como las áreas urbanas, infraestructura vial, zonas de extracción minera o materiales, áreas verdes artificiales y las zonas de desarrollo de actividades comerciales, para el municipio el área que corresponde a estos territorios es de 48 Ha representado por un 1,12%.

Otro tipo de cobertura agrícola son los pastos enmalezados, arbolados o limpios, para estos tipos de territorios el municipio cuenta con un área de 2.659 Ha con un 62,20% de la cobertura. Entre la cobertura de bosques y áreas seminaturales se encuentra un grupo de plantas de tipo boscoso, arbustivo y herbáceo, en esta categoría se presentan los bosques naturales y plantaciones forestales, en cuanto al municipio el área de cobertura para este tipo corresponde a 1.568 Ha con un porcentaje de 36,67%.

En otro sentido se encuentran las áreas húmedas y superficies de agua, está comprendida por terrenos que pueden ser inundados y cubiertos con vegetación acuática, como pantanos, ríos, lagunas y ciénagas naturales, para estos dos tipos de cobertura el municipio no tiene ningún porcentaje, dado que no se cuenta con registros dentro del área de jurisdicción.

En cuanto a la ubicación del municipio dentro de los diversos tipos de ecosistemas, se establece que pertenece a la categoría de Bosque muy húmedo premontano *bmh.PM*, el cual cuenta con alturas templadas entre los 850 a 2.000 msnm, con aproximaciones de precipitaciones medias de 2000 – 2500 mm y temperaturas entre los 17 a 24°C, ocupando el 5,81% del territorio del departamento de Boyacá; el municipio de interés Tununguá cuenta con una precipitación aproximada de 2300 msnm y una temperatura de 21°C, lo cual lo hace completamente perteneciente a este ecosistema. (Corpoboyacá, 2015)

Dentro de las actividades económicas que se desarrollan en el municipio tienen como base el sector agropecuario y en especial el área agrícola; aproximadamente el 85% de la población se dedica a la agricultura (cultivos silvestres y tecnificados) y el restante a la producción pecuaria, como el ganado bovino y porcino (POMCA, 2017). Por otro lado, el municipio cuenta con una capa vegetal dedicada en un 50% a la producción de pastos naturales y el 5% son maleza, esto refleja la gran dependencia y orientación de las actividades de la población hacia la agricultura. (Plan de Desarrollo Municipal, 2020)

De acuerdo con la información disponible en el Sistema de Consulta de Indicadores del Tercer Censo Nacional Agropecuario, realizado por el DANE (2020), se tiene la siguiente información referente a la extensión territorial de cada uno de los sectores productivos y naturales definidos anteriormente:

Del total del área territorial del municipio de Tununguá que se encuentra censada por el DANE, de las 5.400 Ha (DNP, 2014) en sus divisiones por usos del suelo, se establecen en primer lugar, 2.186 Ha utilizadas para área agropecuaria, 481 Ha en áreas de bosques naturales, 42 Ha corresponden a áreas no agropecuarias, 6 Ha corresponden a otros usos y coberturas, por otro lado, 473 Ha son áreas de pastos y 1.087 Ha corresponden a área de rastrojo. En cuanto a la producción pecuaria con el número de cabezas de ganado a nivel departamental se encuentran 750.187 de las cuales 783 están en el municipio.

Con el fin de efectuar el cálculo de los diferentes tipos de huella hídrica, se tiene la siguiente información que será utilizada para ejecutar dichos cálculos, tomando los cultivos más representativos y de mayor extensión, con los datos que se establecen en la **Tabla 3-2**. Consumo de agua por tipo de cultivo.

Tabla 3-2. Consumo de agua por tipo de cultivo.

Nº	Tipo de cultivo	Extensión (Ha)	Consumo de agua (Estudios) m ³ /Ha.mes	Consumo de agua (Campo) m ³ /Ha.mes	Total de consumo Estudios*Ha (m ³ /Ha.mes)	Total de consumo en Campo*Ha (m ³ /Ha.mes)
1	Guayaba	394	36,6 (Infoagro, 2020)	1,2	14420,6	472,8
2	Guanábana	269	20,4 (Agrosavia, 2019)	1,4	5487,6	403,5
3	Aguacate	144	91,33 (IDEAM, 2018)	1,5	13151,5	201,6
4	Cítricos	145	120,22 (IDEAM, 2018)	1,3	17311,7	188,5
5	Cacao	7	92,74 (IDEAM, 2018)	1	649,18	7
6	Pastos	473	7,40 (IDEAM, 2018)	1,1	3500,2	520,3
Total		1432	-	-	54520,8	1793,7

Fuente: Agronet (2020).

A partir del cuadro anterior, podemos inferir que el consumo de agua en campo por cultivo no tiene un valor significativo ante el de estudios, representando únicamente el 3,29% del valor con respecto al otro, es decir, que el consumo de estudios no representa un valor real de lo que se utiliza verdaderamente en las diferentes zonas del país, donde puede tener gran variabilidad principalmente por la proporción de aguas lluvias y el bajo riego que se realiza. Teniendo en cuenta esta información comparativa entre bases de estudios y en campo del municipio, se procede a efectuar el cálculo en el ítem de 3.2.4 Resultados del cálculo, donde se determinará la huella hídrica verde para los diferentes cultivos.

- **Caracterización de las condiciones sociales y económicas**

Con el fin de dar una información base de las condiciones a nivel social, económico y cultural, se presenta la siguiente información, en la cual se indaga sobre la dinámica poblacional del municipio, la dinámica de apropiación y ocupación del territorio, los aspectos y recursos económicos e información sectorial.

Dinámica poblacional

La dinámica poblacional permite conocer los cambios en la población que se han presentado en un territorio en específico, esta variable es de importancia, ya que la cantidad de personas en determinado lugar pueden ejercer menor o mayor presión en el ambiente como en las fuentes hídricas, es por ello que entre más alto, mayores consecuencias a nivel de contaminación, degradación y alteración serán efectuadas; en este contexto la planeación en el desarrollo del territorio debe realizarse teniendo en cuenta el crecimiento, la estructura, la ubicación, entre otras variables de la población con el fin de evitar inconvenientes en sus interacciones con el medio.

A continuación, se hizo una revisión de la dinámica poblacional desde el año 1993 al 2020, con el fin de conocer la tasa de crecimiento, los nacimientos, las migraciones, entre otras.

Tabla 3-3. Dinámica poblacional en el municipio desde 1993 al 2021.

Año	1993	2005	2016	2020
Población	1223	1620	1469	1576

Fuente: Autor (2021).

Haciendo una comparación de la población de los años 1993, 2005, 2016 y 2020, se tiene un crecimiento poblacional de 32,5% de 1993 a 2005 (Forero, 2012) siendo este último el dato con mayor población en el municipio, para el 2016 se divide en un 12,7% perteneciente a la zona urbana y de 87,3% a la zona rural (Concejo Municipal de Tununguá, 2016), con un porcentaje de decrecimiento del 9,32% en comparación con el 2005 y por último, se tiene un porcentaje de crecimiento poblacional del 7,3% de 2016 al 2020 y de 28,9% de 1993 a 2020.

Dinámica de apropiación y ocupación del territorio

Este factor muestra los diferentes tipos de construcciones del territorio municipal utilizadas para diferentes actividades, en primer lugar, la infraestructura establecida para recreación no es suficiente, ya que las canchas de la zona urbana y rural no cuentan con techo para evadir los rayos del sol, donde los niños en su mayoría soportan altos grados en horas de la mañana y tarde (Plan de Desarrollo Municipal, 2020).

En cuanto a vivienda, cuenta con un total de 623 viviendas y 526 hogares (Plan de Desarrollo Municipal, 2020), presentando un déficit en la calidad de vida y la cantidad de casas disponibles para la población, debido a las condiciones de la vivienda, ya que la mayoría de estas se encuentran hechas de madera y sin suelos planos o embaldosinados, principalmente en las zonas rurales, donde la calidad de vida es baja.

Por otro lado, se encuentra IPS “ESE Centro de Salud Santa Barbara”, la cual presta servicios tales como la consulta de medicina general, enfermería, consulta prioritaria y de traslado, entre otras, en cuanto al régimen de salud se establecen dos EMDISALUD y COMFABOY para estratos I y II del SISBEN (Plan de Desarrollo Municipal, 2020).

En educación, el municipio cuenta con la sede principal de básica secundaria y media vocacional que es la Institución Educativa Luis Guillermo Rojas Barrera, además de esta, cada una de las veredas abarca diferentes sedes de básica primaria, una presente en la zona urbana la “Concentración Urbana” y seis de ellas pertenecientes a la zona rural. En la cobertura de educación se tiene un total de 296 estudiantes matriculados en las diferentes sedes, con una acogida del 100% de los estudiantes del municipio (Plan de Desarrollo Municipal, 2020).

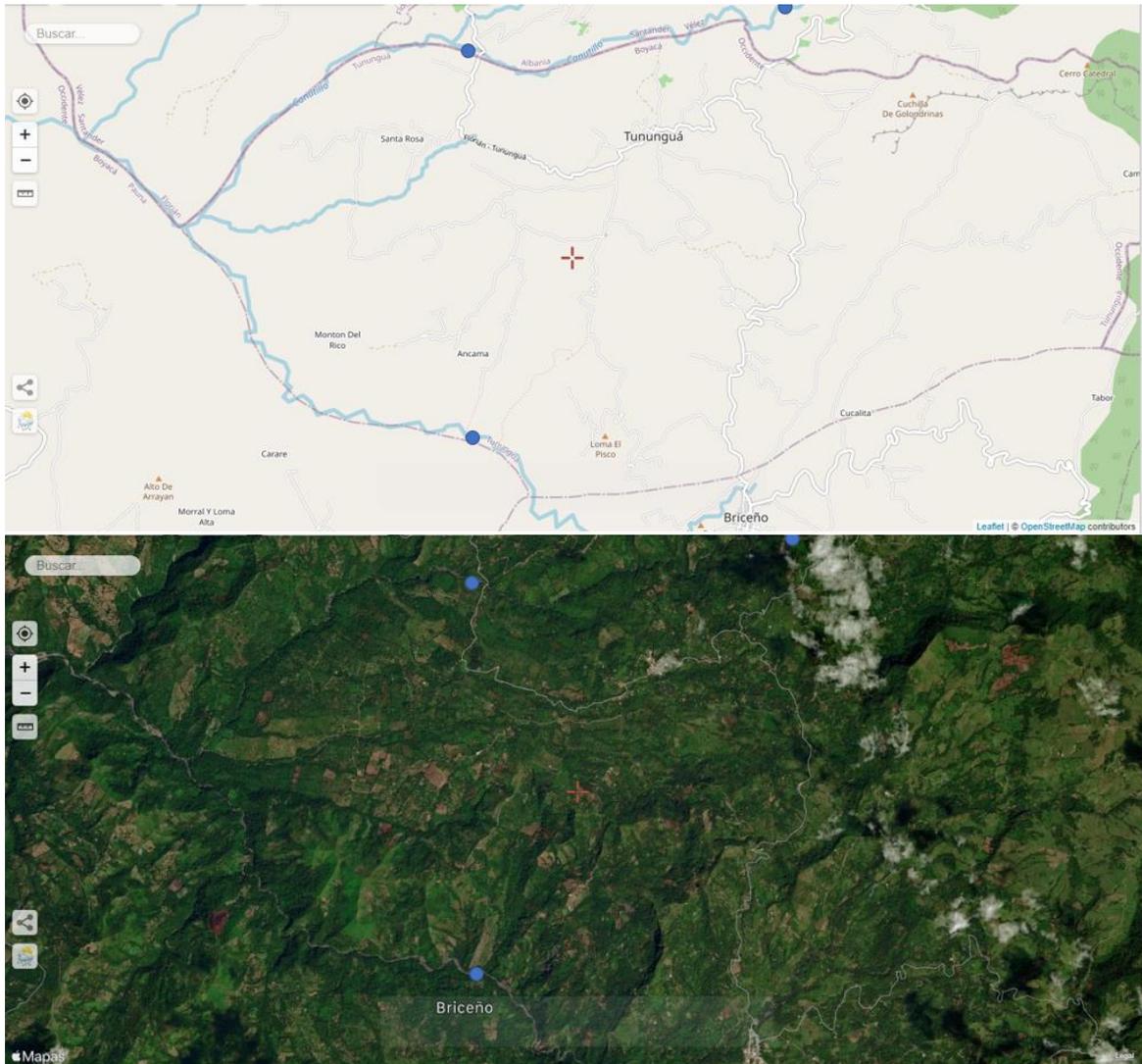
Aspectos y recursos económicos

Entre las dinámicas económicas del municipio, se tienen en cuenta aquellas que se derivan de la producción por uso de la tierra, ya que es considerada la fuente principal de desarrollo económico del municipio, adicional a la producción pecuaria para uso local. Para la ejecución de estos proyectos productivos de los cultivadores del sector, se tiene en cuenta la participación de la alcaldía en el apoyo de asistencia técnica de los cultivos, reciclaje de empaques (plaguicidas, pesticidas, funguicidas, desechos de la producción), entre otros.

Lo anterior con el fin de tener un producto de calidad que apoye el sector económico del municipio y aporte al desarrollo de las familias. Adicionalmente, se busca fortalecer el sector turístico con los diferentes atractivos naturales que brinda el municipio, entre los que se encuentran los paisajes, la diversidad de especies de flora y fauna, las fuentes de agua naturales y las actividades agropecuarias (Plan de Desarrollo Municipal, 2020).

3.1.2 Estado del ecosistema

Para conocer el estado del ecosistema de la subcuenca del río Piedras en la zona del municipio de Tununguá, se realizan visitas en 3 (tres) tramos del río donde se evidencian los cambios en la cobertura del suelo y la calidad del agua por actividades realizadas en las rondas del río, y la dinámica de población acuática y terrestre en el mismo sistema. En primer lugar, se ubican los puntos en los que se hicieron las visitas de identificación del ecosistema, los cuales se muestran en el mapa escala 1:100.000 de la **Imagen 3-1**:

Imagen 3-1. Ubicación de tramos de evaluación del ecosistema.

Fuente: tomado y adaptado de Esri (2021). Recuperado de: https://satellites.pro/plano/mapa_de_Colombia#O5.717155,-73.943996,14. Fecha de descarga: 18 de julio de 2021. OpenStreetMap contributor

Partiendo del tramo I (uno) ubicado en la zona baja de la vereda de Ancamay, es posible determinar que el ecosistema dentro y a las orillas del río Piedras es intacto, ya que cuenta con abundante vegetación y tiene muy poca intervención antrópica como se evidencia en la **Imagen 3-2**, sin embargo, en sus rondas aproximadamente a 100 m de distancia de la orilla del río se pueden encontrar grandes extensiones de cultivos principalmente de aguacate, cacao, guanábana, plátano, naranja y mandarina **Imagen 3-3**.

En otro sentido, el caudal del río es bajo y se mantiene constante a pesar de estar en época de poca lluvia, lo cual causa que la fauna acuática sea nula, sobre todo porque la

calidad del agua no es muy favorable para su residencia, ya que el agua del río se muestra de un color oscuro posiblemente por los sedimentos que transporta **Imagen 3-5** o las intervenciones que se han efectuado río arriba **Imagen 3-4**, por los municipios de Briceño, Pauna y Chiquinquirá donde la tonalidad del agua ya se torna café por actividades antrópicas.

Imagen 3-2. Vegetación del río - Ancamay.



Fuente: Autor (2021).

Imagen 3-3. Cultivos orillas del río - Ancamay.



Fuente: Autor (2021).

Imagen 3-4. Afluente río - Ancamay.



Fuente: Autor (2021).

Imagen 3-5. Estado del agua del río - Ancamay.



Fuente: Autor (2021).

Por otra parte, el tramo II (dos) correspondiente a la parte baja del río Canutillo (afluente del río Piedras) se encuentra ubicado en la parte alta de Santa Rosa y Peña Blanca veredas del municipio de estudio, esta zona recoge el agua proveniente de los municipios de Albania y Florián- Santander, así como Tununguá y Saboyá- Boyacá. Teniendo en cuenta el área de vegetación a los alrededores del río no evidencia intervención antrópica, ya que cuenta con gran cantidad de plantas de todo tipo específicas de zonas hídricas.

Adicional a esto, aproximadamente a 100 metros de la orilla del río se muestran algunas plantaciones de guanábana, cítricos, cacao y plátano **Imagen 3-7**, de igual forma una de las quebradas que recibe este río no se encuentra en tan bajas condiciones, dado que el agua se muestra transparente **Imagen 3-8**, sin embargo, el río como tal presenta

condiciones bajas de calidad del agua, principalmente por su coloración grisácea y presencia de aceites **Imagen 3-9**, lo cual es un indicador de una alta contaminación.

Imagen 3-6. Vegetación río Canutillo, tramo II.



Fuente: Autor (2021).

Imagen 3-7. Cultivos a la orilla del río Canutillo, tramo II.



Fuente: Autor (2021).

Imagen 3-8. Afluente río Canutillo, tramo II.



Fuente: Autor (2021).

Imagen 3-9. Estado del agua río Canutillo, tramo II.



Fuente: Autor (2021).

Por último, para el tramo III (tres) ubicado en la parte alta del río Canutillo el cual pasa por el municipio de estudio, recogiendo las aguas de los mismos municipios del tramo II (dos), para esta zona, la vegetación sigue siendo representativa en sus alrededores **Imagen 3-10** principalmente con vegetación endémica y presente en sitios acuosos.

En cuanto a los cultivos que se presentan un poco más alejados que los otros tramos de 150 a 200m, son principalmente cítricos como la naranja y el plátano **Imagen 3-11**, por otra parte, la calidad del agua que recorre específicamente en este tramo, no se encuentra en condiciones inadecuadas como los anteriores, ya que se puede ver transparencia en esta, sin embargo, en sitios de muchos sedimentos y piedras se torna un poco oscura **Imagen 3-12**, esto se debe al caudal del río, así mismo, se muestra erosión en sus rondas en un grado más bajo.

Imagen 3-10. Vegetación río Canutillo, tramo III.



Fuente: Autor (2021).

Imagen 3-11. Cultivos río Canutillo, tramo III.



Fuente: Autor (2021).

Imagen 3-12. Estado del agua río Canutillo, tramo III.



Fuente: Autor (2021).

3.2 Análisis ambiental y cálculo de la huella hídrica

El cálculo de las diferentes huellas hídricas (azul, verde y gris), son determinantes para la cuantificación de consumo, contaminación y disponibilidad del agua que se presenta en cierto sector, tales como la agricultura, la producción pecuaria y las actividades domésticas. De este modo, es importante resaltar que el cálculo de la huella hídrica es un indicador que nos da un ideal de cómo se está usando el agua de una zona geográfica delimitada por una cuenca y su calidad, es así que con los resultados obtenidos es posible conocer la escasez que una zona presenta, para lo cual se establece el análisis ambiental, el cual permite relacionar a modo de oferta y demanda, la calidad, la cantidad y la disponibilidad del agua.

3.2.1 Definición de la escala de trabajo

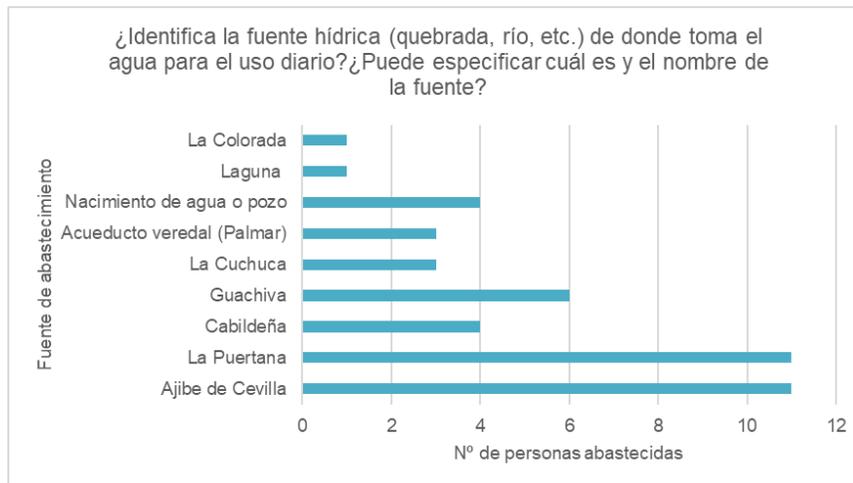
Se establece la zona del municipio de Tununguá-Boyacá como sitio de estudio, el cual es cubierto por la subcuenca del río Piedras, donde a su vez hace parte de la Cuenca del río Carare – Minero y para ello, el sector a estudiar para calcular los diferentes tipos de huella hídrica de la subcuenca del municipio se basa principalmente en el sector económico, como algunos cultivos agrícolas tecnificados, las actividades pecuarias y el componente doméstico. En cuanto al periodo de análisis y toma de información para la ejecución de los cálculos, se tienen en cuenta los datos de clima principalmente del promedio mensual multianual y multianual de los datos correspondientes a los años del 2000 al 2020.

3.2.2 Uso actual del agua e identificación de problemáticas ambientales

Para definir el uso del agua del municipio se estructura una encuesta que consta de 14 (catorce) preguntas, establecida en el 91: Encuesta aplicada a la comunidad del municipio, donde se formularon para 50 personas en su mayoría pertenecientes a la zona rural, con ello se busca determinar los diferentes consumos de agua a nivel agrícola, pecuario y doméstico, dando como resultado lo siguiente:

La principal fuente de donde toman el agua para consumo, se hace a través de la quebrada La Puertana y Aljibes, siendo la quebrada más central a la zona del pueblo y de donde se hace la captación del agua para la distribución y abastecimiento de la zona urbana.

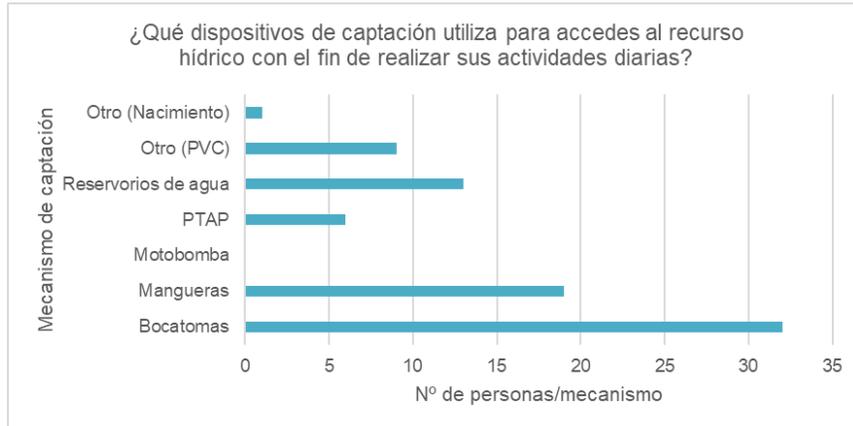
Ilustración 3-16. Fuentes de abastecimiento de agua.



Fuente: Autor (2021).

Por otro lado, los dispositivos con que hacen captación del agua de las quebradas, aljibes y otros, consta principalmente de bocatomas y mangueras, así mismo, se presenta una ausencia en el uso de motobombas para esta acción.

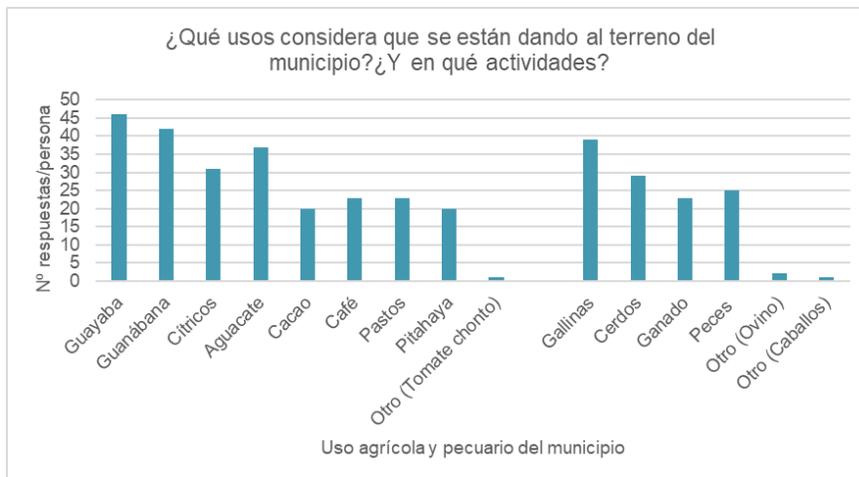
Ilustración 3-17. Dispositivos de captación de agua.



Fuente: Autor (2021).

Otra pregunta que se plantea tiene que ver con el uso que se está dando al municipio en las actividades de tipo agrícola y pecuaria. Por parte agrícola los cultivos más representativos son la Guayaba y la Guanábana, para el uso pecuario esta la producción de gallinas principalmente y cerdos.

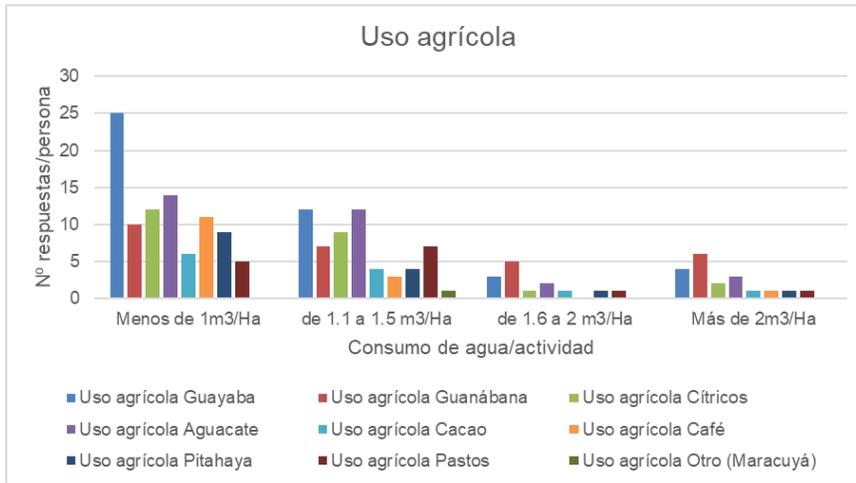
Ilustración 3-18. Uso agrícola y pecuario del municipio.



Fuente: Autor (2021).

Otra pregunta que se plantea es que, de acuerdo con la respuesta anterior, ¿Qué cantidad de agua considera que utiliza para cada una de las actividades mencionadas a continuación?, entre las cuales se tienen en cuenta las actividades agrícolas, pecuarias y domésticas.

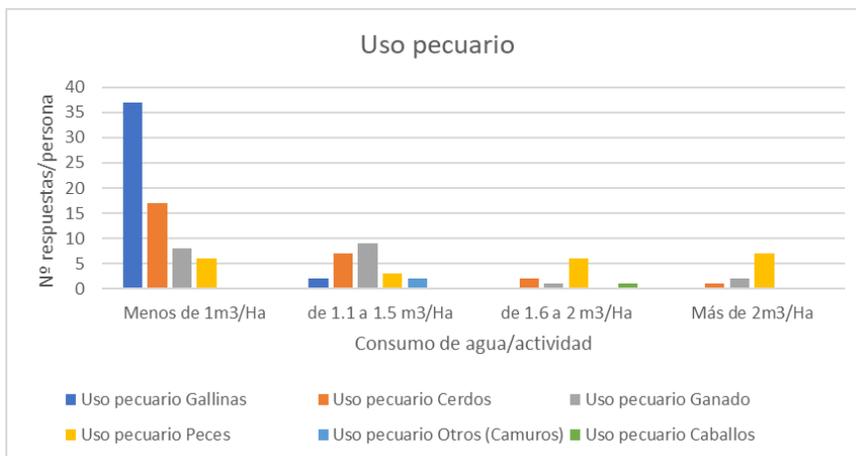
Ilustración 3-19. Consumo de agua por cultivos agrícolas.



Fuente: Autor (2021).

En este sentido, se puede determinar que las actividades agrícolas que más consumen agua es la Guanábana y la Guayaba, siendo aquellos cultivos con mayor extensión y sembrados de una forma tecnificada, así mismo aquellos que consumen menos cantidad de agua resulta siendo la Guayaba silvestre y el Aguacate, por su baja extensión en algunas zonas o su bajo riego.

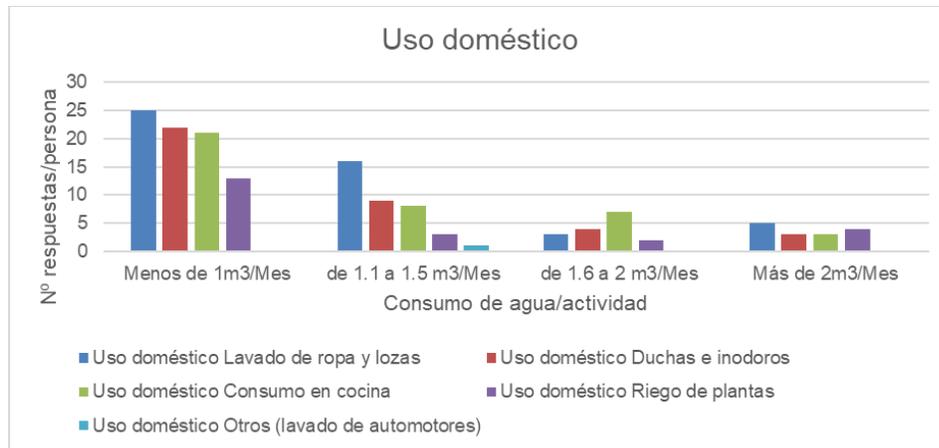
Ilustración 3-20. Consumo de agua por actividades pecuarias.



Fuente: Autor (2021).

En el caso de las actividades pecuarias las Gallinas son las que más se crían y tienen un más bajo consumo que los otros animales de producción, ya que solo requieren de agua para beber siguiente de los Cerdos y aquellos animales que tienen un mayor consumo hídrico se relaciona netamente con los peces dada la cantidad de agua que se utiliza constantemente para su oxigenación.

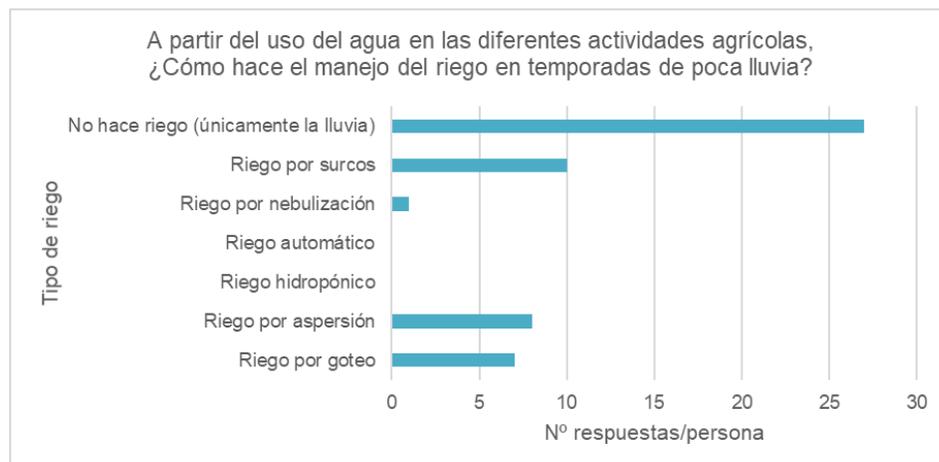
Ilustración 3-21. Consumo de agua por actividades domésticas.



Fuente: Autor (2021).

De acuerdo con el gráfico, indica que las actividades que tienen menor consumo a nivel doméstico se relacionan con el lavado de ropas y lozas, así como el uso de esta en duchas e inodoros, sin embargo, el lavado de lozas parece ser una de mayor consumo también, ya que esto depende de la cantidad de individuos que conforman la familia.

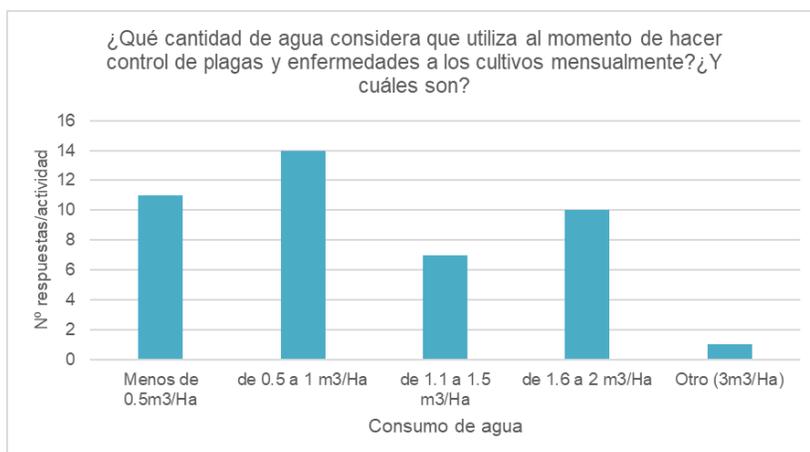
Ilustración 3-22. Formas de riego en los cultivos.



Fuente: Autor (2021).

A partir de lo anterior, se puede decir que la mayoría de la población de la zona rural no hace un riego específico, sino que únicamente utilizan la lluvia como medio de obtención de agua, aunque otra forma de hacer este riego se basa en la realización de surcos y aspersión, siendo mayormente utilizados en los cultivos agrícolas.

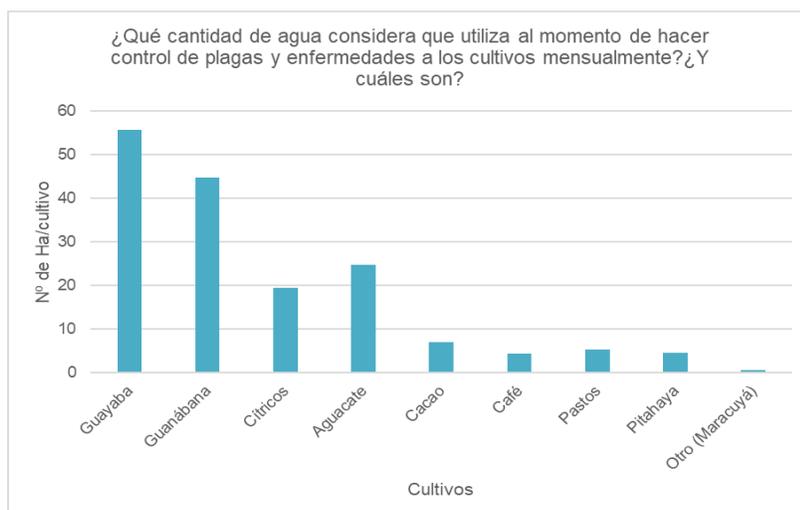
Ilustración 3-23. Consumo de agua para control de plagas y enfermedades.



Fuente: Autor (2021).

La mayoría de personas tienen un consumo promedio de entre 0,5 a 1 m³/Ha de agua para aplicar el debido control de plagas y enfermedades de sus cultivos, siguiente de menos de 0,5 m³/ Ha, dado que su rendimiento se basa en su mayoría en el uso de los agroquímicos para desarrollar esta actividad y la dilución en agua, así como la extensión de estos.

Ilustración 3-24. Hectáreas por tipo de cultivo.



Fuente: Autor (2021).

La ilustración anterior, indica los cultivos más representativos y de mayor extensión de la zona rural según las personas encuestadas, donde los cultivos de Guayaba y Guanábana son los más cultivados por otro lado, los de menor cantidad de Hectáreas de cultivos es el Maracuyá y la Pitahaya.

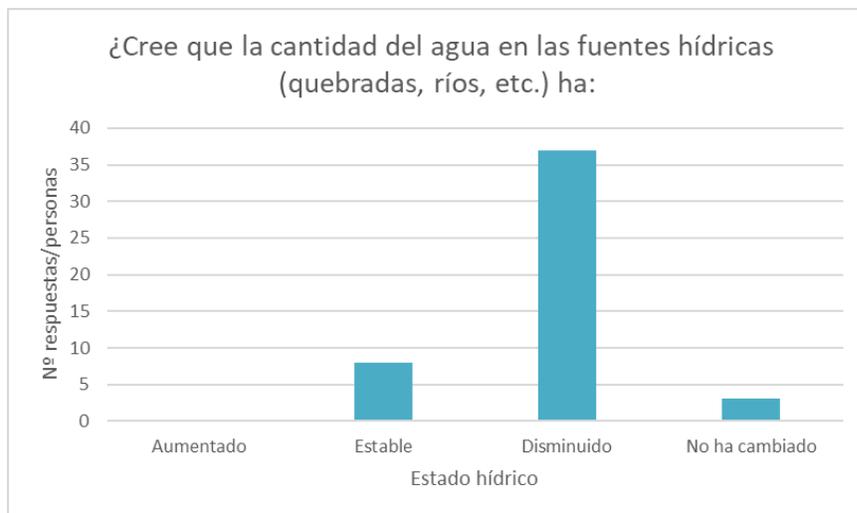
Ilustración 3-25. Tiempo de residencia en el municipio.



Fuente: Autor (2021).

Teniendo en cuenta la anterior ilustración, la mayoría de personas encuestadas han vivido en el municipio por más de 21 años, lo cual quiere decir que la información proporcionada tiene una mirada trascendente de mínimo 20 años atrás.

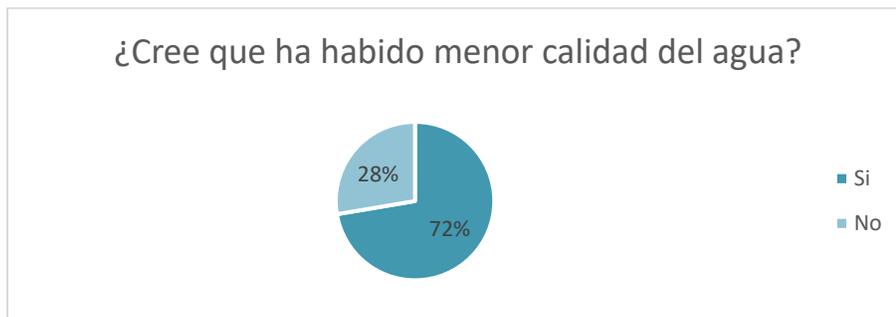
Ilustración 3-26. Estado de la calidad del agua.



Fuente: Autor (2021).

La ilustración anterior indica que la cantidad del agua de las fuentes hídricas del municipio han disminuido en el transcurso del tiempo, esto dado por diferentes actividades domésticas y agrícolas principalmente.

Ilustración 3-27. Condiciones de calidad del agua del municipio.

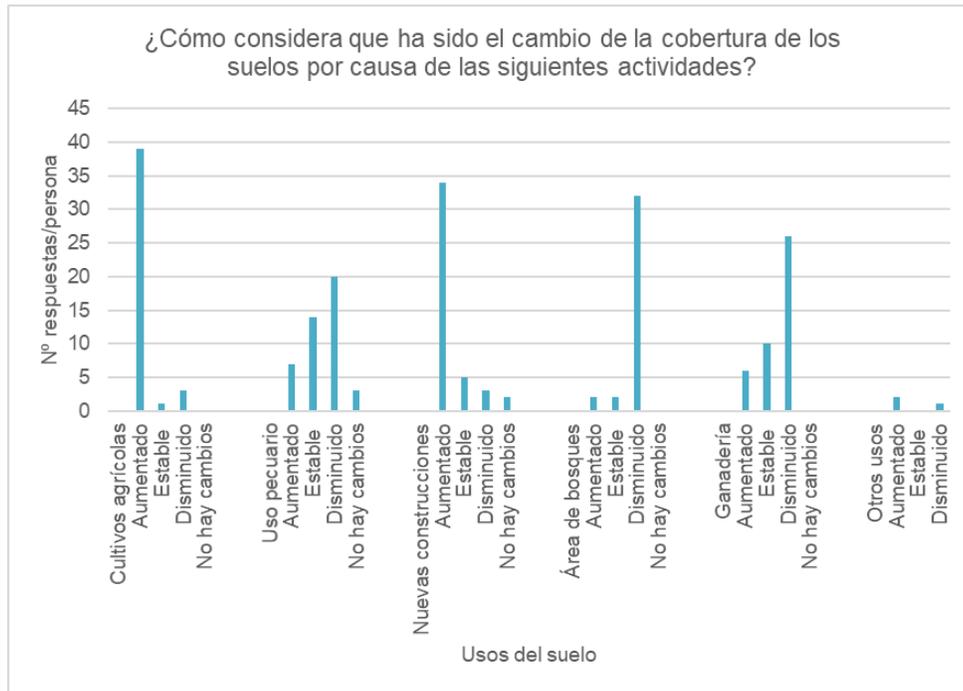


Fuente: Autor (2021).

Teniendo en cuenta el porcentaje de respuesta la mayoría de los encuestados respondieron que, si se ha presentado un cambio en la calidad del agua, algunas de las causas ofrecidas por ellos son: tala de árboles y deforestación, manejo de funguicidas y herbicidas, aumento en los cultivos o frontera agrícola, contaminación del agua por agroquímicos y otros, sedimentación y falta de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA).

Entre las preguntas que se efectuaron también se encuentra la siguiente: ¿Con relación a lo anterior por qué tipo de actividades o usos cree que se han presentado esos cambios?, donde las respuestas más representativas fueron que las causas son las quemadas y tala de árboles, fumigación y uso de agroquímicos, desarrollo de cultivos, uso de abono granulados, falta de orientación y capacitaciones (en veredas y pueblo), uso desenfrenado de agua y contaminación, falta de conciencia de los habitantes al momento de hacer las prácticas, explotación de monte cerca de las fuentes hídricas, presencia de fuertes temporadas secas, falta de conciencia en mejorar y ayudar los ríos o quebradas, donde las respuestas de mayor frecuencia e incidencia son las que se encuentran subrayadas.

Ilustración 3-28. Cambios en la cobertura del suelo.

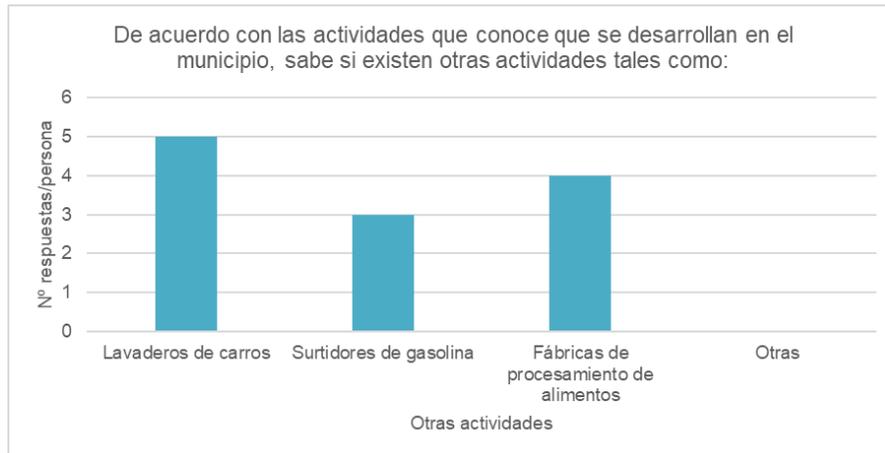


Fuente: Autor (2021).

A partir de la información anterior, es indispensable decir que los cultivos agrícolas han tenido un aumento significativo, ya que la vocación del suelo del municipio en su mayoría está encaminado a la producción agrícola, así mismo, la ganadería ha tenido una disminución considerable por esta misma actividad de cosecha.

Por otro lado, la producción pecuaria ha bajado por situaciones económicas, como alimentación e insumos costosos para su desarrollo, de igual modo, las construcciones han aumentado principalmente por la incidencia del turismo e inversiones en nuevos lotes y viviendas; el área de bosques ha disminuido por el uso del suelo en agricultura y para la construcción de nuevas viviendas, por último, entre los otros usos se encuentra el aumento de tala de bosques y la disminución de las reservas.

Ilustración 3-29. Otras actividades desarrolladas en algunas zonas del municipio.



Fuente: Autor (2021).

Dentro de las otras actividades que pueden hallarse en el municipio se encuentran los lavaderos de carros, surtidores de gasolina y fábricas de procesamiento de alimentos, todos desarrollados de manera convencional y a pequeña escala, sin embargo, estos no se encuentran reconocidos por la Alcaldía como actividades desarrolladas, ya que además de que se realizan de manera clandestina, no se cuantifica ni se toma como un tipo de uso de agua, generando que en épocas de poca lluvia el agua no pueda racionarse y que se disponga para la comunidad.

Complementando la actividad de lavado de carros, es importante mencionar que en su mayoría se realiza para camiones pesados, automóviles y motos, generando una mayor demanda de agua y contaminación por lodos en las fuentes hídricas, limitando a su vez el uso de estas aguas en niveles más abajo, ya que esta se extrae y deposita pre y post uso en la misma fuente.

Por último, para las preguntas de si vive en la zona urbana o rural y ¿cuenta con algún cobro por uso del agua?, la mayoría de las personas que residen en la zona urbana tienen el cobro de facturación mensual y aquellos que viven en la zona rural cuentan con diferentes cobros como acueducto veredal, tarifa fija y por precios diferentes mensuales, como 5000, 6000, 10000 pesos u otros.

3.2.3 Método de cálculo

Para realizar el cálculo de los diferentes tipos de huella hídrica, se toma como base la información metodológica del informe de Evaluación Multisectorial de la Huella Hídrica en Colombia del Estudio Nacional del Agua 2014 realizada por el IDEAM (2015) y la Guía Metodológica de Aplicación de Huella Hídrica en Cuenca, desarrollada por Diego Arévalo y Claudia Campuzano como iniciativa de SuizAgua Colombia (2013).

En primer lugar, para conocer la Huella Hídrica de la zona geográficamente delimitada, correspondiente principalmente al municipio y la subcuenca del río Piedras, se aplica la fórmula para el cálculo ver ecuación (3-1).

$$WF_{\text{área}} = \sum_q WF_{\text{proceso}} [q] \quad (3-1)$$

Esta fórmula, compila los diferentes sectores de consumo de agua establecidos por las actividades antrópicas y desarrollados en una zona geográfica determinada, adicional a esto, esta Huella Hídrica general, representa la suma de las diferentes huellas que se encuentran en el apartado siguiente denominado *3.2.4 Resultados del cálculo*.

- **Huella hídrica azul**

Para determinar el consumo de agua correspondiente a esta huella hídrica, para las actividades del sector doméstico y del sector agropecuario se describe cada ecuación para cada sector para obtener un método de cálculo.

Sector doméstico

Con el fin de definir el valor de la huella hídrica azul del sector doméstico, se establecen las siguientes ecuaciones que permiten conocer la cantidad de agua que no retorna en la fuente de agua superficial. La primera de ellas corresponde a la huella hídrica azul por dotación (Ecuación 3-2), determinada por el IDEAM (2015):

$$HHAd = P * D * FNR * 0,365 \quad (3-2)$$

Donde:

HHAd: huella hídrica azul municipal componente doméstico (m³/año).

P: población del municipio (habitantes).

D: dotación de agua por habitante correspondiente al municipio de análisis (L/Hab-día).

FNR: factor de no retorno; porcentaje de agua que no retorna a la cuenca (es adimensional).

Para la siguiente ecuación de la huella hídrica del sector doméstico se toma en cuenta acometidas ilegales (fugas técnicas), donde se asume que un 10% del caudal que sale de la planta se pierde por estas actividades, retornando a la cuenca finalmente (Arévalo & Campuzano, 2013). Así mismo, el porcentaje asumido que no retorna a la cuenca por causas de evaporación, consumo, entre otras, se establece en un 10% de agua facturada (Ecuación (3-3)).

$$HH_{azul} = HH_{azulAI} + HH_{azulIUSU} + HH_{azulPTAP} \quad (3-3)$$

$$HH_{azul} = (Q_{EAI} - Q_{VAI}) + (Q_{CF} - Q_{VUSU}) + Q_{empacadoPTAP}$$

$$HH_{azul} = Q_{EAI} * 10\% + Q_{CF} * 10\% + Q_{empacadoPTAP}$$

Con el fin de entender la nomenclatura de cálculo para la huella hídrica azul, se dirige al Anexo: Datos básicos para el cálculo de las huellas; donde se encuentran sus significados, así como las unidades para cada uno de los parámetros a evaluar.

Sector agropecuario

Para el cálculo de la huella hídrica del sector agropecuario, se tienen en cuenta las siguientes ecuaciones con las cuales se podrá cuantificar la cantidad de agua utilizada para satisfacer los requerimientos de los cultivos en la extracción de agua, sin retornar a la cuenca por ser evapotranspirada por el cultivo. Es decir, la huella hídrica azul utilizada en el sector agropecuario (Ecuación (3-4)).

$$HH_{azul} = 10 * ETa_{azul} * As \quad (3-4)$$

Donde:

HH azul: Huella hídrica azul en m³/mes.

ETa azul: evapotranspiración mensual azul ajustada (mm).

AS: área sembrada (Ha).

Es importante tener en cuenta que el “10” representa el factor de conversión que permite incorporar la evapotranspiración en mm y el área sembrada en Ha para obtener la huella hídrica azul en m³ (IDEAM, 2015). En cuanto a la huella hídrica del sector pecuario (Arévalo

& Campuzano, 2013), el cálculo de este se basa en la cuantificación de la huella hídrica azul y la huella hídrica verde en el consumo de pastos, expresado por la ecuación (3-5).

$$HH_{pecuaria} = HH_{alimento} + HH_{consumo} + HH_{servidumbre} \quad (3-5)$$

$HH_{alimento}$: es aquella asociada a los pastos que se utilicen como alimento, principalmente para bovinos, equinos, caprinos y ovinos.

$HH_{consumo}$: se tomará como el volumen de agua que consumen los animales para su funcionamiento fisiológico.

$HH_{servidumbre}$: se refiere al agua utilizada en el aseo de establos, porquerizas, galpones, entre otros.

- **Huella hídrica verde**

Para conocer la huella hídrica verde del sector agropecuario, se tienen que relacionar las variables climáticas y de suelos anteriormente consultadas, en la sección de descripción 3.1.1 *Datos generales de la subcuenca*, adicional a ello, se deben consultar los datos de áreas cultivadas por tipo de cultivo del municipio, los cuales se encuentran en la sección de *cobertura y usos de la tierra*. Para esto, se utiliza la ecuación (3-6) obtenida del (IDEAM, 2015) y el factor de conversión “10” con el cual se obtiene el resultado en m³.

$$HH_{verde} = 10 * ETa_{verde} * As \quad (3-6)$$

Donde:

HH_{verde} : huella hídrica en m³/mes.

ETa_{verde} : evapotranspiración mensual (mm).

AS: corresponde al área sembrada de cada cultivo o tipo de pasto (Ha)

Es así, que la huella hídrica verde, corresponde al consumo de agua lluvia que no se convierte en escorrentía, sino que se incorpora a los cultivos agrícolas (Servicios Ambientales S.A, 2016).

- **Huella hídrica gris**

Sector doméstico

Para el cálculo de la huella hídrica gris del sector doméstico, se establece la siguiente ecuación en la cual relacionando la nomenclatura utilizada presente en el Anexo: Datos básicos para el cálculo de las huellas, se tiene que:

En la evaluación de las concentraciones (C) de los contaminantes presentes en el agua principalmente vertida, se establecen la DBO₅ y los SST, donde estos son contribuidos por los vertimientos realizados por el sector doméstico en la PTAR, además de las acomedidas ilegales, como aquellos vertimientos sin ningún tipo de tratamiento (Arévalo & Campuzano, 2013), de este modo, se representa la ecuación (3-7) para su cálculo.

$$HH_{gris} = HH_{grisPTAP} + HH_{grisAI} + HH_{grisST} + HH_{grisPTAR} \quad (3-7)$$

$$HH_{gris} = \frac{\sum(Q_{vertido} * C_{vertido}) - Q_{captado} * C_{captación}}{C_{max} - C_{nat}}$$

$$= \frac{HH_{gris}}{C_{max} - C_{nat}} = \frac{Q_{VPTAP} * C_{VPTAP} + Q_{VAI} * C_{VAI} + Q_{VST} * C_{VST} + Q_{VPTAR} * C_{VPTAR} - Q_{CAPCUE} * C_{CAPCUE}}{C_{max} - C_{nat}}$$

Sector agropecuario

En el área agrícola, se establece como contaminantes para el cálculo de la huella hídrica gris, los fertilizantes y pesticidas, teniendo en cuenta que esta información es bastante limitada, se toma para el cálculo de esta HH los elementos presentes para fertilizantes como el nitrógeno (N) (Arévalo & Campuzano, 2013). A continuación, se muestra la ecuación (3-8) referente para los cultivos en una cuenca hidrográfica específica.

$$HH_{proc.gris} = \frac{L}{C_{max} - C_{nat}} \quad (3-8)$$

Donde:

$HH_{proc.gris}$: Huella Hídrica Gris de un producto agrícola específico (m³/Ha).

L : cantidad de fertilizante aplicado (Kg/Ha).

C_{max} : concentración máxima permisible del N y/o P en el agua (Kg/m³).

C_{nat} : Concentración natural del N y/o P en el agua (Kg/m³).

Para tomar los valores de la concentración máxima permisible, es recomendable utilizar las normas nacionales de calidad del agua para el consumo de agua o para las fuentes

superficiales. Por otro lado, para la concentración natural, se debe utilizar datos que se tengan de estudios locales de calidad del agua (Arévalo & Campuzano, 2013).

El valor anterior corresponde al volumen de agua usada en un producto agrícola en Ha cultivada, para poder comparar la huella hídrica gris con las otras huellas, es necesario dividir este valor por el rendimiento del cultivo (ton/Ha) ver ecuación (3-9).

$$HH_{proc.gris} = \frac{HH_{producto} \left(\frac{m^3}{ha} \right)}{Rendimiento_{cultivo} \left(\frac{ton}{ha} \right)} \quad (3-9)$$

En cuanto a la huella hídrica gris del sector pecuario, se utiliza la ecuación (3-10), donde para estimar el valor permisible y la carga contaminante se toma en cuenta contenidos de heces y orina a nivel teórico o de estudios locales.

$$HH_{proc.gris} = \frac{L}{C_{max} - C_{nat}} \quad (3-10)$$

Donde:

$HH_{proc.gris}$: Huella Hídrica Gris de un proceso pecuario específico (m^3/Ha).

L : cantidad de heces (Kg/Ha).

C_{max} : concentración máxima permisible del N en el agua (Kg/m^3).

C_{nat} : Concentración natural del N en el agua (Kg/m^3).

3.2.4 Resultados del cálculo

Con el fin de conocer los diferentes valores correspondientes a la huella hídrica azul, verde y gris, se toman los datos que se han obtenido a lo largo del documento y algunos adicionales que se muestran en el Anexo: Datos básicos para el cálculo de las huellas para el cálculo, cada uno de estos se desarrolla como se muestra en los siguientes ítems:

- **Huella hídrica azul**

Con el fin de definir el valor de la huella hídrica azul del sector doméstico, se establecen las siguientes ecuaciones que permiten conocer la cantidad de agua que no retorna en la fuente de agua superficial. La primera de ellas corresponde a la huella hídrica azul por dotación (Ecuación 3-2) correspondiente a la huella hídrica azul para el sector doméstico, dado por el IDEAM se tiene que:

$$HHAd = P * D * FNR * 0,365$$

$$HHAd = 1576 \text{ hab} * \frac{270L}{\text{hab} - \text{día}} * 10\% * 0,365$$

$$HHAd = 15532,48 \frac{m^3}{\text{año}}$$

Otra ecuación establecida para obtener la huella hídrica azul del sector doméstico es la ofertada por (Arévalo & Campuzano, 2013). Para la siguiente ecuación de la huella hídrica del sector doméstico se toma en cuenta acometidas ilegales (fugas técnicas), donde se asume que un 10% del caudal que sale de la planta se pierde por estas actividades, retornando a la cuenca finalmente (Arévalo & Campuzano, 2013). Así mismo, el porcentaje asumido que no retorna a la cuenca por causas de evaporación, consumo, entre otras, se establece en un 10% de agua facturada (Ecuación (3-3)).

$$HH_{\text{azul}} = (Q_{EAI} - Q_{VAI}) + (Q_{CF} - Q_{VUSU}) + Q_{\text{empacadoPTAP}}$$

$$HH_{\text{azul}} = (3 \text{ L/s} - 1,81 \text{ L/s}) + (1,12 \text{ L/s} - 1,19 \text{ L/s}) + 0,92 \text{ L/s}$$

$$HH_{\text{azul}} = (1,19 \text{ L/s}) + (-0,07 \text{ L/s}) + 0,92 \text{ L/s}$$

$$HH_{\text{azul}} = Q_{EAI} * 10\% + Q_{CF} * 10\% + Q_{\text{empacadoPTAP}}$$

$$HH_{\text{azul}} = 1,19 \text{ L/s} * 10\% + (-0,07 \text{ L/s}) * 10\% + 0,92 \text{ L/s}$$

$$HH_{\text{azul}} = 0,119 \text{ L/s} + (-0,007 \text{ L/s}) + 0,92 \text{ L/s}$$

$$HH_{\text{azul}} = 1,032 \text{ L/s o } 32545,15 \text{ m}^3/\text{año}$$

Para efectuar el cálculo de la huella hídrica azul en el sector agropecuario, se toma la ecuación (3-4) y los valores encontrados en el Anexo: Datos básicos para el cálculo de las huellas. La información plasmada corresponde al mes de enero, los demás meses se relacionan posteriormente en el mismo anexo en mención y en la **Ilustración 3-30**.

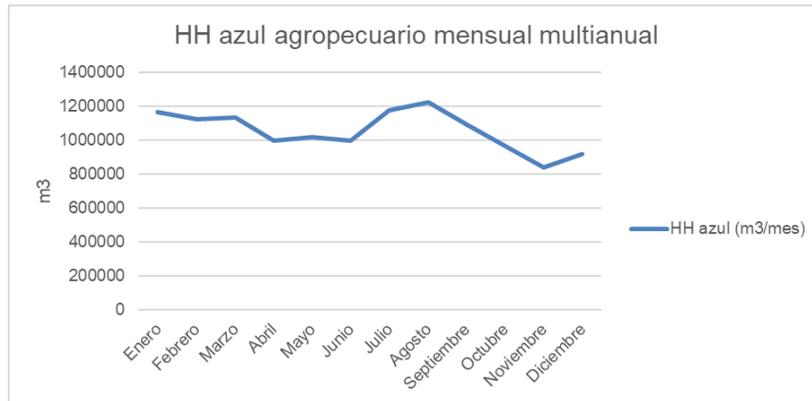
$$HH_{\text{azul}}: 10 * ETa_{\text{azul}} * As$$

$$HH_{\text{azul}}: 10 * 81,6 \text{ mm} * 1432 \text{ Ha}$$

$$HH_{\text{azul}}: 1168512 \text{ m}^3/\text{mes}$$

Para tener una idea del comportamiento de la huella hídrica azul mensual multianual del sector agropecuario se tiene la **Ilustración 3-30**, donde se observa la variación de la misma, teniendo como mayores puntos de consumo de agua por cultivo los meses de julio y agosto y menores de noviembre y diciembre.

Ilustración 3-30. Resultados HH azul sector agropecuario mensual multianual.



Fuente: Autor (2021).

Para el cálculo de la huella hídrica azul del sector pecuario, se toma la ecuación (3-5), donde los datos a tener en cuenta se exponen en el Anexo: Datos básicos para el cálculo de las huellas, en el que se referencian valores de consumo de agua tomado de Galeano & Rojas (2016) por su desconocimiento a nivel municipal, así como la cantidad de cabezas por tipo de animal tomado del Programa Agropecuario Municipal – PAM (2020).

$$HH_{pecuaria} = HH_{alimento} + HH_{consumo} + HH_{servidumbre}$$

$$HH_{pecuaria} = 144337,68 \text{ m}^3/\text{mes} + 4274,58 \text{ m}^3/\text{mes} + 4927,35 \text{ m}^3/\text{mes}$$

$$HH_{pecuaria} = 153539,61 \text{ m}^3/\text{mes}$$

▪ **Huella hídrica verde**

Para la huella hídrica verde del sector agropecuario, se toma como referencia la ecuación (3-6), con los datos adjuntos en el Anexo: Datos básicos para el cálculo de las huellas, los cuales corresponden a cada uno de los cultivos desarrollados en el municipio con la respectiva evapotranspiración mensual. Para establecer el ejemplo de cálculo, se relaciona el mes de enero y el cultivo de Guayaba.

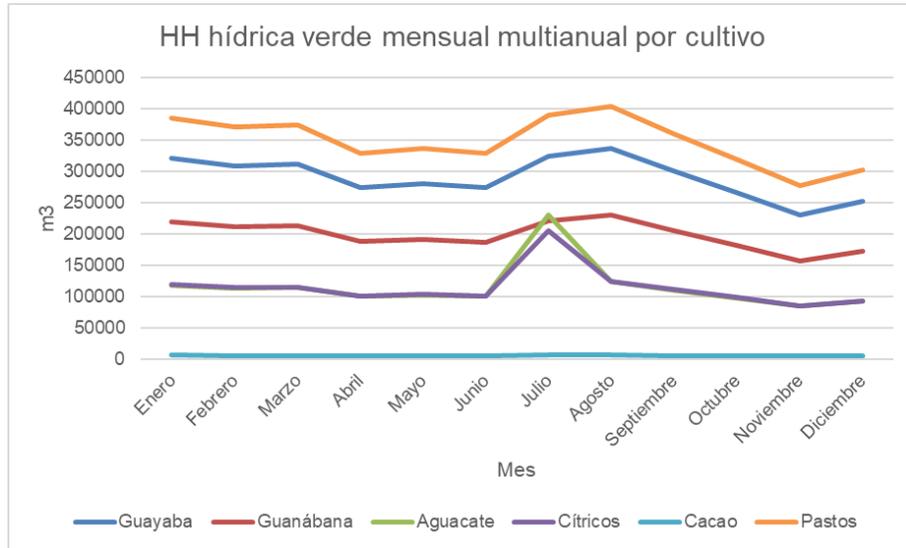
$$HH \text{ verde} = 10 * ETa \text{ verde} * As$$

$$HH \text{ verde} = 10 * 81,6 \text{ (mm)} * 394 \text{ Ha}$$

$$HH \text{ verde} = 321504 \text{ m}^3/\text{mes}$$

Teniendo en cuenta la información de todos los meses por los años de 2000 a 2020 y por cada cultivo, se realiza la siguiente **Ilustración 3-31** para visualizar la tendencia de consumo de agua proveniente de otras fuentes por tipo de cultivo, donde se ve un mayor índice en los meses de julio y agosto.

Ilustración 3-31. Resultados HH verde sector agropecuario por cultivo.



Fuente: Autor (2021).

▪ Huella hídrica gris

Con el fin de conocer los valores correspondientes a la huella hídrica gris del sector doméstico, se tiene en cuenta la (3-7), para la cual se toman los valores referenciados en el Anexo: Datos básicos para el cálculo de las huellas.

$$\begin{aligned}
 HH_{gris} &= HH_{grisPTAP} + HH_{grisAI} + HH_{grisST} + HH_{grisPTAR} \\
 HH_{gris} &= \frac{\sum(Q_{vertido} * C_{vertido}) - Q_{captado} * C_{captación}}{C_{max} - C_{nat}} \\
 HH_{gris} &= \frac{Q_{VPTAP} * C_{VPTAP} + Q_{VAI} * C_{VAI} + Q_{VST} * C_{VST} + Q_{VPTAR} * C_{VPTAR} - Q_{CAPCUE} * C_{CAPCUE}}{C_{max} - C_{nat}} \\
 HH_{gris} &= \frac{3 \frac{L}{s} * 1 \frac{mg}{L} + 1,81 \frac{L}{s} * 1 \frac{mg}{L} + 2,5 \frac{L}{s} * 105 \frac{mg}{L} + 3 \frac{L}{s} * 67 \frac{mg}{L} - Q_{CAPCUE} * C_{CAPCUE}}{C_{max} - C_{nat}} \\
 HH_{gris} &= \frac{\left(3 \frac{mg}{s} + 1,81 \frac{mg}{s} + 262,5 \frac{mg}{s} + 201 \frac{mg}{s}\right) - \left(0,92 \frac{L}{s} * 34 \frac{mg}{L}\right)}{90 \frac{mg}{L} - \frac{34mg}{L}}
 \end{aligned}$$

$$HH_{gris} = \frac{\left(468,31 \frac{mg}{s}\right) - 31,28 \frac{mg}{s}}{56 \frac{mg}{L}}$$

$$HH_{gris} = 7,80 \frac{L}{s} \text{ o } 246110,32 \text{ m}^3/\text{año}$$

En cuanto a la huella hídrica gris del sector agropecuario, se toma en cuenta la ecuación (3-8), donde se relaciona la parte agrícola como la sumatoria de todos los cultivos por año. Para determinar el valor de esta se toman los datos que se muestran en el Anexo: Datos básicos para el cálculo de las huellas.

$$HH_{proc.gris} = \frac{L}{C_{max} - C_{nat}}$$

$$HH_{proc.gris} = \frac{176,65 \text{ Kg/Ha}}{0,0001 \text{ kg/m}^3 - 0,00002 \text{ Kg/m}^3}$$

$$HH_{proc.gris} = 2'208.125 \text{ m}^3/\text{Ha}$$

De acuerdo con lo anterior, se hace un nuevo cálculo a partir de la ecuación (3-9) para poder hacer la comparación de esta huella hídrica gris con las otras huellas, como se muestra a continuación:

$$HH_{proc.gris} = \frac{HH_{producto} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{ha}}\right)}{\text{Rendimiento}_{cultivo} \left(\frac{\text{ton}}{\text{ha}}\right)}$$

$$HH_{proc.gris} = \frac{2208125 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{ha}}\right)}{13606,5 \left(\frac{\text{ton}}{\text{ha}}\right)}$$

$$HH_{proc.gris} = 162,29 \frac{\text{m}^3}{\text{Ton}}$$

Por último, con el fin de tener un valor establecido para la huella hídrica gris del sector pecuario, se toma la información referente en el Anexo: Datos básicos para el cálculo de las huellas y la ecuación (3-10) para conocer el resultado correspondiente a las deposiciones de animales de granja.

$$HH_{proc.gris} = \frac{L}{C_{max} - C_{nat}}$$

$$HH_{proc.gris} = \frac{274,14 \text{ Kg/Ha}}{0,0001 \text{ kg/m}^3 - 0,00002 \text{ Kg/m}^3}$$

$$HH_{proc.gris} = \frac{274,14 \text{ Kg/Ha}}{0,00008 \text{ Kg/m}^3}$$

$$HH_{proc.gris} = 3'426.737,5 \text{ m}^3/\text{Ha}$$

Con el fin de resolver la ecuación (3-1), se toman los resultados obtenidos de las diferentes huellas hídricas a nivel mensual, donde se tiene que:

$$WF_{\text{área}} = \sum_q WF_{\text{proceso}}[q]$$

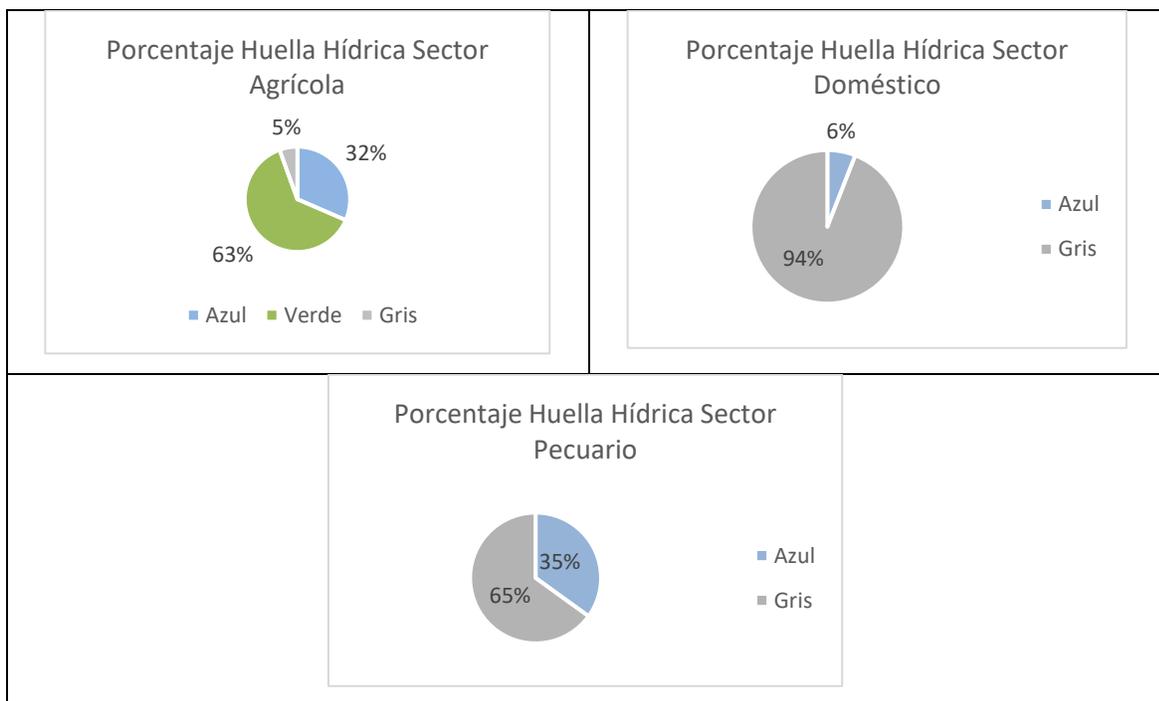
$$WF_{\text{área}} = \sum (\text{sector doméstico} + \text{sector agrícola} + \text{sector pecuario})$$

$$WF_{\text{área}} = \sum (21803,57 + 3347656,42 + 439101,1)m^3/\text{mes}$$

$$WF_{\text{área}} = 3808561,1 m^3/\text{mes}$$

Realizando los respectivos cálculos y sumas correspondientes a cada uno de los procesos desarrollados en el municipio (doméstico, agrícola y pecuario), se obtiene un valor de 3'808.561,1 m³/mes de agua utilizada de la subcuenca para suplir las actividades.

Tabla 3-4. Porcentaje Huella Hídrica para los diferentes sectores.



Fuente: Autor (2022).

La información contenida en la **Tabla 3-4** permite conocer la huella hídrica con mayor influencia para cada sector, identificando el porcentaje de la parte doméstica (94%) y pecuaria (65%) para la huella gris representando un valor mayor con respecto al volumen de agua dulce (HH azul) para la asimilación de la contaminación de ambos sectores. En la parte del sector agrícola, la huella hídrica verde representa un mayor porcentaje (63%) dado que es la cantidad de agua lluvia que requieren los cultivos para su supervivencia.

3.2.5 Análisis ambiental

El análisis ambiental de la subcuenca del río Piedras, nos permite evaluar y conocer diferentes componentes (sociales, económico, ecológico, otros), así como los procesos e interacciones que ocurren en esta (Moreira et al., 2020). De igual modo, sirve para conocer las consecuencias ambientales de cierta zona con el fin de tomar medidas de eliminación, mitigación, minimización y/o compensación de acuerdo con el grado de afectación por alguna actividad desarrollada. Por esta razón, se toman los valores obtenidos anteriormente en los tipos de huella hídrica, a fin de hacer un análisis del consumo por parte de estos sectores y la oferta ambiental (disponibilidad) del agua de la subcuenca.

En primer lugar, para hacer el análisis ambiental de la **Huella Hídrica Azul (HHA)**, se toma la ecuación (3-11) (Arévalo & Campuzano, 2013), en donde para calcular la oferta del agua (OA) se considera la oferta natural mensual del agua de la subcuenca, es decir el caudal que se presenta en épocas normales del ambiente, por otro lado, está el caudal ambiental, el cual corresponde al caudal mínimo que se debe mantener en un cuerpo de agua (ChileSutentable, 2016).

$$OA_{\text{azul mensual}} = \text{Oferta natural}_{\text{mensual}} - \text{Caudal ambiental}_{\text{mensual}} \quad (3-11)$$

Resolviendo la anterior ecuación, se tienen los valores que son tomados de Corpoboyacá (2013), donde la oferta natural corresponde a 42,3 L/s y el caudal ambiental a 8,46 L/s, teniendo como resultado:

$$OA_{\text{azul mensual}} = \text{Oferta natural}_{\text{mensual}} - \text{Caudal ambiental}_{\text{mensual}}$$

$$OA_{\text{azul mensual}} = 42,3 \text{ L/s} - 8,46 \text{ L/s}$$

$$OA_{\text{azul mensual}} = 33,84 \text{ L/s o } 87713,28 \text{ m}^3/\text{mes}$$

A partir de este valor, se procede a hacer el cálculo del índice de escasez con la ecuación (3-12) (Arévalo & Campuzano, 2013), tomando el valor mensual total de la huella hídrica azul de las diferentes actividades desarrolladas; para las que se tienen de forma anual se divide por los meses del año para tener un estimado mensual y la OA anteriormente hallada, obteniendo el siguiente resultado:

$$E_{\text{azul mensual}} = \frac{\sum HH_{\text{azul mensual}}}{OA_{\text{azul mensual}}} \quad (3-12)$$

$$E_{\text{azul mensual}} = \frac{1209382,65 \text{ m}^3/\text{mes}}{87713,28 \text{ m}^3/\text{mes}}$$

$$E_{\text{azul mensual}} = 13,79$$

De acuerdo con el índice de escasez que se define como la relación porcentual entre la demanda del agua y un conjunto de actividades desarrolladas, así como de la oferta hídrica disponible (Sebastián Jaramillo, Francisco Molina, 2011). Se tiene un valor de 13,79% de escasez de agua para el municipio, por causa de las actividades de origen antrópico principalmente.

Por otro lado, para conocer el análisis ambiental de la **Huella Hídrica Verde (HHV)**, se tiene en cuenta la Evapotranspiración, en este caso se utilizan los únicos valores otorgados por el IDEAM que ya fueron mencionados anteriormente en el apartado de anexos. Para la disponibilidad de agua verde se multiplican estos valores por 10 con el fin de hacer la conversión a m³ finalmente.

Utilizando la ecuación (3-13) (Arévalo & Campuzano, 2013) del índice de escasez de agua verde y el promedio del total mensual de consumo de agua verde multianual por tipo de cultivo, se hace una división de este valor por 12 meses, con el fin de conocer un consumo aproximado para un mes/cultivo y a partir de ello, sumar por todos los tipos de cultivos, alcanzando un valor total de 2109097,33 m³/mes, así mismo, se toma el promedio de la evapotranspiración mensual multianual, con el fin de reemplazar el valor por la Disponibilidad de Agua (DA) con un total de 736,42 m³/mes, teniendo:

$$E_{verde\ mensual} = \frac{\sum HH_{verde\ mensual}}{DA_{verde\ mensual}} \quad (3-13)$$

$$E_{verde\ mensual} = \frac{2109097,33\ m^3/mes}{736,42\ m^3/mes}$$

$$E_{verde\ mensual} = 2864$$

Considerando el resultado del índice de escasez de agua verde, se estima que los valores mayores a 1 como es este caso representa que el sector agrícola comprende una alta demanda de agua, poniendo a menor disposición el agua de la subcuenca y la sostenibilidad del ambiente.

Por último, con el fin de determinar el análisis ambiental de la **Huella Hídrica Gris (HHG)**, por medio del Nivel de Contaminación del Agua (NCA) con la ecuación (3-14) (Arévalo & Campuzano, 2013), considerando los valores resultantes anteriormente en este tipo de huella hídrica, para aquellos de modo anual se divide por los meses de un año para conseguir su valor aproximado mensual y con el valor de la sumatoria de la huella hídrica azul mensual se hace una resta de esta a la huella hídrica gris, ya que esta agua no se

encuentra ya disponible para disolver los contaminantes. De este modo, con el valor extraído de Corpoboyacá (2013) de la oferta total real mensual (R_{total}) de 30,84 L/s o 79937,28 m³/mes se tiene:

$$NCA_{mensual} = \frac{\sum HH_{gris\ mensual}}{R_{total\ mensual}} \quad (3-14)$$

$$NCA_{mensual} = \frac{\sum HH_{gris\ mensual} - HH_{azul\ mensual}}{R_{total\ mensual}}$$

$$NCA_{mensual} = \frac{(490081,07 - 154833,98)m^3/mes}{79937,28 m^3/mes}$$

$$NCA_{mensual} = 4,19$$

Este valor del Nivel de Contaminación del Agua mensual (NCA), de 4,19% indica que la fuente hídrica cuenta con gran capacidad de asimilación de los contaminantes de Nitrógeno principalmente.

Finalmente, con los resultados adquiridos es importante mencionar que a nivel social se deben efectuar algunos cambios en el consumo del agua, principalmente para aquellos usos que no son necesarios y que conllevan un alto consumo, así como en los desperdicios y contaminantes dispuestos. Por otro lado, se deben mejorar los sistemas de acueducto y recepción de aguas residuales, dado que estos no tienen un adecuado funcionamiento, lo cual genera mayores costos, afecta la salud de las personas y todo aquellos que compone el ambiente como sus interacciones.

3.3 Formulación de estrategias de planificación

Dentro de las estrategias aplicadas en el municipio para la planificación del agua, se ha desarrollado el Programa de uso eficiente y ahorro del agua (PUEAA) para el municipio de Tununguá-Boyacá, el cual se ha definido en agosto del año 2020, donde su objetivo se basa en hacer un diagnóstico de manera detallada de los sistemas de acueducto actuales para el municipio, además de realizar planes de mejora en la estructura y uso eficiente de ahorro del agua. Aunque en este documento se proponen unas metas para los próximos años a la realización del informe, hasta el día de hoy las actividades plasmadas en el plan de acción no han sido desarrolladas.

Por otro lado, a partir de la información recopilada durante la aplicación de las encuestas y las visitas en campo en el municipio, se identifican las problemáticas ambientales presentes con mayor incidencia, representadas por la tala de árboles, expansión de la frontera agrícola, uso de agroquímicos y la contaminación y uso desenfrenado del agua, para las cuales se emplean cuatro estrategias con el fin de dar una solución a aquellas más representativas de daño o riesgo ambiental; estas se presentan en la siguiente

Ilustración 3-32:

Ilustración 3-32. Estrategias de planificación.



Fuente: Autor (2021).

Teniendo en cuenta lo anterior, se hacen cuatro fichas que representan cada una de las estrategias anteriores, las cuales se muestran en el Anexo D: Estrategias propuestas para la planificación del agua, con el fin de tener información de estas con un nivel más de detalle, donde se identifica el objetivo, problema ambiental, actividades que lo producen, acciones a desarrollar, indicadores y otros.

4. Capítulo 4. Análisis y discusión

A partir de la realización del trabajo del cálculo de la huella hídrica de la subcuenca del río Piedras en el municipio de Tununguá-Boyacá, y la identificación de problemáticas ambientales derivadas por el uso y la disponibilidad del agua; se tienen aquellas producidas principalmente por actividades antrópicas, entre las cuales las que mayor influencia presentan son la deforestación que ocasiona menor cantidad de agua en ríos, el cambio de cobertura de la tierra, uso de agroquímicos para cultivos tecnificados y la contaminación hídrica; provocando que la calidad de las fuentes hídricas sea muy baja o nula, previniendo el consumo por los humanos y la fauna presente.

Adicionalmente otras problemáticas que se han presentado en el municipio y que se identificaron por la población con más de 20 años de residencia, son: la baja cantidad de las fuentes hídricas por tala de árboles, sedimentación, fuertes temperaturas en temporadas secas, uso desmedido del agua, contaminación por agroquímicos, falta de tratamiento del agua, entre otras; así mismo se han presentado cambios en las actividades y áreas municipales, tales como la reducción de las tareas pecuarias, de áreas de bosques y ganadería donde esta última antes predominaba y las construcciones de viviendas y los cultivos agrícolas han aumentado, indicando un plus en el desarrollo económico y social.

Por otra parte, el crecimiento poblacional que se presenta en el municipio desde el año 2000 al 2020 ha sido de aproximadamente 28,9 %, el cual se ha provocado por varios factores; como las oportunidades laborales de trabajo en campo para la producción de cultivos, las nuevas posibilidades de adquisición de terrenos, nuevas construcciones principalmente para vivienda, desarrollo agrícola y pecuario, los atractivos ambientales (ríos, montañas, paisaje), entre otras. Este aumento en la población, aunque presenta buenas oportunidades de turismo y crecimiento económico; también generan mayor

consumo de agua y producción desechos, ocasionando una grave afectación al ambiente elevando su degradación, reducción y contaminación.

Así mismo, partiendo de las riquezas del país y teniendo como base que Colombia cuenta con grandes extensiones de nevados, páramos, vertientes hidrográficas, grandes ríos, lagunas y ciénagas; siendo el agua una de las mayores riquezas, pero que presenta situaciones complejas frente al uso, demanda y calidad del agua (Congreso de la República de Colombia, 2019), se vuelve difícil cuidar y aprovechar el agua de forma sostenible, principalmente por la mala gestión que se hace en las disposiciones del consumo posterior de estos recursos, es decir aquellas actividades generadas por el hombre, las cuales aportan a que la baja calidad del agua del país sea mayor.

Considerando lo anterior con respecto a la calidad del agua del municipio, la cual cuenta con un tratamiento superficial de cloro únicamente en la PTAP de la zona urbana, en su distribución a los hogares de la misma zona, no es suficientemente apta para consumo, dado que previo a esto debe tener otro tipo de tratamiento con el fin de evitar enfermedades intestinales y dérmicas, siendo poco segura para el consumo directo por suciedad de tanques de reserva, presencia de animales en este, desgaste de tuberías y el tratamiento superficial de la misma.

Adicionalmente, es posible estimar que las condiciones físicas, químicas y microbiológicas del agua imposibilita su consumo, dado que la presencia de sólidos suspendidos es causal de turbiedad, ocasionando que la calidad no sea aceptable para el consumo humano, donde sus valores son comprendidos en 65 mg/L aproximadamente, indicando que el agua debe tener un tratamiento adicional y más exhaustivo, en cuanto a las condiciones químicas como la existencia de nitritos, puede causar intoxicación en el cuerpo humano y a nivel microbiológico sin tratamiento previo, es posible encontrar en su mayoría bacterias como la *E.Coli*, la cual puede causar otras enfermedades adicionales en el cuerpo humano, estas condiciones pueden ocasionar igualmente que la disponibilidad del agua sea más baja para el consumo de la población municipal.

En este mismo sentido, en la zona rural de las siete veredas, solamente dos de estas cuentan con dos plantas de tratamiento de agua potable, donde la calidad del agua

realmente es muy baja, lo cual ocasiona que el IRCA sea de más del 60% (Grupo Biomedical, 2021), indicando que el riesgo de consumo sea alto, lo cual demuestra que estas plantas son completamente ineficaces. Es así, que a causa de esta poca calidad en las zonas rurales y urbana se han generado múltiples enfermedades tales como dermatitis, hongos en la piel y enfermedades gastrointestinales afectando a la población todas las edades, siendo enfermedades que persisten sin un tratamiento médico constante y no todas las personas asisten a un hospital, empeorando el panorama de salud.

Igualmente, aunque existe una PTAR en la zona urbana que opera como filtración de basuras netamente, arrojando cualquier tipo de microorganismos y residuos líquidos domésticos; no es suficiente para evitar que la fuente receptora que corresponde a Caño Galván recoja todos los residuos resultantes de la parte urbana y rural, aumentando los niveles de contaminación posterior al tratamiento.

Sumado a lo anterior y uniendo las actividades agrícolas y pecuarias que se desarrollan en la zona rural, en donde existe una menor calidad del agua con respecto a la de la zona urbana, principalmente por la producción agrícola tecnificada, las prácticas agrícolas insostenibles y el uso y consumo de insumos, los cuales han incrementado por las extensiones y tipos de cultivos, provocando una amenaza en la biodiversidad, la salud humana, los ecosistemas y la cadena alimenticia; representando la mayor fuente de contaminación del agua por actividades de agricultura (FAO, 2018, p.25).

Lo anterior ha originado la pérdida de especies de fauna, la contaminación del suelo por los envases y empaques, la contaminación hídrica por la filtración de agroquímicos y la contaminación atmosférica por la aspersión de los mismos. Esta situación, aunque ha tenido formas de mitigarse, no ha contado con una solución definitiva, dado que las entidades territoriales y algunos pobladores no ven los efectos y daños ocasionados, en donde se ha notado una disminución en la población de polinizadores afectando la producción de los cultivos. Para esto, se ha desarrollado una estrategia de Buenas Prácticas Agrícolas con la que se busca mejorar estas prácticas insostenibles.

Tomando como referencia el estudio del POMCA (2017) para la cuenca Carare Minero y la información plasmada en el epígrafe de estado del ecosistema para la subcuenca del río Piedras, refleja esta fuente de agua como la de mayor aporte de contaminación por

parte de las actividades domésticas y pecuarias principalmente en los componentes de DBO₅ (804,15 – 3337,77) Ton/año y SST (1154,66 – 2966,91) Ton/año, y en menor medida por el Nitrógeno Total (NT) (186,65 – 166,80) Ton/año, esto resultante de la agregación de residuos sólidos orgánicos al río, como aportes de actividades de lavado de infraestructura pecuaria, sanitarios, grasas, aceites de los utensilios, jabones provenientes de la limpieza, entre otras.

Vinculando lo anterior se demuestra el poco tratamiento que se realiza para la subcuenca, dada la carga contaminante que contiene y la coloración que evidencia, esto principalmente por la disposición de agroquímicos en sus rondas y los desechos agrícolas, pecuarios y domésticos que se disponen allí, de igual modo la turbidez del río, adicional de la contaminación que existe, también puede deberse a la corriente que lleva, sin embargo, aun estando con niveles bajos de caudal, esta coloración no disminuye por su alto grado de contaminación.

Aunque la mayoría de las fuentes hídricas presenten este tipo de situaciones de contaminantes, es importante decir que para el municipio la posición es un poco diferente, ya que cuenta con otras oportunidades de acceder a otras fuentes, como nacimientos de agua, lagunas, aljibes, el acueducto y varias quebradas con las que cuenta la zona, accediendo a las mismas de manera no convencional por medio de tubos de PVC, mangueras, bocatomas y otras. Así mismo, el río Piedras contando que también es una fuente de abastecimiento, su calidad como ya se menciona no es muy aceptable, lo cual hace que su uso sea más como acaparador de aguas negras.

Lo anterior permite relacionar la pérdida de especies de fauna presentes en los ríos, ya que por lo general la contaminación del agua enferma y mata a las especies acuáticas, los pesticidas y otros productos químicos que se usan en las granjas y el entorno doméstico y que se vierten al agua, causan la mortalidad de estas especies (Riquelme, 2016). Es así como estas aguas son inertes para la subsistencia. Para ello, se ha creado la estrategia de preservación y cuidado del agua, con la que se pretende mejorar estas situaciones de calidad, acceso y disponibilidad con el fin de que las especies y la población puedan gozar de un ambiente sano y seguro.

Siguiendo las problemáticas y las estrategias planteadas para su mitigación, se tienen las de conservación y la de reforestación, las cuales buscan disminuir la afectación a los ecosistemas por causa de la deforestación y cambios de usos del suelo, previniendo la disminución de los remanentes de bosques del municipio, por lo que su ausencia afecta la cantidad y calidad del agua, fauna, flora y se incrementan los deslizamientos, igualmente, la protección de bosques permite la captura de CO₂ y la disminución de los efectos adversos del cambio climático, lo cual con actividades como el cambio de cobertura por cultivos permanentes hace que este sea un proceso contrario.

De este modo, los factores climáticos que intervienen en el uso y la disponibilidad del agua en el municipio, corresponden principalmente a la temperatura, la precipitación, la evapotranspiración y la humedad relativa, para los cuales anteriormente se hizo la ponderación en el subcapítulo de clima, donde se tomaron los valores de los años 2000 a 2020, para conocer datos multianuales y mensuales multianuales, donde los resultados arrojados corresponden a un balance entre temperatura y precipitación, precipitación y evapotranspiración, temperatura y humedad relativa, indicando que estos se relacionan y que a medida que aumenta o hay una mayor temperatura la precipitación es menor, y cuando la precipitación es mayor la evapotranspiración disminuye, así mismo cuando los grados son más altos hay menor humedad relativa.

Teniendo en cuenta lo anterior, es importante resaltar que las lluvias pueden presentarse después de muchos días, ocasionando que el caudal de los ríos y quebradas sea menor, provocando que se deba hacer cortes y razonamiento del agua utilizada para las diferentes actividades, así como aquellas realizadas de forma no convencional como lavados de carros, surtidores de gasolina y las fábricas de procesamiento de alimentos. Para esto, se planteó la estrategia de preservación y cuidado del agua, con el fin de prevenir la contaminación, la baja disponibilidad y la degradación del agua en el municipio.

Así mismo, cuando hay presencia de precipitaciones constantes se tiene una mayor cantidad de agua en los ríos y una calidad del agua más baja, donde en ocasiones el agua que se recoge presenta coloración café por el movimiento de tierra (turbidez), causado por el caudal o actividades antrópicas, lo cual se presencia también en los grifos de las casas y por ende en la PTAP, imposibilitando el consumo del agua.

En otro panorama, partiendo de la geología y la hidrogeología con respecto a la ubicación del municipio, además de que aportan a la formación de montañas y el cauce de las fuentes de agua, permiten la formación de rocas, tipos de suelo (condicionamiento de la fertilidad del suelo), el almacenamiento y distribución del agua; con los cuales dieron origen a las diferentes estructuras geológicas.

Haciendo hincapié en las metodologías utilizadas para la evaluación de las diferentes huellas hídricas, en primer lugar, en el método de cálculo del ENA (2014), es importante resaltar que este no permite hacer mediciones de Huella Hídrica Gris para ningún sector productivo, es por ello que se utiliza la Guía Metodológica como otra base para su cálculo; así mismo, a nivel regional se consideran datos a escala general de la cuenca Carare Minero, mientras que el estudio realizado en la tesis permite conocer datos específicos, tanto para los tipos de procesos productivos y la subcuenca, ya que esta no tiene mediciones a nivel municipal.

Por otro lado, se tienen en cuenta los aspectos definidos en el ENA como una base para conocer la huella hídrica azul y verde, ya que nos da un panorama general de los resultados a nivel local, igualmente nos permite conocer los índices de escasez y la oferta del agua, sin embargo, para este estudio se evalúan diferentes parámetros que son contemplados, por la limitación de datos a nivel municipal y los datos que se conocen para Boyacá relaciona diferentes climas que se presentan en todo este territorio, lo cual hace que haya más desemejanza en los cálculos y datos comparativos, no obstante, ambas metodologías permiten conocer a un nivel general datos de consumo del agua y calidad, así como cierto grado de afectación tanto a ecosistemas, como las consecuencias ambientales de las actividades económicas del municipio.

Asociando la huella hídrica y sus resultados expuestos en porcentaje en la **Tabla 3-4**, se parte de la huella hídrica azul que se presenta en el consumo de agua para los sectores agrícola y pecuario los valores que se obtuvieron fueron de 1'054.548,67 m³/mes (32% respecto al sector) y 153.539,61 m³/mes (4% respecto al sector) respectivamente y para el doméstico, fue de 15.532,48 m³/año realizado con el método del IDEAM y 32.545,15 m³/año con el método de Arévalo & Campuzano.

Las variaciones de los dos métodos utilizados tienen que ver con los datos que se toman en cuenta, dado que para la forma de cálculo de Arévalo & Campuzano tiene presente el caudal de entrada de quince (15) acometidas ilegales aproximadamente, el caudal vertido por estas, caudal facturado por los consumidores, caudal vertido por los usuarios y otros datos, mientras el otro método, toma en cuenta únicamente la población del municipio y la dotación de agua por habitante, lo cual hace que aquel que toma mayores datos y de todas las fuentes de uso de agua es el que muestra una mayor precisión en sus valores correspondientes a esta huella.

Por otro lado, el agua que se usa para la dilución de agroquímicos para cada cultivo corresponde a valores más bajos de lo que se obtienen de la huella hídrica azul -agrícola, dado que los cálculos se basan en el área del cultivo y la evapotranspiración, sin tener en cuenta un valor exacto de uso del agua para esta actividad, pero, con la información suministrada por parte de los encuestados se tiene que el valor promedio de consumo de agua para esta actividad se encuentra en 1,2 m³/Ha-mes, lo cual haciendo una multiplicación por las hectáreas de cultivo sin contemplar pastos, por la ausencia aplicación de productos químicos, se tiene que el valor aproximado para esta actividad es de 1150,8 m³/mes, demostrando que en la parte de huella hídrica azul no se tiene un alto consumo de agua según corresponde las actividades y tradiciones del municipio.

Para la huella hídrica verde agrícola, con 63% de representación para el sector, se tiene que los cultivos permanentes más significativos del municipio son la Guayaba, la Guanábana, el Aguacate, los Cítricos y el Cacao, donde los valores más altos son por parte de la Guayaba con 3'481.778 m³/año y en menor cantidad por el Cacao con 61.859 m³/año. Por otra parte, para los cultivos de Pastos se cuenta con un valor de huella hídrica verde de 4'179.901 m³/año, sin embargo, dado que el municipio no tiene altos índices de riego hacia los cultivos permanentes; tomando el agua lluvia principalmente y algunas veces aspersión o surcos, estos valores representan la cantidad de agua que puede ser almacenada en el suelo por precipitación, sin necesidad de efectuar ningún riego, satisfaciendo la demanda de agua producida por los cultivos.

Por último, en cuanto a la huella hídrica gris de los tres sectores doméstico, agrícola y pecuario con valores de 246.110,32 m³/año, 2'208.125 m³/Ha-año y 3'426.737,5 m³/Ha-año respectivamente, contando que el sector doméstico toma en cuenta las acometidas

illegales y los vertimientos por los usuarios, así como los SST y el DBO₅ de los estudios de análisis de agua, no influye tanto en la contaminación como los otros dos sectores, para los cuales se tienen como datos base de máximo permisible el Nitrógeno, con los que se obtiene como mayor productor de este elemento y contaminación el sector pecuario por las altas concentraciones en sus desechos sin tratamiento o filtración, aunque el sector agrícola aporte por el uso de agroquímicos en los cultivos sus concentraciones son menores, ya que no todos los insumos contienen Nitrógeno en sus componentes de aplicación que en su mayoría es de forma foliar.

En resumen, la huella hídrica total (Huella Azul + Huella Verde + Huella Gris) que se requiere para el municipio perteneciente a la subcuenca del río Piedras y la cuenca Carare Minero, es de 3'808.561,1 m³/mes, refiere un valor bajo en comparación con el estudio realizado por (Arango, 2013) donde los valores obtenidos mensual corresponden a 123'925.522, 2 m³/mes del total de la huella hídrica calculada con una población mayor y con distintas actividades de consumo de agua. Es así que el municipio representa una pequeña parte de la huella hídrica de la subcuenca del río Piedras, donde seguramente los otros municipios tienen un valor mucho mayor, debido a los cambios en estos factores lo cual puede variar este índice.

Finalmente, para conocer la sostenibilidad y la disponibilidad del agua ofertada por la subcuenca y la demandada por las actividades humanas en el municipio, asociando el análisis ambiental realizado, se tiene que el valor del índice de escasez para la huella hídrica azul es del 13,79%, lo cual indica un valor moderado (Corponariño, 2012) donde la disponibilidad del agua se está convirtiendo en un factor limitador del desarrollo (Organización de Estados Americanos, 2004), y para el cual deben aplicarse medidas de gestión del agua.

Con esta gestión, se busca garantizar un uso sostenible del agua por parte de la comunidad, proteger y recuperar la calidad para el uso de especies y los ecosistemas, así como privilegiar el abastecimiento del agua principalmente para las comunidades, además de gestionar su demanda para establecer un uso eficiente de la misma, entre otros factores (Anavam, 2015), sin que se limite el uso y disponibilidad por contaminantes, exceso de

demanda, poca oferta y la escasa preservación y conservación de ecosistemas y fuentes hídricas.

En cuanto al índice de escasez de agua verde, teniendo en cuenta la alta demanda de agua por parte de los cultivos agrícolas siendo el sector que más consume agua, no tiene un periodo extremo mayor a diez (10) días que presencia baja disponibilidad de agua verde, ya que al ser una zona con temporadas de lluvia las condiciones climáticas permiten que la precipitación sea relativamente constante, es así que en días en que no hay estas condiciones la evaporación aumenta y a su vez la transpiración de las plantas, identificando una condición crítica con respecto a la cantidad de agua disponible para el desarrollo de las mismas.

Respecto al análisis ambiental del nivel de contaminación del agua mensual (NCA), de 4,19% significando un porcentaje relativamente bajo, en comparación al 100% que indica un nivel de asimilación excesivo, permite representar el grado de contaminación con respecto a una fuente hídrica, donde la capacidad de esta para asimilar los contaminantes sin que haya un daño significativo por químicos, coliformes, sólidos como la materia orgánica, vertidos y otros es alta.

En conclusión es necesario modificar los hábitos diarios para disminuir el consumo de agua e implementar nuevas metodologías que permitan al municipio mejorar las condiciones ambientales, principalmente en relación al agua, la calidad y su accesibilidad, adicionalmente es importante cuidar el entorno natural como los bosques dada su importancia a nivel ecológico, empezar a entender el daño y los riesgos que se están presentando actualmente y de los cuales se pueden prevenir o mitigar para evitar que sus efectos negativos sean mayores, afectando las especies y la población, ya que sus acciones son las principales causas de las problemáticas ambientales que se están llevando a cabo en el municipio.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

Dentro del conjunto de problemáticas ambientales presentes en el municipio de mayor importancia se tiene la contaminación hídrica, la deforestación y cambios de cobertura del suelo para cultivos agrícolas y ganadería, ocasionando una baja calidad y disponibilidad del agua para las especies presentes en el entorno.

La problemática más representativa en cuanto a calidad y cantidad del agua de la subcuenca, se relaciona principalmente con la contaminación hídrica por agroquímicos, sedimentos y aguas residuales domésticas, así como por la deforestación, donde se presentan sequías, menor retención de agua en fuentes y remoción e infiltración del suelo.

Los datos multianuales tomados para la investigación representan un régimen de temporadas de lluvia y secas, donde se presenta estacionalidad climática ocasionando menor disponibilidad de agua en temporadas secas y turbiedad en agua tratada y sin tratar en temporadas de lluvia.

Los cultivos tecnificados de las actividades agrícolas del municipio, presentan un índice de Huella Hídrica Verde mayor debido al volumen de agua que se requiere para la producción, se toma agua lluvia para riego y agua superficial para dilución de agroquímicos.

Las actividades domésticas y pecuarias representan los procesos con mayor huella hídrica gris, donde superan el 60% con respecto a las otras huellas, aportando significativamente a la contaminación de las fuentes hídricas, sin embargo, el análisis ambiental presenta valores menores al 5% y permite identificar que las fuentes aún pueden diluir los contaminantes desechados.

La oferta hídrica que se tiene por parte de las fuentes hídricas superficiales, de acuerdo con el análisis ambiental de la huella hídrica azul, indica que el potencial hídrico del municipio suple la demanda de las actividades desarrolladas en la subcuenca en un 80%, evidenciando un índice de escasez moderado del (13,9%).

El histórico de los 20 años de estudio, muestra cambios representativos en las actividades llevadas a cabo en el municipio, en donde la población ha aumentado en un 28,8% aproximadamente y por ende la infraestructura, economía y turismo, demandando grandes cantidades de agua y modificando el ambiente natural contribuyendo al daño ambiental.

Las cuatro estrategias planteadas (BPA, conservación, reforestación, preservación y cuidado del agua) son alternativas de solución para mitigar y prevenir el deterioro de los factores ambientales por actividades antrópicas, en donde los lineamientos establecidos y la integración de las estrategias, permiten minimizar el impacto ambiental presente en el municipio.

5.2 Recomendaciones

Se deben implementar las medidas planteadas en las estrategias relacionadas con gestión, protección, uso y demanda del agua para prevenir el riesgo de desabastecimiento a futuro en donde se determinen y tengan en cuenta los aspectos ambientales y las actividades desarrolladas, así como la información suministrada por estudios investigativos, con otro punto de vista de las problemáticas actuales y a las cuales deben hacerse un seguimiento y solución para prevenir un daño irremediable.

Aplicar estaciones de monitoreo para el análisis de calidad del agua, que permitan conocer los contaminantes reales presentes en el agua a consumir y de las fuentes hídricas, así como la implementación de mediciones de aforos de caudal para conocer la cantidad del agua en los cauces.

Adecuar la infraestructura de la PTAP y la PTAR para que tenga un óptimo funcionamiento en el municipio; y tomar medidas de control con respecto a acometidas ilegales y disposición de envases, empaques, residuos líquidos y sólidos en el ecosistema.

Dar a conocer la situación actual de las fuentes de agua superficiales a la población y de las acciones que pueden causar un riesgo para su calidad y cantidad, con motivos educativos, planteando nuevos proyectos para mejorar sus condiciones, al igual que la realización de actividades diarias básicas como la disminución de basuras, líquidos, contaminantes, entre otros, en fuentes o rondas de los ríos, evitando el daño a ecosistemas estratégicos del municipio.

A. Anexo: Normatividad aplicada al proyecto

A continuación, se pueden detallar más normativas aplicables para el presente proyecto, con el cual se relacionan leyes, resoluciones, políticas y otros al tema ambiental que se trata en todo el documento.

Tipo	Año	Entidad	Concepto
Decreto 1594	1984	Presidencia de la República	Por el cual se reglamenta parcialmente el título I de la ley 9 de 1979, así como el capítulo II del título VI - parte III - libro II y el título III de la parte III - libro I - del decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.
CONPES 2934. Política de Bosques	1996	Ministerio del Medio Ambiente	Comprende los ecosistemas boscosos y las áreas de aptitud forestal, los factores sociales que interactúan con éstos, las actividades de conservación, uso, manejo y aprovechamiento de los bosques. Este documento define estrategias generales para propiciar el uso sostenible, la conservación y la recuperación de los ecosistemas boscosos.
Resolución 865	2004	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Por la cual se adopta la metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas superficiales a que se refiere el Decreto 155 del 2004 y se adoptan otras disposiciones.
Resolución 2115	2007	Ministerio de Protección Social y MAVDT	Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.
Política Nacional para la Gestión Integral Ambiental del Suelo (GIAS)	2013	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Sirve como guía para orientar la Gestión Integral Ambiental del Suelo en el orden nacional y regional y aportar al desarrollo sostenible del país tomando como referente el enfoque del crecimiento verde.
Decreto 1071	2015	Ministerio de Agricultura y	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo

		Desarrollo Rural	Agropecuario, Pesquero y de Desarrollo Rural.
Política Nacional de Cambio Climático	2016	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Su objetivo es el de incorporar la gestión del cambio climático en las decisiones públicas y privadas para avanzar en una senda de desarrollo resiliente al clima y baja en carbono, que reduzca los riesgos del cambio climático y permita aprovechar las oportunidades que este genera.
Política para la Gestión Sostenible del Suelo	2016	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Permite promover el manejo sostenible del suelo en Colombia, en un contexto en el que confluyan la conservación de la biodiversidad, el agua y el aire, el ordenamiento del territorio y la gestión de riesgo.
Resolución 1571	2017	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	"Por la cual se fija la Tarifa Mínima de la Tasa por Utilización de Aguas".
Decreto 1090	2018	Presidencia de la República	"Por el cual se adiciona el Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con el Programa para el Uso Eficiente y Ahorro de Agua y se dictan otras disposiciones"
Guía de buenas prácticas para la gestión y uso sostenible de los suelos en áreas rurales	2018	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura	Fomenta la construcción participativa del diagnóstico de suelos Diseño de planes de intervención y las prácticas de manejo sostenible de los suelos
Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico	2010	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Establece los objetivos, estrategias, metas, indicadores y líneas de acción estratégica para el manejo del recurso hídrico en el país, en un horizonte de 12 años.
Resolución 957	2018	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	"Por el cual se adopta la Guía técnica de criterios para el acotamiento de las rondas hídricas en Colombia y se dictan otras disposiciones".

Fuente: Autor (2021).

B. Anexo: Datos básicos para el cálculo de las huellas

En el presente anexo se encuentran los datos relacionados con el balance hídrico que se encuentra en el apartado de clima, la nomenclatura e información numérica pertinente para efectuar el cálculo de la huella hídrica azul, verde y gris, a fin de conocer el resultado del cálculo para cada una de estas.

Datos requeridos para la ecuación del método de Thornthwaite y el balance hídrico

Mes	ETPmen	Temperatura mensual	Precipitación mensual	i
Enero	77,47	18,67	158,38	5,65
Febrero	72,44	18,73	137,66	5,67
Marzo	81,43	18,91	278,85	5,73
Abril	80,89	18,95	334,68	5,74
Mayo	83,86	18,92	267,85	5,73
Junio	82,04	19,00	131,29	5,75
Julio	83,99	18,94	105,68	5,73
Agosto	84,23	19,09	122,57	5,78
Septiembre	80,28	18,98	180,84	5,75
Octubre	81,04	18,85	316,34	5,71
Noviembre	77,68	18,82	291,17	5,70
Diciembre	79,20	18,70	194,65	5,66

Fuente: Autor (2022).

Así mismo, de acuerdo con las variables de la ecuación, se hallan los valores de alfa $\alpha=1,58$ y para la $l=68,60$. Igualmente, de acuerdo con los factores de corrección para el método, se tiene la siguiente tabla, la cual está definida para los diferentes meses del año y la latitud dependiente de la zona:

Factor de corrección, por duración media de horas de sol, expresada en unidades de 30 días, con 12 horas de sol.

Latitud	E	F	M	A	M	J _N	J _L	A	S	O	N	D	
Norte	50	0.74	0.78	1.02	1.15	1.33	1.36	1.37	1.25	1.06	0.92	0.76	0.70
	45	0.80		1.02	1.13	1.28	1.29	1.31	1.21	1.04	0.94	0.79	0.75
	40	0.84	0.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	1.04	0.96	0.83	0.81
	35	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	0.97	0.86	0.85
	30	0.90	0.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.20	1.14	1.03	0.98	0.89	0.88
	25	0.93	0.89	1.03	1.06	1.15	1.14	1.71	1.12	1.02	0.99	0.91	0.91
	20	0.95	0.90	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1.00	0.93	0.94
	15	0.97	0.91	1.03	1.04	1.11	1.08	1.12	1.08	1.02	1.01	0.95	0.97
	10	0.98	0.91	1.03	1.03	1.08	1.06	1.08	1.07	1.02	1.02	0.98	0.99
	5	1.00	0.93	1.03	1.02	1.06	1.03	1.06	1.05	1.01	1.03	0.99	1.02
0	1.02	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	
Sur	5	1.04	0.95	1.04	1.00	1.02	0.99	1.02	1.03	1.00	1.05	1.03	1.06
	10	1.08	0.97	1.05	0.99	1.01	0.96	1.00	1.01	1.00	1.06	1.05	1.10
	15	1.12	0.98	1.05	0.98	0.98	0.94	0.97	1.00	1.00	1.07	1.07	1.12
	20	1.14	1.00	1.05	0.97	0.96	0.91	0.95	0.99	1.00	1.08	1.09	1.15
	25	1.17	1.01	1.05	0.96	0.94	0.88	0.93	0.98	1.00	1.10	1.11	1.18
	30	1.20	1.03	1.06	0.95	0.92	0.85	0.90	0.96	1.00	1.12	1.14	1.21
	35	1.23	1.04	1.06	0.94	0.89	0.82	0.87	0.94	1.00	1.13	1.17	1.25
	40	1.27	1.06	1.07	0.93	0.86	0.78	0.84	0.92	1.00	1.15	1.20	1.29
	45	1.31	1.10	1.07	0.91	0.81	0.71	0.78	0.90	0.99	1.17	1.26	1.36
	50	1.37	1.12	1.08	0.89	0.77	0.67	0.74	0.88	0.99	1.19	1.29	1.41

Fuente: Guillot (2022).

Nomenclatura utilizada en el cálculo de la Huella Hídrica del sector doméstico.

Nomenclatura utilizada en el cálculo de la <i>Huella Hídrica</i>	
QCAP IMP [L/s]	Caudal importado a la cuenca
QCAP CUE [L/s]	Caudal captado de la cuenca
QEPTAP [L/s]	Caudal de entrada a la PTAP
Qempacado PTAP [L/s]	Caudal empacado en la PTAP
QVPTAP [L/s]	Caudal vertido por la PTAP
QDPTAP [L/s]	Caudal de salida para la distribución de la PTAP
QCF [L/s]	Caudal de consumo facturado
%P	Porcentaje de pérdidas
%FT	Porcentaje de fugas técnicas
%AI	Porcentaje de acometidas ilegales
QEAI[L/s]	Caudal de entrada de acometidas ilegales
QVAI [L/s]	Caudal vertido por las acometidas ilegales
C [mg/L]	Concentración de DBO ₅ , SST y NTK en cada una de las etapas
QVUSU [L/s]	Caudal vertido por los usuarios
Q Tra PTAR	Porcentaje del caudal que es llevado a una PTAR
QVPTAR [L/s]	Caudal vertido por los usuarios tratado por una PTAR
QVST [L/s]	Caudal vertido por los usuarios sin tratar
% R	Porcentaje de remoción de DBO ₅ , SST y NTK de la PTAR
HH	<i>Huella Hídrica</i> expresada en unidades de volumen/tiempo

Fuente: Arévalo & Campuzano (2013).

Área por tipo de cultivos presentes en el municipio.

Tipo de cultivo	Extensión (Ha)
Guayaba	394
Guanábana	269
Aguacate	144
Cítricos	145
Cacao	7
Pastos	473
Total	1432

Fuente: Agronet (2020).

- **Evapotranspiración mensual multianual, Huella Hídrica azul y verde.**

Mes	ETa (mm)
Enero	81,6
Febrero	78,5
Marzo	79,1
Abril	69,7
Mayo	71,2
Junio	69,5
Julio	82,3
Agosto	85,5
Septiembre	76,2
Octubre	67,6
Noviembre	58,5
Diciembre	64,0

Fuente: IDEAM (2021).

Huella hídrica azul

- **Huella hídrica azul del sector doméstico**

Parámetro	Valor
<i>Población (P)</i>	1576 habitantes
<i>Dotación (D)</i>	270 L/Hab-día
<i>Factor de conversión</i>	0,365
Q_{EIA}	3 L/s

Q_{VAI}	1,81 L/s
Q_{CF}	1,12 L/s
Q_{vusu}	1,19 L/s
$Q_{empacadoPTAP}$	0,92 L/s
FNR	10%

Fuente: Niño, S (2020).

- **Huella Hídrica azul total mensual multianual del sector agrícola.**

Mes	HH azul (m^3/mes)
Enero	1168512
Febrero	1124120
Marzo	1132712
Abril	998104
Mayo	1019584
Junio	995240
Julio	1178536
Agosto	1224360
Septiembre	1091184
Octubre	968032
Noviembre	837720
Diciembre	916480

Fuente: Autor (2021).

- **Huella Hídrica azul y verde del sector pecuario.**

Suponiendo que de las 783 cabezas de ganado se ocupan 4 de estas por Ha, se tiene que en total se requieren 196 Ha de pastos para consumo en el municipio, por ende, se realiza el cálculo de consumo de agua para las 196 Ha que se utilizan para ganado, teniendo en cuenta la ecuación de la huella hídrica verde del sector agropecuario $HH_{verde} = 10 * ETa_{verde} * As$ (3-6) y la tabla de evapotranspiración mensual. Con este valor tomado se tienen nuevos valores mensuales y el total que se relacionan a continuación, para tener un nuevo concepto del consumo de agua por los meses multianuales.

Mes	HH verde (m ³ /mes)
Enero	159936
Febrero	153860
Marzo	155036
Abril	136612
Mayo	139552
Junio	136220
Julio	161308
Agosto	167580
Septiembre	149352
Octubre	132496
Noviembre	114660
Diciembre	125440
Total	1732052

Fuente: Autor (2021).

A partir de la información anterior, para dar una equivalencia en cálculo por mes y no tomar un mes en específico, se divide el total por los doce meses, teniendo como resultado 144337,67 m³/mes, como se muestra en la siguiente tabla:

HHconsumo			
Animales	Ha de pasto consumido	Cabezas	m ³ /mes
Bovinos	196	783	144337,67
Total			144.337,67

Fuente: Autor (2021).

HHservidumbre			
Animales	L/cabeza-día	Cabezas	m ³ /mes
Bovinos	15	783	352,35
Gallinas	125	500	1875
Cerdos	300	300	2700
Total			4927,35

Fuente: Galeano & Rojas (2016). Programa Agropecuario Municipal (2020).

HHconsumo			
Animales	L/cabeza-día	Cabezas	m ³ /mes
Bovinos	42	783	986,58
Gallinas	12	500	180
Cerdos	12	300	108
Peces	10	10000	3000
Total			4274,58

Fuente: Galeano & Rojas (2016); Programa Agropecuario Municipal (2020).

Huella hídrica verde

- **Huella hídrica verde mensual multianual por tipo de cultivo.**

Mes/Cultivo	Guayaba	Guanábana	Aguacate	Cítricos	Cacao	Pastos
Enero	321504	219504	117504	118320	5712	385968
Febrero	309290	211165	113040	113825	5495	371305
Marzo	311654	212779	113904	114695	5537	374143
Abril	274618	187493	100368	101065	4879	329681
Mayo	280528	191528	102528	103240	4984	336776
Junio	273830	186955	100080	100775	4865	328735
Julio	324262	221387	229995	204978	5761	389279
Agosto	336870	229995	123120	123975	5985	404415
Septiembre	300228	204978	109728	110490	5334	360426
Octubre	266344	181844	97344	98020	4732	319748
Noviembre	230490	157365	84240	84825	4095	276705
Diciembre	252160	172160	92160	92800	4480	302720
Total	3'481.778	2'377.153	1'272.528	1'281.365	61.859	4'179.901

Fuente: Autor (2021).

Huella Hídrica gris

- **Datos referentes a la huella hídrica gris del sector doméstico:**

Parámetro	Valor
Q_{VPTAP}	3 L/s
C_{VPTAP}	1 mg/L
Q_{VAI}	1,81 L/s

C_{VAI}	1 mg/L
Q_{VST}	2,5 L/s
C_{VST}	105 mg/L
Q_{VPTAR}	3 L/s
C_{VPTAR}	67 mg/L
Q_{CAPCUE}	0,3 L/s
C_{CAPCUE}	34 mg/L
C_{MAX}	90 mg/L
C_{NAT}	34 mg/L

Fuente: Niño, S (2020).

- **Datos para el cálculo de la huella hídrica gris del sector agrícola.**

La información que se toma a continuación, corresponde al valor de Nitrógeno que contienen los fertilizantes usados al momento de realizar la actividad. El cual corresponde a 50g/L, con este se tiene en cuenta la cantidad de Kg de Nitrógeno presentes en los Lt de fertilizante, multiplicando este valor por los Lt aplicados por Ha; indicando los resultados ya con su respectiva conversión en la columna número 4 de la siguiente tabla:

Cultivo	Hectáreas	Litros de fertilizante/Ha al año	Kg de Nitrógeno * Lt de fertilizante	Kg/Ha de Nitrógeno
Guayaba	394	4	0,2	78,8
Guanábana	269	4	0,2	53,8
Aguacate	144	3	0,15	21,6
Cítricos	145	3	0,15	21,75
Cacao	7	2	0,1	0,7
Total				176,65 kg/Ha

Fuente: Autor (2021).

Conociendo los valores correspondientes de Nitrógeno para los diferentes cultivos, se toman los siguientes valores para ser aplicados en la respectiva fórmula:

Parámetros	Valores
L	176,65 kg/Ha
Cmax	0,0001 kg/m ³
Cnat	0,00002 kg/m ³

Fuente: Autor (2021).

Finalmente, para conocer el rendimiento de los cultivos, se toma la siguiente información suministrada de forma práctica por los agricultores y de forma teórica con datos de producción anual, los cuales corresponden a:

Cultivo	Área (Ha)	Producción (Ton/año)	Rendimiento (Ton/Ha-año)
Guayaba	394	15	5910
Guanábana	269	20	5380
Aguacate	144	6	864
Cítricos	145	10	1450
Cacao	7	0,35	2,45
Total			13606,5

Fuente: Agronet (2020).

- **Datos para el cálculo de la huella hídrica gris del sector pecuario.**

Con el fin de conocer el valor correspondiente a L: cantidad de heces de los animales, se saca el valor correspondiente al Nitrógeno en las heces, a fin de aplicar el cálculo correspondiente, para el cual se toman los siguientes valores:

Animal	Kg de heces	Cantidad de Nitrógeno por heces
Cerdo	1500	67,5
Bovino	6000	204
Gallinas	70	2,64
Total		274,14

Fuente: Agronet (1995); Molina, et al. (1998); Martínez (2017).

Teniendo en cuenta esta información los datos para usar en la respectiva ecuación, se presentan en la siguiente tabla:

Parámetros	Valores
L	274,14 kg/Ha
Cmax	0,0001 kg/m ³
Cnat	0,00002 kg/m ³

Fuente: Molina, et al. (1998); Martínez (2017).

C. Anexo: Encuesta aplicada a la comunidad del municipio

Encuesta elaborada por: Lina Mercedes Almenza Guzmán
Estudiante Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo – IDEA



ENCUESTA DE RECUPERACION DE INFORMACION PARA EL PROYECTO: PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES ASOCIADAS AL USO Y DISPONIBILIDAD DEL AGUA EN LA SUBCUENCA DEL RIO PIEDRAS DEL MUNICIPIO DE TUNUNGUÁ (BOYACÁ)

Objetivo: con la presente encuesta, se busca conocer la percepción del público general en cuanto al uso, disponibilidad y cambios en el ecosistema que se hayan presentado hasta la actualidad, a fin de hacer un comparativo y análisis de estos cambios en la oferta y demanda hídrica del municipio de Tununguá, Boyacá.

Nombre encuestado: _____
Edad: _____ Vereda: _____ Fecha: _____

Preguntas

1. ¿Identifica la fuente hídrica (quebrada, río, etc.) de donde toma el agua para el uso diario?
¿Puede especificar cuál es y el nombre de la fuente?

2. ¿Qué dispositivos de captación utiliza para acceder al recurso hídrico con el fin de realizar sus actividades diarias? Marque con una x. En caso de que la respuesta sea otros, mencione cuál.

- Bocatomos _____
- Mangueras _____
- Motobomba _____
- Planta de Tratamiento de Agua Potable _____
- Reservorios de agua _____
- Otro _____ ¿Cuál? _____

3. ¿Qué usos considera que se están dando al terreno del municipio? ¿Y en qué actividades?

Uso agrícola. Cultivos de:

Guayaba _____
Guanábana _____
Cítricos _____
Aguacate _____
Cacao _____
Café _____
Pastos _____
Pitahaya _____
Otro _____ ¿Cuál? _____

Uso pecuario.

Gallinas _____
Cerdos _____
Ganado _____
Peces _____
Otro _____ ¿Cuál? _____

4. De acuerdo con la respuesta anterior, ¿Qué cantidad de agua considera que utiliza para cada una de las diferentes actividades mencionadas a continuación?

Uso agrícola: (Marque con una X).

Consumo de agua/actividad	Guayaba	Cítricos	Aguacate	Cacao	Café	Pitahaya	Pastos	Otro
Menos de 1 m ³ /Ha								
1.1 a 1.5 m ³ /Ha								
1.6 m ³ a 2 m ³ /Ha								
Más de 2 m ³ /Ha								

Encuesta elaborada por: Lina Mercedes Almenza Guzmán
Estudiante Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo – IDEA



Uso pecuario: (Marque con una X).

Consumo de agua/actividad	Gallinas	Cerdos	Ganado	Peces	Otros
Menos de 1 m ³					
1.1 a 1.5 m ³					
1.6 a 2 m ³					
Más de 2 m ³					

Uso doméstico: (Marque con una X).

Consumo de agua/actividad	Lavado de ropa y lozas	Duchas e inodoros	Consumo en cocina	Riego de plantas	Otros
Menos de 1 m ³					
1.1 a 1.5 m ³					
1.6 a 2 m ³					
Más de 2 m ³					

5. A partir del uso del agua en las diferentes actividades agrícolas, ¿cómo hace el manejo del riego en sus cultivos en temporadas de poca lluvia?

- Riego por goteo _____
- Riego por aspersión _____
- Riego hidropónico _____
- Riego automático _____
- Riego por nebulización _____
- Riego por surcos _____
- No hace riego (únicamente de la lluvia) _____
- Otros _____ ¿Cuál? _____

6. ¿Qué cantidad de agua considera que utiliza el momento de hacer control de plagas y enfermedades a los cultivos mensualmente? ¿Y cuáles son?

Cantidad de agua utilizada para el control de plagas y enfermedades:

Menos de 0.5 m³/Ha _____
0.5 a 1 m³/Ha _____
1.1 m³ a 1.5 m³/Ha _____
1.6 m³ a 2 m³/Ha _____
Otro _____ ¿Cuál? _____

Cultivos en los cuales aplica estos elementos:

Guayaba _____ área del cultivo _____
Guanábana _____ área del cultivo _____
Cítricos _____ área del cultivo _____
Aguacate _____ área del cultivo _____
Cacao _____ área del cultivo _____
Café _____ área del cultivo _____
Pitahaya _____ área del cultivo _____
Pastos _____ área del cultivo _____
Otro _____ ¿Cuál? _____ área del cultivo _____

7. ¿Hace cuánto vive en el municipio? .

Menos de 2 años _____ De 11 a 20 años _____
2 a 5 años _____ De 21 a 50 años _____
De 6 a 10 años _____ Otro _____ ¿Cuánto? _____

8. Teniendo en cuenta el tiempo de residencia en el municipio, ¿Cree que la cantidad del agua en las fuentes hídricas (quebradas, ríos, etc.) ha:

Aumentado _____ No ha cambiado _____
Estable _____ Otro _____ ¿Cuál? _____
Disminuido _____

Encuesta elaborada por: Lina Mercedes Almanza Guzmán
Estudiante Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo – IDEA



9. ¿Cree que ha habido menor calidad del agua? Si su respuesta es sí, especifique.

Si ___ No ___ ¿Por qué? _____

10. ¿Con relación a lo anterior por qué tipo de actividades o usos cree que se han presentado esos cambios?

11. ¿Cómo considera que ha sido el cambio de la cobertura de los suelos por cause de las siguientes actividades? (Marque con una X).

<p>Cultivos agrícolas</p> <p>Aumentado ___</p> <p>Estable ___</p> <p>Disminuido ___</p> <p>No hay cambios ___</p> <p>Nuevas construcciones</p> <p>Aumentado ___</p> <p>Estable ___</p> <p>Disminuido ___</p> <p>No hay cambios ___</p> <p>Ganadería</p> <p>Aumentado ___</p> <p>Estable ___</p> <p>Disminuido ___</p> <p>No hay cambios ___</p>	<p>Uso pecuario</p> <p>Aumentado ___</p> <p>Estable ___</p> <p>Disminuido ___</p> <p>No hay cambios ___</p> <p>Área de Bosques</p> <p>Aumentado ___</p> <p>Estable ___</p> <p>Disminuido ___</p> <p>No hay cambios ___</p> <p>Otros usos: ¿Cuál? _____</p> <p>Aumentado ___</p> <p>Estable ___</p> <p>Disminuido ___</p> <p>No hay cambios ___</p>
--	--

12. De acuerdo con las actividades que conoce que se desarrollan en el municipio, sabe si existen otras actividades tales como:

- Lavaderos de autos ___
- Surtidores de gasolina ___
- Fabricas de procesamiento de alimentos ___
- Otras ___ ¿Cuál? _____

13. Si vive en la zona urbana ¿cuenta con algún cobro por uso del agua?

Si ___ ¿Cuál? _____

No ___

No aplica ___

14. Si vive en la zona rural ¿cuenta con algún cobro por uso del agua?

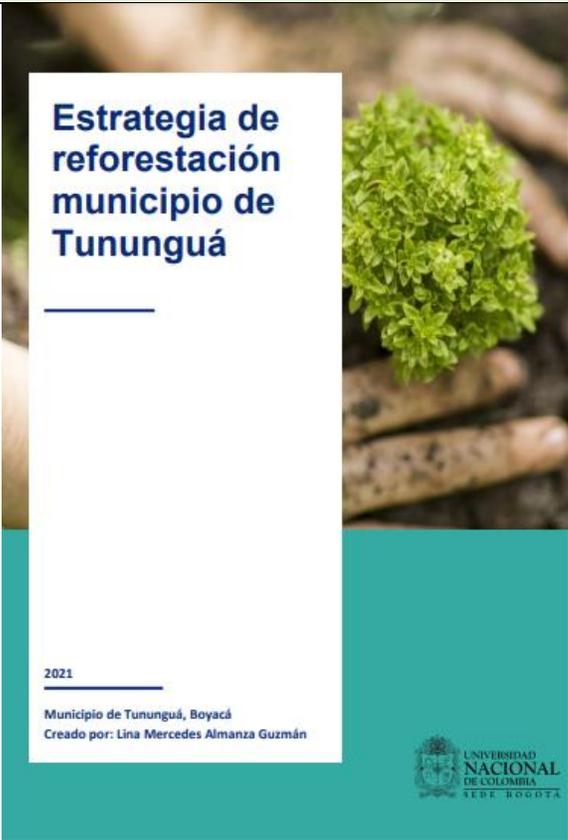
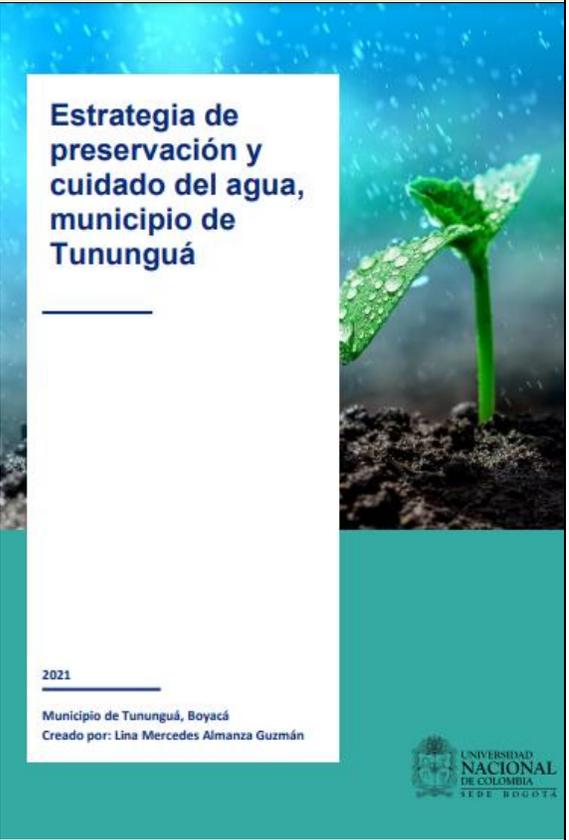
Si ___ ¿Cuál? _____

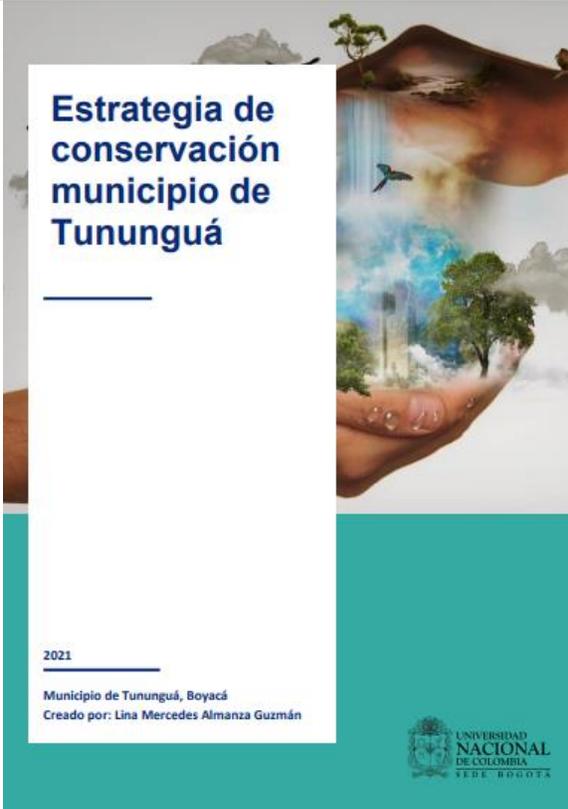
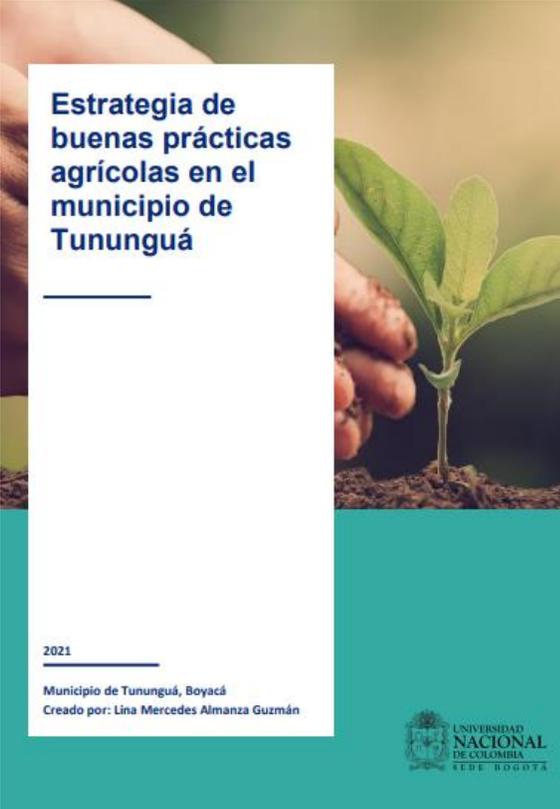
No ___

No aplica ___

D. Anexo: Estrategias propuestas para la planificación del agua

- Estrategias de planificación para diferentes ámbitos relacionados con las problemáticas del municipio de Tununguá, Boyacá:

Estrategia	
Link de acceso	
	
Estrategia de Reforestación.pdf	Estrategia de Preservación y Cuidado del Agua.pdf

Estrategia	
Link de acceso	
	
Estrategia de Conservación.pdf	Estrategia de Buenas Prácticas Agrícolas.pdf

Bibliografía

- Adalto Moreira, Helena Mirandola, Andrés Pinto, Eduardo Salinas, I. de O. (2020). Manejo integrado de cuencas hidrográficas : posibilidades y avances en los análisis de uso y cobertura de la tierra * Integrated Management of River Basins : Possibilities and Advances in the Analysis of Land Use and Land Cover Gestão integrada de bacias. Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía, 29, 69–85. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v29n1.76232>.
- Agronet. (1995). *Granja Integral Autosuficiente. Composición de los estiércoles* (Fundación Hogares Juveniles Campesinos (ed.); Issue 1). Disloque editores.
- Agronet. (2020). *Área de cultivos para el municipio de Tununguá, Boyacá* (p. 5). Ministerio de Agricultura.
- Agrosavia (2019). Cultivar de guanábana Agrosavia Fecunda. <https://www.agrosavia.co/productos-y-servicios/oferta-tecnol%C3%B3gica/0483-cultivar-de-guan%C3%A1bana-agrosavia-fecunda>
- Anavam (2015). La gestión del agua y eficiencia hídrica. Madrid, España. <https://anavam.com/la-gestion-del-agua-y-eficiencia-hidrica/>
- Arango, J. (2013). Determinación de la huella hídrica del sector doméstico en la cuenca del río Porce. Universidad Pontificia Bolivariana.
- Arévalo, D., & Campuzano., C. (2013). Guía metodológica de aplicación de huella hídrica en cuenca. *Agencia Suiza Para El Desarrollo y La Cooperación - COSUDE*, 121. http://www.suizaguacolombia.net/es/Inicio/media/GUIA_METODOLOGICA_HH_Cuenca.pdf
- Barón, E. (2017). Departamento de boyacá. In Informe de vigilancia de la calidad del agua para consumo humano (p. 12). Departamento de Boyacá.
- Beltrán, M., & Velázquez, E. (2015). La Ecología Política del agua virtual y la huella hídrica. *International Journal of Urban and Regional Research.*, 44–56.
- Builes, E. (2013). Cuantificación y Análisis de Sostenibilidad Ambiental de la Huella Hídrica Agrícola y Pecuaria de la Cuenca del Río Porce. *Universidad Nacional de Colombia Facultad de Minas, Departamento de Geociencias y Medio Ambiente.*, 90. http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/cuantificacion_y_analisis.pdf
- Castiblanco, C. (2007). *La economía ecológica : Una disciplina en busca de autor.* 3, 8.
- Chile Sustentable (2016). Caudal Ecológico mínimo para la supervivencia de los ecosistemas – YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=mJZAwU2YdgE&list=LL&index=4&t=3s>
- Concejo Municipal de Tununguá. (2016). Acuerdo 100.01.004. Plan de Desarrollo 2016-2019. *Sistema de Documentación e Información Municipal.*, 004(100).
- Congreso de la República de Colombia. (2019). “Por medio del cual se modifica el artículo 79 de la Constitución Política de Colombia.” (pp. 1–34). Senado de la República.

- Galeano, Lady, & Rojas, V. (2016). Propuesta de diseño de una planta de tratamiento de agua residual por zanjón de oxidación para el casco urbano del municipio de Vélez-Santander. Universidad Católica de Colombia.
- Geo portal. (2010). EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP) MEDIA ANUAL. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, 1–6.
- Gómez, M. (2016). Una aproximación a las contribuciones de Arturo Escobar a la ecología política. *Referencias Ambientales*, 101.
- Gómez, R. (2005). LOS RECURSOS AMBIENTALES : Una reflexión sobre su gestión en el desarrollo del Futuro. *Universidad de Granada*, 64, 1–15.
- González, F. J., De Guevara, L., & Cuéllar, J. V. (2013). Basic Concepts for rethinking environmental issues. *Gestión y Ambiente*, 16(2), 121–128. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/39572/41530>
- Grupo Biomedical. (2021). *Informe análisis de calidad del agua municipio de Tununguá* (p. 3).
- Hoekstra, A. Y., & Chapagain, A. K. (2006). Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern. *Water Resources Management*, 21(1), 35–48. <https://doi.org/10.1007/s11269-006-9039-x>
- IDEAM. (2015). *Estudio Nacional del Agua 2014*.
- IDEAM. (2018). Estudio Nacional del Agua 2018 (M. G. N. V. O. J. Marín (ed.); Instituto). Panamericana Formas e Impresos S.A.
- IDEAM. (2021). Reporte de datos estación Albania.
- Infoagro (2020). El cultivo de la Guayaba. https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_guayaba.asp
- Joaquín Molano; José Bautista. (1967). Calendario climatológico aeronáutico colombiano. SOCIEDAD GEOGRÁFICA DE COLOMBIA ACADEMIA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS, XXV, 1–9.
- Leff, E. (2003). La ecología política en América Latina: un campo en construcción. *CLACSO. Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales. Sociedade e Estado.*, 18(1–2), 17–40. <https://doi.org/10.1590/s0102-69922003000100003>
- León, C. (2014). PLANIFICACIÓN AMBIENTAL EN COLOMBIA El enfoque de Cuenca Hidrográfica. *Universidad Santo Tomás. Implementation Science*, 39(1), 1–15. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biochi.2015.03.025><http://dx.doi.org/10.1038/nature10402><http://dx.doi.org/10.1038/nature21059><http://journal.stainkudus.ac.id/index.php/equilibrium/article/view/1268/1127><http://dx.doi.org/10.1038/nrmicro2577>
- Mantilla, L. (2015). La Planificación Ambiental en Colombia. In *Universidad Santo Tomás*. Universidad Santo Tomás.
- Martínez, I (2017). La acumulación de estiércol en los pastizales ganaderos. INECOL- Red de Ecoetología. <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/17-ciencia-hoy/408-la-acumulacion-de-estiercol-en-los-pastizales-ganaderos#:~:text=Una%20vaca%20adulta%20produce%2012,500%20kilos%20en%20tres%20meses!>
- Molina, K. G., Caicedo, L., & Duque, C. (1998). Treatment of pig excreta using an SCFBR anaerobic reactor. 7–15.
- Niño, S. (2020). Programa de uso eficiente y ahorro del agua (PUEAA) para el municipio de Tununguá-Boyacá (pp. 0–165). Alcaldía de Tununguá.
- Organización de Estados Americanos. (2004). Metodología para el cálculo del índice de escasez de agua superficial (p. 27). Talleres de la Oficina Técnica de Administración del INEI.

- Organización Mundial de la Salud. (1996). ¿Qué calidad de vida? *Foro Mundial de La Salud*, 17(4), 385–387. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/55264/WHF_1996_17_n4_p385-387_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y%0Ahttps://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/55264/WHF_1996_17_n4_p385-387_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y%0Ahttp://apps.who.int/iris/bitstr
- Pegram, G., Conyngam, S., Orr, S., Álvarez, C., Germaná, C., Carlos, J., Ximena Gómez, R., Llerena, C. A., Rendón, E., Ramos, C., Chiock, F., Mariluz, J. P., León-Melgar, P., Ruiz, Lucía, Duss, J.-G., & Toranzo, C. (2015). Huella Hídrica del Perú: sector agropecuario. In *Biblioteca Nacional del Perú. Apoyo de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) y WWF*.
- Piragauta, E (2020). Mapa de Demanda Hídrica. IDEAM. <http://geoservicios.ideam.gov.co/CatalogoObjetos/queryByUUID?uuid=8a59783c-cfad-4c5a-b75d-14c355139d0d>
- Plan de Desarrollo Municipal. (2020). Plan de Desarrollo 2020-2023 (No. 17).
- POMCA. (2016). *Nuestra cuenca, territorio de vida 1 FASE DE DIAGNÓSTICO* (p. 14). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ministerio de Hacienda.
- POMCA. (2017). FASE DE APRESTAMIENTO (p. 84). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ministerio de Hacienda.
- POMCA. (2018). “ *Nuestra Cuenca, territorio de vida* ” (p. 5). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ministerio de Hacienda.
- Programa Agropecuario Municipal-PAM. (2020). PROGRAMA AGROPECUARIO MUNICIPAL -PAM “ PARA SEGUIR AVANZANDO ” 2020 -2023.
- Riquelme, C (2016). Los peces y la contaminación de los ríos. <https://www.abc.com.py/edicion-impres/suplementos/escolar/los-peces-y-la-contaminacion-de-los-rios-1491551.html>
- Sebastián Jaramillo, Francisco Molina, T. B. (2011). *Índices de escasez y de calidad del agua para la priorización de cuerpos de agua en los planes de ordenación del recurso hídrico. Aplicación en la jurisdicción de Corantioquia*. 10(19), 33–45.
- Secoin (2019). Humedad relativa: qué es y por qué es importante controlarla. <https://www.secoin.com.uy/blog/humedad-relativa-qu%C3%A9-es-y-por-qu%C3%A9-es-importante-controlarla>
- Seguí, L., García, D., & Guerrero, H. (2016). Huella Hidrica: análisis como instrumento estratégico de gestión para el aprovechamiento eficiente de los recursos hídricos. *Revista Ciencia Nicolaita*, July 2018. <https://www.cic.cn.umich.mx/index.php/cn/index>
- Servicios Ambientales S.A. (2016). Huella Hídrica. <http://huelladeciudades.com/calculadorasguayaquil/huellahidrica.html>
- Servicio Geológico Colombiano (2007). Mapa Geológico de Colombia 2007. http://srvags.sgc.gov.co/Flexviewer/Mapa_Geologico_Colombia/
- Zárate, E., Fernández Poulussen, A., & Kuiper, D. (2017). Guía metodológica para la evaluación de la huella hídrica en una cuenca hidrográfica. In *Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura - IICA*.