

Análisis de la sostenibilidad de las dos microcuencas la Zapatoca y el Ramo, que abastecen el municipio de Zapatoca, Santander por medio de la metodología de la Huella Hídrica.

Daniela Andrea Quintero Ospino, Mayra Yorleth Carreño Muñoz

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniera Civil

Director

Carlos Fernando Arenas Jiménez

Magíster en Ingeniería Civil

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División de Ingenierías y Arquitectura

Ingeniería Civil

2022

Dedicatoria

“Para comenzar un proyecto hace falta valentía y para culminar un proyecto hace falta perseverancia y amor. “

A Dios, por darme la fuerza para culminar una de mis principales metas de mi vida.

A mi madre, Yackelinne Ospino Quintero, por creer en mí, darme su inmenso amor y apoyo incondicional durante todas las etapas de mi vida, por la admiración que le tengo, y porque le debo todo lo que soy.

A mi hermana Caterine Quintero Ospino, por ser mi inspiración en estudiar esta hermosa carrera y por acompañarme en todos los momentos de mi vida.

A toda mi familia, que siempre me han demostrado amor y cariño, en especial a mi madrina Hortensia Ospino Quintero y mi tía Francy Helena Ospino Quintero que han sido un gran apoyo incondicional en todo mi proceso.

A mi gran amor, Stiven Medina Amaya por nunca soltar mi mano, por bríndame todo su amor, su paciencia, sus palabras de aliento, y su apoyo incondicional en todos los aspectos de mi vida.

A Dayanna Fuentes, Viviana Diaz, Daniela Alvarez y Nelson Ramirez por ser mi apoyo, mis compañeros, mis amigos, confidentes, psicólogos, y sobre todo por hacer más divertida y fácil esta etapa de mi vida.

Daniela Andrea Quintero Ospino

Dedico esta tesis primeramente a Dios por ayudarme a culminar esta obra e inspirarme en este proceso. A mis padres por ser mi motor, en especial a mi madre por haberme apoyado en cada uno de mis pasos y enseñarme buenos valores, por la motivación constante que permitieron que hoy en día sea la persona que soy y por su amor incondicional, a Luis vergel mi amor eterno por apoyarme en cada paso y ser mi pilar para lograr llegar hasta aquí.

Mayra Yorleth Carreño Muñoz

Agradecimientos

Quiero agradecer a la Universidad Santo Tomás, y en especial a la Facultad de Ingeniería Civil por darme la oportunidad de cumplir este sueño.

Un profundo agradecimiento a todos mis docentes, que durante toda mi carrera aportaron a mi formación humana y profesional y en especial a mi querido profesor y Sensei Carlos Arenas por compartir su sabiduría, enseñar con amor, pasión, por su amistad y aprender amar el entorno natural que me rodea.

Daniela Andrea Quintero Ospino

Contenido

Introducción	16
1. Análisis de la sostenibilidad de las dos microcuencas la Zapatoca y el Ramo, que abastecen el municipio de Zapatoca, Santander por medio de la metodología de la Huella Hídrica.	17
1.1. Planteamiento del problema.....	17
1.2. Objetivos.....	19
1.2.1 Objetivo general.....	19
1.2.2 Objetivos específicos.....	19
1.3. Justificación	19
2. Marco referencial.....	21
2.1. Estado del Arte	21
2.2. Marco teórico.....	22
2.3. Marco conceptual	24
2.4. Marco legal.....	26
3. Metodología.....	28
3.1. Procedimiento dividido en etapas	29
3.2. Desarrollo metodológico	30
3.3. Cálculo de la HH total del municipio de Zapatoca	31
3.3.1 Delimitación del área de estudio	31
3.3.2 Recolección de datos del IDEAM y procesamiento de información en ARGIS	33
3.3.3 Búsqueda del mapa de usos de suelo	33
3.3.4 Búsqueda de información del sector económico	33

CÁLCULO DE LA HUELLA HÍDRICA DEL MUNICIPIO DE ZAPATOCA	5
3.3.5 Recolección de datos de la población	34
3.3.6 Cálculo de caudal medio	34
3.3.7. Aplicación de mecanismos de cuantificación de la HH	35
3.4 Analizar la sostenibilidad de la HH total calculada.	36
3.4.1 Análisis del balance hídrico del área de estudio	36
3.4.2 Identificar el requerimiento hídrico de cultivos	38
3.4.3 Identificar el consumo hídrico de la población	38
3.4.4 Calculo del caudal Ecológico	38
3.4.5 Comparación del caudal medio con el caudal ecológico necesario	39
3.4.6 Identificar si existe la ineficiencia del agua	39
3.4.7 Análisis de la demanda y la oferta	40
3.4. Analizar los resultados de la huella hídrica y clasificar los sectores según su estado.	40
3.5. Definir y desglosar actividades y tareas de los actores del Plan de acción	41
4. Resultados.....	41
4.1. Delimitación del área de estudio	41
4.2. Recolección de datos meteorológicos	44
4.3. Búsqueda y acotejo de información.....	47
4.3.1 Mapa de uso de suelos y modelo de elevación	48
4.3.2 Actividad Económica del municipio	52
4.4. Procesamiento de la información.....	55
4.5. Recolección de datos de la población.....	59
4.6. Consumo hídrico poblacional.....	60

4.7. Requerimiento hídrico de los cultivos	61
4.8. Datos de suelos.....	66
4.9. Cálculo del caudal medio anual y mensual	66
4.10. Cálculo del caudal ecológico	69
4.11. Comparación del caudal medio con el caudal Ecológico	72
4.12. Aplicación de mecanismo para el cálculo de la HH.....	73
4.12.1 Huella azul.	75
4.12.2 Huella hídrica verde	79
4.12.3 Huella hídrica gris	81
4.12.4 Huella total.	83
4.13. Plan de Acción para el ahorro y uso eficiente del recurso hídrico.....	85
4.13.1 Educación ambiental.	85
4.13.2 Adaptación de dispositivos ahorradores	86
4.13.3 Implementación de tecnologías ahorradoras en el sector agrícola.	87
4.13.4 Normativo	89
5. Conclusiones.....	90
Referencias.....	93
Apéndices.....	97

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Marco legal según la constitución política de Colombia</i>	27
Tabla 2. <i>Fases metodológicas del proyecto de investigación</i>	30
Tabla 3. <i>Desarrollo metodológico del proyecto de investigación</i>	30
Tabla 4. <i>Precipitación promedio mensual y anual.</i>	45
Tabla 5. <i>Temperatura mínima promedio mensual y anual.</i>	46
Tabla 6. <i>Temperatura máxima promedio mensual y anual.</i>	47
Tabla 7. <i>Hoteles del municipio de Zapatoca.</i>	53
Tabla 8. <i>Restaurantes del municipio de Zapatoca</i>	54
Tabla 9. <i>Cantidad Poblacional del municipio de Zapatoca.</i>	59
Tabla 10. <i>Clima de Zapatoca.</i>	61
Tabla 11. <i>Precipitación de Zapatoca.</i>	62
Tabla 12. <i>Cultivos de Zapatoca</i>	65
Tabla 13. <i>Precipitación mensual.</i>	68
Tabla 14. <i>Caudal ecológico.</i>	70
Tabla 15. <i>Cultivo de Café anual.</i>	73
Tabla 16. <i>Huella Hídrica total por sectores</i>	84
Tabla 17. <i>Programa de Educación Ambiental doméstica.</i>	85

Lista de figuras

Figura 1. <i>Mapa delimitación de la microcuenca el ramo.</i>	32
Figura 2. <i>Matriz de objetivo ambiental.</i>	39
Figura 3. <i>Volumen de caudal ecológico.</i>	39
Figura 4. <i>Mapa delimitación zona de estudio.</i>	42
Figura 5. <i>Mapa delimitación microcuenca.</i>	43
Figura 6. <i>Mapa delimitación de la microcuenca el ramo.</i>	44
Figura 7. <i>Mapa uso de suelos municipio de Zapatoca.</i>	49
Figura 8. <i>Leyenda uso de suelos municipio de Zapatoca.</i>	50
Figura 9. <i>Mapa de pendientes del municipio de Zapatoca.</i>	51
Figura 10. <i>Leyenda de pendientes.</i>	52
Figura 11. <i>Esquema de Información sectores económicos del municipio de Zapatoca en la actualidad.</i>	53
Figura 12. <i>Mapa de isotermas del municipio de Zapatoca.</i>	56
Figura 13. <i>Mapa de isoyetas del municipio de Zapatoca.</i>	57
Figura 14. <i>Mapa de balance hídrico del municipio de Zapatoca.</i>	58
Figura 15. <i>Consumo promedio mensual</i>	61
Figura 16. <i>Factor de agotamiento.</i>	64
Figura 17. <i>Suelo en Cropwat.</i>	66
Figura 18. <i>Mapa de coeficiente de escorrentía.</i>	67
Figura 19. <i>Caudal medio recolectado.</i>	69
Figura 20. <i>Caudal ecológico.</i>	71
Figura 21. <i>Q Medio Vs Q Ecológico.</i>	72

Figura 22. <i>Huella hídrica azul mensual por sectores.</i>	76
Figura 23. <i>Huella azul total mensual.</i>	76
Figura 24. <i>Huella azul anual por sectores.</i>	77
Figura 25. <i>Huella hídrica azul Vs oferta de agua azul mensual.</i>	78
Figura 26. <i>Huella hídrica azul Vs oferta de agua azul mensual.</i>	79
Figura 27. <i>Huella verde de los cultivos mensual.</i>	80
Figura 28. <i>Huella hídrica verde mensual por cultivo. Vs disponibilidad de agua verde mensual.</i>	81
Figura 29. <i>Huella gris mensual.</i>	82
Figura 30. <i>Huella Gris Total.</i>	83
Figura 31. <i>Huella total de Zapatoca</i>	84

Resumen

El municipio de Zapatoca, Santander, es una población donde se presentan fenómenos como El niño y es afectado por cambios climáticos, de igual manera el aumento en la demanda del recurso hídrico debido al crecimiento turístico y poblacional han generado escasez de este, seguido de esto no dispone de infraestructura hidráulica apta, ni información climática relevante para mitigar estos riesgos.

En este estudio se calculó la huella hídrica del municipio, donde se efectúa un análisis para evaluar la gestión del recurso hídrico del municipio como metodología para generar un análisis de la sostenibilidad hídrica del municipio y de esta manera compáralo con la oferta capaz de generar las dos microcuencas la Zapatoca y el Ramo, mismas que abastecen la zona rural y urbana del municipio.

Para llevar a cabo lo antes mencionado fue necesario conocer el estado actual del área de estudio, donde se consultaron características climatológicas, usos de suelos del municipio, cobertura vegetal, caudales promedios de las quebradas que abastecen el municipio entre otros.

Una vez contextualizada el área de estudio se ejecutó la metodología para el cálculo de la huella hídrica del municipio, que consistió en la recopilación, organización y análisis de datos climatológicos, geográficos, y de oferta y demanda de consumos hídricos, los cuales mediante el uso de métodos de complementación teórica e incorporados en la base de datos del software Argis, Cropwat y climat soil.

En los resultados obtenidos del cálculo de la huella hídrica se identificaron los sectores económicos que representan un alto consumo hídrico que en este caso fue el sector agrícola además que al realizar la comparación de la oferta y la demanda de dichos sectores, estos se convierten en insostenibles, ya que la oferta generada por las microcuencas la Zapatoca y el ramo, no son

suficientes para abastecer el sector agrícola y pecuario, especialmente en los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre.

Palabras claves: balance hídrico, consumo, indicador de consumo, huella hídrica, recurso hídrico

Abstract

The municipality of Zapatoca, Santander, is a population where phenomena such as El Niño occur and is affected by climate change, in the same way the increase in the demand for water resources due to tourism and population growth have generated a shortage of this, followed by this It does not have suitable hydraulic infrastructure, nor relevant climate information to mitigate these risks. In this study, the water footprint of the municipality was calculated, where an analysis is carried out to evaluate the management of the municipality's water resources as a methodology to generate an analysis of the water sustainability of the municipality and in this way compare it with the offer capable of generating the two the Zapatoca and Ramo micro-basins, which supply the rural and urban areas of the municipality.

To carry out the aforementioned, it was necessary to know the current state of the study area, where climatological characteristics, land uses of the municipality, vegetation cover, average flows of the streams that supply the municipality, among others, were consulted.

Once the study area was contextualized, the methodology for calculating the water footprint of the municipality was executed, which consisted of the collection, organization and analysis of climatological, geographic data, and supply and demand of water consumption, which through the use of theoretical complementation methods and incorporated in the database of the Argis, Cropwat and Climat Soil software.

In the results obtained from the calculation of the water footprint, the economic sectors that represent a high water consumption were identified, which in this case was the agricultural sector, in addition to making the comparison of the supply and demand of said sectors, these become unsustainable. , since the supply generated by the Zapatoca and Ramo micro-basins are not

sufficient to supply the agricultural and livestock sector, especially in the months of January, February, November and December.

Keywords: water balance, consumption, consumption indicator, water footprint, water resource.

Glosario

Balance hídrico: cálculo cuantitativo entre los aportes de agua entrante, almacenada y saliente en el dominio hidrológico y en un intervalo de tiempo determinado, como expresión del principio de continuidad o conservación de la materia.

Cobertura vegetal: la cantidad de follaje que cubren una determinada porción de suelo. Esto determinará la cantidad de luz solar que llega a ese suelo.

Déficit hídrico: un período de sequía inusual, lo suficientemente largo como para causar escasez de agua, que se refleja en una marcada reducción en los caudales de los ríos y los niveles de los lagos y/o niveles por debajo de lo normal (RT) en el agotamiento de la humedad del suelo y la disminución de las aguas subterráneas.

Escorrentía: agua de lluvia o de riego que no puede penetrar en el suelo y fluir a lo largo de su superficie.

Estaciones meteorológicas: se entiende por estación meteorológica el lugar donde se realizan determinadas observaciones y mediciones de diferentes parámetros meteorológicos con instrumentos adecuados para determinar el comportamiento de la atmósfera en distintas zonas del territorio.

Huella hídrica: corresponde a la cantidad de agua utilizada para el proceso antrópico, que no regresa a la cuenca donde se extrajo el agua o regresa en una cantidad diferente a la original, a diferencia del agua virtual, que es cuantitativamente equivalente a la huella hídrica de un producto, las huellas hídricas ofrecen la posibilidad de un análisis multidimensional, espacial y temporal explícito destinado a comprender las interacciones entre las actividades humanas y la relación entre el agua y las cuencas hidrográficas.

Isoyetas: una representación cartográfica de la curva a lo largo del tiempo para puntos de la tierra con la misma tasa de lluvia promedio.

Isoterma: una línea que conecta puntos en el mapa con la misma temperatura.

Modelo de elevación digital: una estructura con valores de datos numéricos representados y distribuidos espacialmente, donde el atributo de elevación (valor Z) corresponde a la superficie en el suelo y el valor (valor X, Y) corresponde a la ubicación, dada la ubicación espacial en una representación proyectada de la geografía del sistema.

Oferta Hídrica Total Superficial: corresponde a la cantidad de agua que brota de la superficie del suelo por unidad de tiempo, que no se infiltra ni se evapora, sino que se concentra en el cauce de un arroyo o en un cuerpo de agua inmóvil en una unidad hidrológica, cuyos usos pueden ser consumos humanos y consumo doméstico, sectores económicos, ecosistemas y Mantenimiento de sistemas de aguas superficiales

Oferta Hídrica Disponible: la cantidad promedio de agua que se sustrae del suministro total de agua superficial, es decir, la cantidad de agua que asegura el funcionamiento normal de los ecosistemas y sistemas fluviales, y en cierta medida el caudal mínimo para los usuarios dependientes del agua asociados con estos ecosistemas.

Precipitación: agua de la atmósfera, depositada en la superficie terrestre en forma líquida o sólida, lluvia, nieve o granizo.

Introducción

La presente investigación busca desarrollar el concepto de huella hídrica, en el campo de la sostenibilidad hídrica, con el objetivo de analizar las posibles amenazas a las que se ve expuesta el área de estudio y cuáles son las alternativas de soluciones o intervenciones a corto y largo plazo.

La huella se define como un indicador de impactos asociados a las actividades del ser humano en el medio ambiente, es por eso que en 2002 el profesor Arjen Hoekstra de la Universidad de Twente (Holanda) dio vida al concepto “ huella hídrica” y desde entonces han surgido diferentes iniciativas que empujan dicho concepto por múltiples direcciones; la huella hídrica es una metodología de la cual se generan indicadores esenciales en el cálculo de la sostenibilidad y el uso de los recursos naturales por parte del ser humano, esta se define como aquel indicador multidisciplinar que se puede calcular para un producto, población o proceso con el fin de analizar el consumo directo o indirecto del recurso hídrico asociado [1], en esta investigación la huella hídrica es la herramienta principal en la cual se efectuaron indicadores de consumo que permitieron obtener información sobre las características del área de estudio, que en este caso es el municipio de Zapatoca, Santander, el cual cuenta con alrededor de 12500 habitantes y es uno de los municipios turísticos del departamento, lo que lo hace vulnerable ante la capacidad de suministrar el recurso hídrico, es por tal razón que esta investigación se basa en dicha metodología para realizar un análisis de la capacidad de oferta de las microcuencas el ramo y la Zapatoca que suministra el recurso, y a su vez la cantidad del recurso hídrico utilizado por la población y la vulnerabilidad y calidad del sistema, para lograr dar a conocer los impactos asociados y las posibles recomendaciones aplicables en dicho caso.

1. Análisis de la sostenibilidad de las dos microcuencas la Zapatoca y el Ramo, que abastecen el municipio de Zapatoca, Santander por medio de la metodología de la Huella Hídrica.

1.1. Planteamiento del problema

El agua tiene múltiples usos y necesidades contrapuestas, por lo que, para asegurar la supervivencia futura de las personas y los organismos, su gestión debe basarse en la integridad del ciclo hidrológico y el acuerdo entre los usuarios, priorizando las necesidades y derechos de la naturaleza, la soberanía alimentaria y el desarrollo local.[1].

La mayor parte de los expertos en temas de huella hídrica (HH), suelen admitir que los conflictos hídricos no se deben normalmente a la escasez física del agua sino a la inadecuada gestión, que realizan los poderes públicos de este recurso; además es importante considerar que el porcentaje global de agua dulce es del 2.5% y la presión sobre la demanda de los recursos ha aumentado considerablemente tanto en el mundo como en el municipio de Zapatoca, de manera que en los últimos años se han venido presentando afectaciones en cuanto a la prestación del servicio hídrico [3].

En el municipio de Zapatoca se presenta mala gestión de los recursos hídricos, y a su vez está ocasionando afectaciones a las dos microcuencas que lo abastecen, (microcuenca la Zapatoca y microcuenca el Ramo), las principales causas de estas afectaciones son la falta de indicadores de consumo por la deficiencia en planes de manejo y ordenamiento, sumándole el aumento en la demanda del recurso debido al crecimiento turístico y poblacional, también se destaca que la oferta de la cuenca se ha visto afectada por factores como las temporadas largas de bajas precipitaciones, acompañada de fenómenos como el del niño y añadiéndole a esto el cambio climático [4].

Todo esto conlleva a que el municipio de Zapatoca se presente racionamiento del recurso hídrico, debido a la desfavorable gestión que se le realiza al recurso que abastece el municipio, siendo esto un problema para toda la comunidad en general, al mismo tiempo puede llegar a afectar las instalaciones del acueducto que suministra a Zapatoca, y ser una dificultad para los entes gubernamentales como para las entidades de salud.

Investigaciones demuestran que en la actualidad la agricultura representa aproximadamente el 92% del consumo anual mundial de agua dulce [5]. Por lo anterior, la presente investigación tiene como objetivo estimar la HH total de las dos microcuencas la Zapatoca y el Ramo, que abastecen el municipio de Zapatoca, para generar indicadores que permitan estimar el consumo del recurso, su sostenibilidad y de esta manera desarrollar estrategias para mejorar la gestión del recurso hídrico en el municipio.

Teniendo en cuenta lo planteado anteriormente surge la siguiente pregunta de investigación, ¿la determinación de la HH total del municipio de Zapatoca, Santander, puede usarse como base para la realización de un análisis investigativo, acerca de la sostenibilidad de la gestión y eficiencia de los recursos hídricos?, la cual se resolverá en el avance de dicha investigación.

1.2.Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Determinar la sostenibilidad hídrica del municipio de Zapatoca, Santander, utilizando los indicadores de la Huella Hídrica.

1.2.2 Objetivos específicos

- Calcular la Huella hídrica del municipio de Zapatoca, Santander.
- Evaluar la gestión del recurso hídrico a partir de los indicadores generados con el estudio de la huella hídrica.
- Identificar los sectores más críticos de acuerdo con el análisis de los indicadores de consumo generados a partir del estudio de la huella hídrica del municipio de Zapatoca.
- Establecer un plan de acción para el ahorro y uso eficiente del agua para el sector agrícola y doméstico.

1.3. Justificación

La determinación de la HH se puede utilizar como un indicador de consumo [1]. Siendo una herramienta que permite a los entes municipales y al acueducto comparar y evaluar su impacto en los recursos hídricos. Midiendo la HH, se puede determinar la cantidad de agua consumida en el Municipio de Zapatoca, sobre esta base, se puede formular una estrategia de racionalización e indicadores de consumo sostenibles para enfrentar una posible crisis y prevenir un impacto grave en el suministro de agua debido a la escasez del recurso en el municipio.

Adicionalmente, puede utilizarse como una herramienta para el análisis futuro de la sostenibilidad de la HH, pues dicho análisis proporcionaría datos sobre donde y cuando se usa el agua, así mismo los datos de consumo se pueden comparar con la oferta de agua que ofrecen las fuentes hídricas locales.

Si bien se sabe el desarrollo económico del país mejora el nivel de vida de las personas. Sin embargo, también trae consecuencias en los recursos naturales, es un problema que afecta directamente las condiciones de población, insalubridad, falta de servicios públicos, abuso de suelo. La visión del desarrollo sostenible es la "medición" de la HH en la unidad de planificación de bienes y servicios ambientales, en otras palabras, el esquema de ordenamiento territorial y en la ordenación de la cuenca hidrográfica [6].

En Colombia, estudios como ENA, proporcionaron información relevante dicho estudio refleja que las cuencas se encuentran en un estado crítico debido a la alta presión de uso de los recursos hídricos, defectos en la gestión de la conservación del agua, vulnerabilidad a la escasez en diferentes regiones del país [7].

Estos índices brindan información sobre la capacidad de la cuenca para retener agua, la cantidad de agua utilizada y la vulnerabilidad y calidad del sistema de agua que mantiene el sistema de suministro de agua.

Frente a las necesidades de desarrollo, los problemas de los pobladores de las zonas rurales, el potencial natural que tiene y las oportunidades de crecimiento que brindan los mercados nacionales e internacionales, la agricultura de Colombia ha tenido un desempeño deficiente de la determinación de indicadores (como la HH de un sector específico como la agricultura) puede dar a las personas la idea de gestionar los recursos hídricos en el sector, lo que ayuda a la toma de decisiones de la autoridad competente y permite el descubrimiento de una unidad de planificación

regional (incluso en la cuenca). El método de generar sostenibilidad hídrica es la mejor forma de analizar los procesos que se desarrollan. [8] con base en todo lo anterior este estudio busca calcular la huella hídrica del municipio de Zapatoa, Santander, para analizar su sostenibilidad, y a partir de esto conocer y analizar escenarios del uso y la gestión del recurso a largo plazo.

2. Marco referencial

2.1. Estado del Arte

En cuanto a los antecedentes de la HH, se pueden destacar Hoekstra y Hung, quienes introdujeron el concepto de HH como indicador que vincula el uso del agua con el consumo humano. Unos años más tarde [9], propuso un método de cálculo de la HH para diferentes niveles de análisis en un trabajo titulado "Huella hídrica" Manual de Evaluación". También propone lineamientos que pueden ayudar a lograr condiciones de sustentabilidad para reducir el uso de agua. Esta investigación contribuye a la construcción teórica y metodológica que sustenta el trabajo de esta investigación.

A lo largo de los años, se ha introducido nueva terminología e investigaciones más amplias, como el estudio realizado por [10]. que midió la HH de algunos cultivos, clasificando la HH en tres partes: HH azul, HH verde y HH gris. El resultado de este estudio es que la HH de la producción agrícola global durante el período anterior fue de 7.404 mil millones de metros cúbicos por año, de los cuales el 78% corresponde a la huella verde y el 12% a la huella azul y una huella gris del 10%. El trigo y el arroz tienen la huella azul más grande; a nivel nacional, los países con la HH total más alta son India, China y Estados Unidos.

Para el caso de Colombia, en 2012, se realizó el primer estudio nacional de la HH mundial, liderado por el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF, su abreviatura en inglés). Colombia, "Viendo la agricultura colombiana desde la HH" [11], estimaron la HH de diez cultivos importantes a partir de un estudio denominado "Estudio Nacional de Huella Hídrica del Sector Agropecuario en Colombia" [12] .

Tiempo después se realizó otro trabajo investigativo, llamado "Evaluación de la Huella Hídrica de la Cuenca del Porce", para lo cual se estableció un equipo interdisciplinario que cuantifico la HH de diferentes sectores económicos, agropecuario, industrial, energético, y de minería, para analizar su sostenibilidad y finalmente formular estrategias de respuesta en base a los resultados obtenidos [13] .

Para finalmente culminar el estudio a nivel nacional, se llevó a cabo un trabajo de explicación y análisis de ciertos indicadores relacionados con la producción, el consumo y la contaminación, y mencionar el tema de los recursos hídricos; para ello, se obtuvieron datos de diversos organismos internacionales y nacionales e Investigaciones, incluidos un estudio nacional de la HH de Colombia. [14] .

2.2. Marco teórico

La HH o huella de agua se define como la cantidad total de agua dulce utilizada para producir bienes y servicios que produce una empresa o que consume un individuo o una comunidad. El uso del agua se mide en términos de consumo de agua, evaporación o contaminación por unidad de tiempo para individuos y comunidades y por unidad de volumen para empresas. Las huellas hídricas se pueden calcular para grupos definidos de consumidores (individuos, familias, ciudades, estados, provincias, países, etc.) o fabricantes (como agencias

gubernamentales), empresas privadas o sectores económicos. Una huella hídrica es un indicador geográfico distinto que indica no solo el uso y la contaminación del agua, sino también la ubicación. Sin embargo, las huellas hídricas no brindan información sobre cómo el consumo de agua afecta positiva o negativamente los recursos hídricos locales, los ecosistemas y los medios de vida. Después de que Hoekstra introdujera el concepto 'HH' en 2002, la idea de observar el uso del agua a lo largo de la cadena de suministro cobró fuerza.

WF es un indicador del uso de agua dulce que es evidente no solo en el uso directo del agua por parte del consumidor o del productor, sino también en el uso indirecto. La HH puede considerarse un indicador global del uso de los recursos de agua dulce, que va más allá de las medidas tradicionales y los límites de las extracciones de agua [15].

El municipio de Zapatoca, conocido como la "Ciudad del Clima Sedoso" o "Ciudad de Levi", está ubicado en el corazón del departamento de Santander, al suroeste de la capital departamental. Zapatoca se encuentra a 52 km de la ciudad de Girón, de los cuales 45 se encuentran pavimentados y en buen estado, los 7 restantes se encuentran en buen estado. Durante el recorrido, atravesará parte del cañón del río Sogamoso, llamado así por la confluencia de los ríos Suárez y Chicamocha. Zapatoca, a una altitud de 1737 metros sobre el nivel del mar, se encuentra en el valle que su fundador llamó "El llano de las flores". El sistema hidrológico es un elemento estructural de una región, en las zonas urbanas como punto de unión del espacio público, y en las zonas rurales en cuanto a cuencas y microesferas que constituyen el desarrollo rural, los cursos de agua y su capacidad para posibilitar la vida, las plantas y los organismos. El territorio de Zapatoca es considerado un lugar con escasos recursos hídricos. Sus áreas rurales cuentan con hábitats naturales y afloramientos utilizados para actividades de consumo y desarrollo en la zona.

2.3. Marco conceptual

HH es la cantidad total de agua dulce utilizada directa o indirectamente para producir un producto o servicio, y es una región geográfica, una cuenca o un país. Es un indicador multidimensional de la cantidad de agua consumida en cada fuente de agua y la cantidad contaminación por tipo de contaminación, cuya composición total de HH se puede determinar geográfica y temporalmente. [17]

HH o huella hídrica clasifica las fuentes de agua en oposición al agua virtual. Es decir, distinguimos entre tres componentes definidos de la siguiente manera:

Huella Hídrica Verde: El volumen de agua de lluvia no se desborda y se almacena en acuíferos permeables en la superficie para satisfacer las necesidades de la vegetación. Esta agua subterránea poco profunda permite la supervivencia de la vegetación natural y su retorno a la atmósfera a través de procesos de transpiración.

Huella hídrica azul: la cantidad de agua dulce extraída de fuentes de agua superficiales o subterráneas que se utiliza en la producción de bienes y servicios para satisfacer la demanda de agua insatisfecha debido a la escasez de recursos de agua de lluvia.

Huella Hídrica Gris: Es la cantidad de agua requerida por la institución receptora para recibir los residuos contaminados asociados a su cadena productiva y/o de suministro, cuya calidad no supere los límites permitidos por la legislación aplicable. Esta se calcula como la cantidad teórica de agua adicional necesaria en el cuerpo receptor, por lo que la cuestión no es crear nuevos consumos, sino reducir la cantidad de contaminantes. [18].

El agua azul suele ser escasa y tiene un costo de oportunidad más alto que el agua verde, lo que puede ser una razón para centrarse en la contabilidad de la huella azul. Sin embargo, los recursos de agua verde también son escasos porque son limitados, y este es un argumento

importante para no ignorar el agua verde. Además, el agua verde puede reemplazar al agua azul y viceversa en la agricultura, por lo que con solo observar ambos se obtiene una imagen completa, ya que los enfoques históricos han subestimado el agua verde como un factor de producción importante. [19].

La idea de HH gris se introdujo para expresar la contaminación del agua en términos de contaminantes, por lo que se puede comparar con el consumo de agua, que también se expresa en términos de volumen. [20].

Si está interesado en la contaminación del agua y desea comparar los reclamos relativos de contaminación del agua y consumo de agua con las fuentes de agua disponibles, debe considerar el HH gris además del HH azul. HH proporciona una visión mejor y más amplia de cómo los consumidores o productores afectan el uso de los sistemas de agua dulce. Esta es una medida volumétrica del consumo de agua y la contaminación. Lo que no mide es la gravedad del impacto ambiental local del uso del agua y la contaminación.

La Evaluación de Sostenibilidad de HH se lleva a cabo a nivel de ciudad y se pueden encontrar descripciones detalladas en el Manual de Evaluación de HH de la ciudad.

La huella hídrica es la principal fuente de actividad socioeconómica que ejerce presión sobre los recursos y se presenta como un indicador de sostenibilidad que identifica la causalidad a nivel socioambiental. Este Índice de Sostenibilidad del Agua proporciona una visión no tradicional del agua y ayuda a identificar los impactos en los recursos hídricos de los hábitos de consumo de las personas en regiones específicas; De esta forma, los resultados se orientan a propiciar cambios en la construcción del discurso, la apropiación de conceptos básicos por parte de grandes grupos sociales. Y finalmente, crea una transformación de las prácticas cotidianas relacionadas con la relación entre el agua y las personas. [18].

A pesar de las críticas que ha sufrido el concepto de huella hídrica desde que fue propuesto, el índice se ha convertido en una herramienta para analizar la sostenibilidad de muchas actividades humanas sobre los recursos naturales. Por favor, comprenda que la sostenibilidad se refiere al “desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”. Este es un concepto definido por la Comisión de Medio Ambiente y Desarrollo de las Naciones Unidas (1987), en este caso la sostenibilidad se refiere a la permanencia de este tipo de sistema productivo en las cuencas, y si esta permanencia es eficiente desde el punto de vista económico, social y ecológico [21].

En resumen, el Índice de Sostenibilidad del Agua es un modelo que puede determinar las relaciones oferta-demanda existentes. Brinda una visión de las necesidades de la población y la capacidad de almacenamiento de agua que pueden brindar las microcuencas el Ramo y la Zapotoca, que son las encargadas de abastecer al municipio.

2.4. Marco legal

La constitución política de Colombia de 1991 ha elevado a la categoría de normas constitucionales la consideración, el control y la protección de los recursos naturales y el medio ambiente, al adoptar los siguientes principios básicos:

La siguiente tabla analiza los fundamentos clave de la gestión y conservación de los recursos naturales, con cada artículo nombrado de acuerdo con la constitución del país y las definiciones respectivas.

Tabla 1. *Marco legal según la constitución política de Colombia*

Principio fundamental	Artículo y definición
Derecho a un ambiente sano.	En su Artículo 79, la Constitución Nacional (CN) consagra que: “Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano”. La Ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines”. Esta norma constitucional puede interpretarse de manera solidaria con el principio fundamental del derecho a la vida, ya que éste sólo se podría garantizar bajo condiciones en las cuales la vida pueda disfrutarse con calidad.
El medio ambiente como patrimonio común	La CN incorpora este principio al imponer al Estado y a las personas la obligación de proteger las riquezas culturales y naturales (Art. 8), así como el deber de las personas y del ciudadano de proteger los recursos naturales y de velar por la conservación del ambiente (Art. 95). En desarrollo de este principio, en el Art. 58 consagra que: “la propiedad es una función social que implica obligaciones y, como tal, le es inherente una función ecológica”; continúa su desarrollo al determinar en el Art. 63 que: “Los bienes de uso público, los parques naturales, las tierras comunales de grupos étnicos, las tierras de resguardo, el patrimonio arqueológico de la Nación y los demás bienes que determine la Ley, son inalienables, imprescriptibles e inembargables”
Desarrollo Sostenible	Definido por el abogado ambientalista Francisco Perea como el desarrollo que conduce al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de vida y al bienestar social, sin agotar la base de los recursos naturales renovables en que se sustenta, ni deteriorar el medio ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus propias necesidades, la CN en desarrollo de este principio, consagró en su Art. 80 que: “El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Así mismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en zonas fronterizas”. Lo anterior implica asegurar que la satisfacción de las necesidades actuales se realice de una manera tal que no comprometa la

Principio fundamental	Artículo y definición
	capacidad y el derecho de las futuras generaciones para satisfacer las propias.

Actualmente, Colombia no incluye el concepto de HH en los documentos de política a nivel nacional, pero se expresó interés luego de conocer los resultados de la primera encuesta nacional realizada por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, IDEAM, Corporaciones Autónomas Regionales, entre otros; para que en un futuro cercano el concepto pueda integrarse como una herramienta de política [22].

3. Metodología

En base a los objetivos planteados se analizó la afectación de la oferta y demanda de los recursos hídricos del municipio de Zapatoca a causa del crecimiento poblacional, para esto se recurrió a un diseño no experimental, que se aplicó de manera transversal; este se desarrolló mediante la determinación de una población muestral, tanto del sector turístico, como del sector agrícola, utilizando métodos de recolección de diferentes entes gubernamentales como lo es la alcaldía municipal y sus diferentes dependencias, entre ellas planeación, servicios públicos y turismo, por otro lado para la recolección de datos hídricos se utilizaron bases de datos como los suministrados por el IDEAM entre otros, todo esto se analizó en un rango de tiempo de 10 años entre los años 2010 al 2020 , además, considerando que el tema de investigación tiene un sustento teórico suficiente, se procedió a realizar una investigación en base a un método analítico, con variables como lo son el crecimiento poblacional, agrícola y turístico del sector, y a partir de esto se realizó un análisis detallado del fenómeno que ocasiona el crecimiento poblacional en la oferta y la demanda hídrica del municipio de Zapatoca.

El presente anteproyecto está diseñado bajo el planteamiento de un enfoque cuantitativo, puesto que es el que agrupa todas las características y necesidades de la investigación, este enfoque consiste en la recolección de datos para probar una hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías [23]. La población de estudio es el municipio de Zapatoca, Santander, así como sus habitantes y los turistas.

En primer lugar se utilizó el método de muestreo probabilístico aleatorio estratigráfico, el cual consiste en realizar una clasificación de la muestra por sectores o subgrupos y luego lograr seleccionar aleatoriamente a los sujetos finales de los diferentes estratos en forma proporcional, disminuyendo el tamaño de la muestra, haciendo más fácil la toma de datos; la muestra se tomó dependiendo de la actividad económica que emplean los habitantes del municipio, (agricultura, turismo), y como técnica de recolección de datos se usó la observación. De igual forma se analizó los datos suministrados por el municipio de cada sector económico, esta técnica permitió conocer a la comunidad sin intervenir en ella, como instrumento de recolección de datos para esta técnica se usó una lista de control de los sectores económicos que se analizaron en lo transcurrido de la investigación.

Para finalizar se realizó un procesamiento y análisis de la información, para posteriormente presentar unos resultados y a partir de ellos proponer recomendaciones para el ahorro y uso eficiente del agua.

3.1. Procedimiento dividido en etapas

En la tabla 2, se definieron las fases generales del desarrollo metodológico del proyecto con cada una de las actividades asignadas respectivamente así:

Tabla 2. *Fases metodológicas del proyecto de investigación*

Fase 1	Definición de objetivos y alcance de estudio
Fase 2	Recopilación de datos
Fase 3	Cuantificación de la HH
Fase 4	Análisis de la sostenibilidad de la HH
Fase 5	Evaluación de los impactos ambientales, sociales y económicos según el manual de Hoekstra 2019
Fase 6	Definir un marco de acciones para el ahorro y uso eficiente del agua en los sectores agrícolas y domésticos.

3.2. Desarrollo metodológico

La tabla 3 se diseña con los objetivos del proyecto y sus actividades correspondientes, con las que se busca dar solución a cada uno de ellos, en la siguiente tabla encontrara el orden específico de actividades por objetivo seleccionado

Tabla 3. *Desarrollo metodológico del proyecto de investigación*

Objetivo	Actividad
Calcular la HH total del municipio de Zapotoca.	Delimitación del área de estudio.
	Recolección de datos IDEAM.
	Procesamiento de la información recolecta el software ARGIS.
	Búsqueda del mapa de usos de suelo
	Búsqueda de información de sectores económicos.
	Recolección de datos de la población.
	Cálculo del caudal medio anual y mensual.
	Aplicación de mecanismos de cuantificación de la HH.

Objetivo	Actividad
Analizar la sostenibilidad de la HH total calculada del municipio de Zapatoca, Santander.	Identificar el requerimiento hídrico de cultivos. Identificar el consumo hídrico de la población. Cálculo del caudal ecológico. Comparar el caudal medio con el caudal ecológico necesario. Identificar si existe la ineficiencia del agua. Análisis de la demanda y la oferta.
Identificar los sectores más críticos de acuerdo con el análisis de sostenibilidad del municipio de Zapatoca.	Analizar los resultados de la huella hídrica y clasificar los sectores según su estado.
Establecer un plan de acción para el ahorro y uso eficiente del agua para el sector agrícola y doméstico.	Definir las actividades y tareas de los actores del Plan de acción.

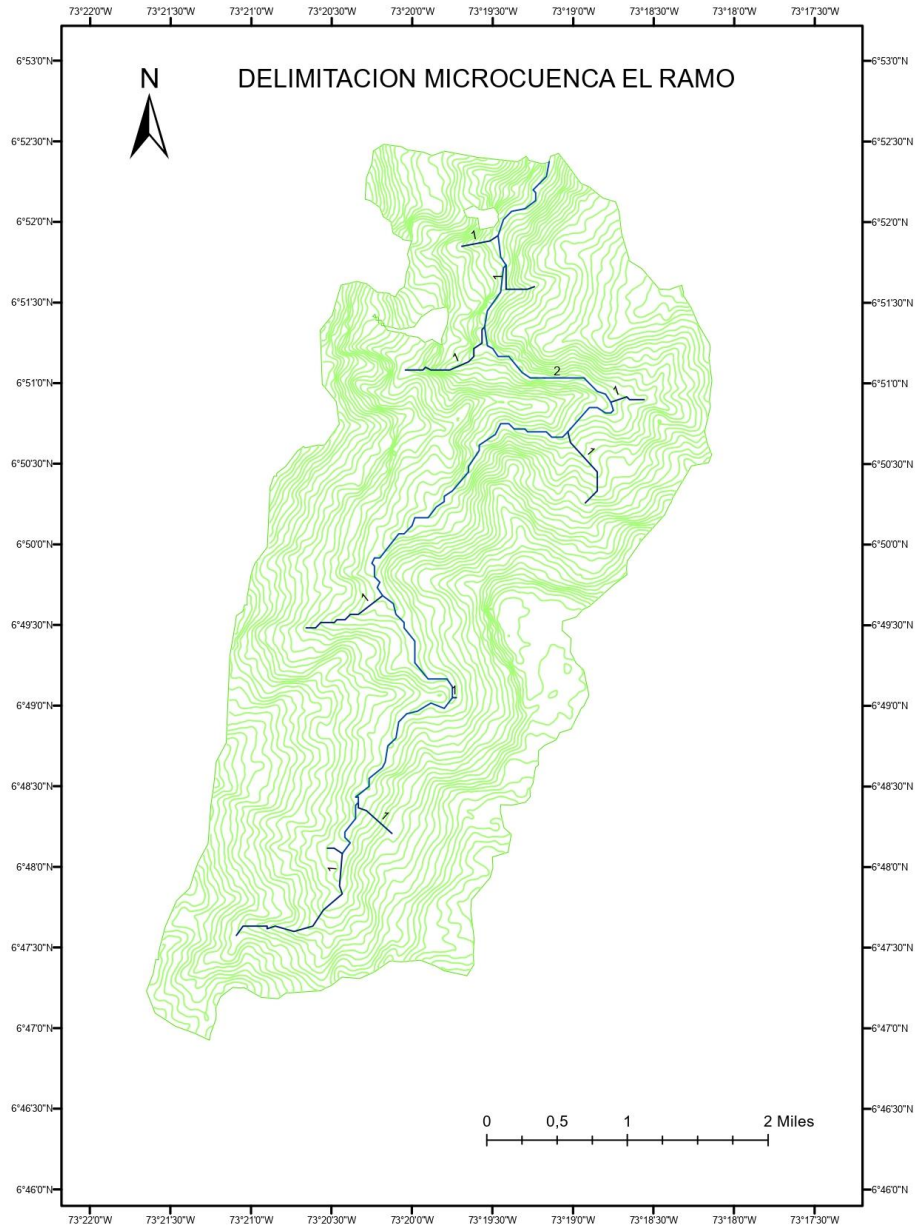
3.3. Cálculo de la HH total del municipio de Zapatoca

3.3.1 Delimitación del área de estudio

Se delimito el área de estudio teniendo en cuenta que el enfoque de huella hídrica va dirigido hacia la totalidad del municipio de Zapatoca, ubicado en el departamento de Santander, el cual limita con los municipios de Girón, Betulia, Galán, La Mesa de los Santos y san Vicente de Chucuri, además con el uso del software ARGIS, se realizó la respectiva representación y delimitación geográfica del área de estudio (Ver figura de 1 y 4). En la figura 1 encontrara la delimitación de la microcuenca el ramo, la cual cuenta con un área de 36 km² y su morfología es

principalmente empinada, con pendientes de hasta un 50%, esta microcuenca pertenece a la cuenca del río chucuri.

Figura 1. Mapa delimitación de la microcuenca el ramo.



3.3.1.1 Delimitación de las microcuencas de estudio. La delimitación de las microcuencas se realiza a partir del uso del programa ArcGIS y sus herramientas, generando así un mapa para cada microcuenca.

3.3.2 Recolección de datos del IDEAM y procesamiento de información en ARGIS

Para la recolección de los datos de las principales estaciones meteorológicas de temperatura y precipitación en los últimos 10 años desde el año 2010 hasta el año 2020, se tomaron los datos del municipio de Zapatoca al igual que sus municipios aledaños como La Fuente, La Mesa, San Vicente, El Pantano, Llano Grande, Palo Gordo, Albania y La Putana. La información se clasificó y ordenó de manera cronológica obteniendo como resultado un promedio de la precipitación y temperatura anual; la información fue procesada e integrada en el software ARGIS, donde se realizó la edición, análisis e impresión de la información, en los diferentes mapas de isoyetas, isotermas y su respectivo balance hídrico. (ver figura 13-14).

3.3.3 Búsqueda del mapa de usos de suelo

La recolección de mapas se realizó en la página web del IGAC en su base de datos abiertos, así mismo en la alcaldía municipal en la oficina de planeación. (ver figura 7-8)

3.3.4 Búsqueda de información del sector económico

Se determinó que los principales sectores económicos del municipio son el sector residencial, el sector pecuario, el sector comercial y el sector agrícola, la información del sector comercial o turístico se recolectó por medio de una visita técnica al departamento de turismo de la alcaldía municipal de Zapatoca el cual proporcionó información de las entidades registradas en

cámara de comercio (ver figura 11); y en cuanto a la información del sector agrícola y pecuario se realizó una visita técnica, (ver apéndice C) a las principales fincas cosecheras del municipio, para recolectar datos necesarios en la investigación.

3.3.5 Recolección de datos de la población

Según el censo nacional en el año 2018 el municipio contaba con al redor de 9466 habitantes y para el año 2021 municipio descendió a 9255 habitantes, gracias a esta información se logró realizar una proyección a 20 años (ver tabla 9).

3.3.6 Cálculo de caudal medio

Voscresiensky [1], Zhelezniakov, G. Negovskaya, T. y Ovcharov, E. [2] y Zhivotovsky [3], proponen una fórmula para evaluar parámetros hidrológicos claves en el diseño de estructuras que utilizan agua, considerando el balance de masa o volumen; En este caso la Precipitación media por año en cualquier cuenca expresado en m³/s es igual a:

$$Vo = 1000PA \quad (1)$$

En la que P es el promedio de precipitaciones anuales de la cuenca (mm); A es el área de la cuenca en km².

El volumen escurrido para el mismo período es igual a:

$$Vo = 31,536Qo10^6 \quad (2)$$

Donde, Q0 es el caudal medio de la cuenca. Estas dos ecuaciones se igualan a través del coeficiente de esorrentía C,

$$PA * C * 10^3 = 31,536 * Qo * 10^6 \quad (3)$$

Así resulta que:

$$Qo = \frac{31,71 * CPA}{10^6} \quad (4)$$

Donde:

C: es el coeficiente de escorrentía

P: precipitación anual promedio

A: área en km2 del área de estudio

3.3.7. Aplicación de mecanismos de cuantificación de la HH

Finalizamos aplicando el método *the water footprint assessment manual*.

La huella hídrica azul se calculó con la siguiente ecuación

$$HH_{pro. azul} = \frac{CWU_{azul}}{Y} * Prod.Total \quad (5)$$

Donde:

CWU_{azul}: agua azul que consumió el cultivo en un periodo de tiempo (m3/ha)

Y: Rendimiento del cultivo (Ton/ha)

Prod.total: producción total de un cultivo en un periodo de tiempo (ton)

Luego de realizar dicho calculo se obtuvo la siguiente grafica.

Para realizar la huella hídrica verde se tuvo en cuenta la siguiente fórmula

$$HH_{pro.ver} = \frac{CWU_{verde}}{Y} * Prod.Total \quad (6)$$

Donde:

CWUverde: agua verde que utilizo el cultivo en un periodo de tiempo (m3/ha)

Y: rendimiento del cultivo (Ton/ha)

Prod.Total: proporción total de un cultivo en un periodo de tiempo (ton)⁴

Por último, se calculó la huella gris con la siguiente ecuación

$$HH_{pro.gris} = \frac{L}{C_{max} - C_{nat.}} * \frac{Volumen}{Tiempo} \quad (7)$$

Donde:

HH proc.gris : HH gris de un producto agrícola específico (m3/ha).

L: carga contaminante en masa/tiempo (Kg/ha)

Cmax: concentración máxima aceptable Según el estándar de calidad para un contaminante específico (Kg/m3)

Cnat: concentración natural en el cuerpo de agua receptor (Kg/m3).

3.4 Analizar la sostenibilidad de la HH total calculada.

3.4.1 Análisis del balance hídrico del área de estudio

Un balance hídrico implica cuantificar y agregar las entradas y salidas de una cuenca, así como el consumo y los retornos que ocurren dentro de la misma, para capturar la variación en el

volumen de agua durante el período en el que se encuentra la cuenca en este caso se realiza para el año 2019. Este cálculo incorpora una gran cantidad de información estadística y geográfica sobre la cuenca en estudio, etc. gr., elevación de la superficie. precipitación, temperatura, tasa de evaporación, tipo de suelo, uso y cobertura vegetal. planificación urbana, densidad de población y suministro de agua potable. Caudales para varios usos del agua. consumo, eliminación y reutilización, eficiencia de los sistemas de distribución y manipulación. Además, algunos elementos del balance hídrico no han sido medidos, pero sí estimados. Esto involucra procesos hidrológicos (precipitación, transpiración, escorrentía e infiltración) y existen varios algoritmos para calcular esta cantidad de agua, aumentando el grado de incertidumbre en el cálculo del agua disponible. En este sentido, es fundamental contar con una metodología estandarizada para la recolección de los componentes del balance hídrico de las cuencas fluviales. Esto se debe a que la selección y aplicación de algoritmos para la determinación de la cantidad de agua depende de los tipos de datos disponibles.

El cálculo del balance hídrico se realizó mediante la utilización del programa Argis, donde se empleó el sistema de holdrige el cual sirve para clasificar las diferentes áreas terrestres según su comportamiento bioclimático; este sistema clasifica el balance hídrico como:

$$\mathbf{BH} = \frac{\text{precipitación}}{\text{evapotranspiración potencial (ETP)}} \quad (8)$$

Donde:

$$\mathbf{ETP} = 58.93 * \text{temperatura. Prom.}$$

Siempre y cuando la temperatura promedio no sea mayor a 24 grados.

Teniendo en cuenta lo anterior, los datos utilizados fueron la precipitación promedio y la temperatura promedio para el año 2019 del área de estudio que en este caso es todo el municipio de Zapatoca, Santander.

3.4.2 Identificar el requerimiento hídrico de cultivos

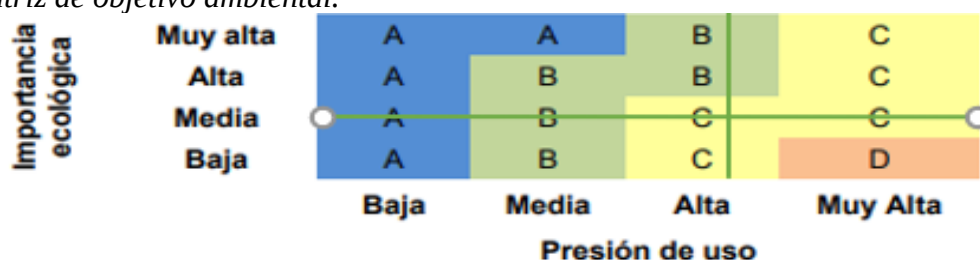
El requerimiento hídrico del cultivo se realizó en conjunto de los datos recolectados en las visitas técnicas (ver Apéndice A), realizadas en municipio y los datos ya experimentados de FAO en su guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos, los cuales fueron procesados en software CROPWAT.

3.4.3 Identificar el consumo hídrico de la población

Para la identificación del consumo se solicitó información a la oficina de servicios público del municipio en Radicado 11575. (ver Apéndice B).

3.4.4 Calculo del caudal Ecológico

Para dicho calculo fue necesario obtener el objetivo ambiental como se define la Guía rápida para la determinación de caudales ecológicos del Fondo Mundial para la Naturaleza conocido en sus siglas inglés como la WFF.

Figura 2.Matriz de objetivo ambiental.

Adaptado de [24].

Seguido de esto se considera el porcentaje de Escurrimiento Medio Anual (EMA) obteniendo valores de referencia de la siguiente tabla.

Figura 3.Volumen de caudal ecológico.

OBJETIVO AMBIENTAL	ESTADO DE CONSERVACION	CAUDAL ECOLÓGICO (% EMA)	
		CORRIENTES PERENNES	CORRIENTES TEMPORALES
A	Muy bueno	≥40	≥20
B	Bueno	25-39	15-19
C	Moderado	15-24	10-14
D	Deficiente	5-14	5-9

Adaptado de [24].

3.4.5 Comparación del caudal medio con el caudal ecológico necesario

Para hallar el caudal medio se emplearon las ecuaciones antes mencionadas en el apartado 3.3.6 de este mismo documento, y se realiza la comparación con el caudal ecológico el cual se calcula con el apartado 3.4.4, esta comparación se realiza de manera gráfica, empleando graficas de líneas, donde se pueda evidenciar la diferencia entre dichos caudales mensualmente.

3.4.6 Identificar si existe la ineficiencia del agua

La ineficiencia del agua consiste en la capacidad hídrica de la cuenca, es decir el caudal promedio mensual emitido por las quebradas el Ramo y la Zapatoca, se compara con el caudal

ecológico, si el caudal medio es menor que el caudal ecológico necesario por la cuenca se denomina que existe ineficiencia del agua. (Apéndice B)

3.4.7 Análisis de la demanda y la oferta

Se realiza un análisis para determinar la sostenibilidad con el consumo hídrico en relación con la oferta de agua en el área de estudio, donde la sostenibilidad hace referencia a la relación entre el volumen utilizado del recurso y la disponibilidad natural que existe en dicho recurso.

Este análisis consiste en comparar la oferta hídrica capaz de recolectar el acueducto, con la demanda generada por el sector residencial y comercial, ya que son los únicos que se abastecen de dicha oferta y además compara la demanda agrícola y pecuaria con la oferta hídrica de las quebradas el Ramo y la Zapatoca, respetando el caudal de recolección del acueducto y el caudal ecológico de la cuenca, siendo variables clave el consumo de los sectores económicos, el caudal recolectado por el acueducto, el caudal medio de las quebradas el Ramo y la Zapatoca, , y el caudal ecológico, que se debe respetar para mantener el ecosistema de las quebradas, ya teniendo dichas variables, se realiza una gráfica comparativa para cada caso.

3.4. Analizar los resultados de la huella hídrica y clasificar los sectores según su estado.

Es necesario que la huella hídrica cumpla con una serie de criterios para ser sostenible, es por esto por lo que el análisis tendrá dos variables la sostenibilidad ambiental y la sostenibilidad social:

Sostenibilidad ambiental: este criterio analiza las normas de calidad ambiental tales como el caudal ecológico, el cual se debe respetar para mantener los ecosistemas que dependan de la microcuenca, es decir si el caudal medio es igual o mayor al caudal ecológico, esta es insostenible.

Sostenibilidad social: es importante garantizar una mínima cantidad de agua dulce disponible para abastecer las necesidades de la comunidad dependiente de dichas fuentes hídricas, es decir si la demanda hídrica es mayor a la oferta capaz de generar la microcuenca se categoriza como insostenible.

3.5. Definir y desglosar actividades y tareas de los actores del Plan de acción

Planificar detallada mente las actividades del plan de acción en el que se involucran todos los sectores económicos, teniendo en cuenta la participación ciudadana, escolar, y gubernamental, con el objetivo de ser una guía para la implementación de estrategia ambientales en el municipio de Zapatoca, basándonos en la “Guía ambiental para la conservación y protección de fuentes hídricas” la cual habla del cuidado ambiental y la reducción de consumos hídricos en la población.

4. Resultados

En este estudio se presenta los resultados de las huellas hídricas azul, verde y gris para los cultivos seleccionados en el área de estudio, así mismo se presenta el proceso explicado referente a la metodología

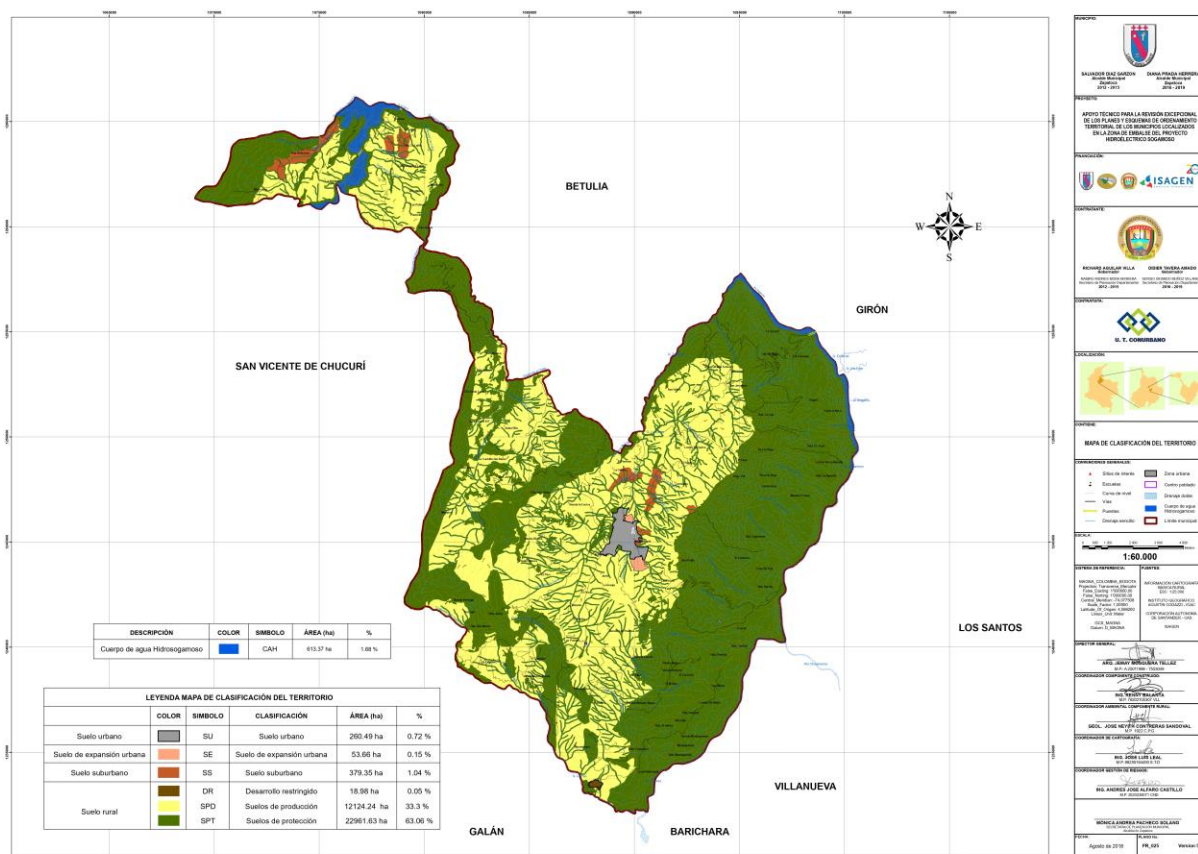
4.1. Delimitación del área de estudio

Teniendo en cuenta los objetivos planteados, se da inicio al desarrollo del tema investigativo, donde el primer paso fue realizar la respectiva delimitación del área de estudio, que en este caso hace referencia a el municipio de Zapatoca, Santander.

La zona de estudio cuenta con 363km², y en ella se encuentra el casco antiguo de Zapatoca Santander, además cuenta con alrededor de 25 veredas, con un área urbana de 260.49 hectáreas,

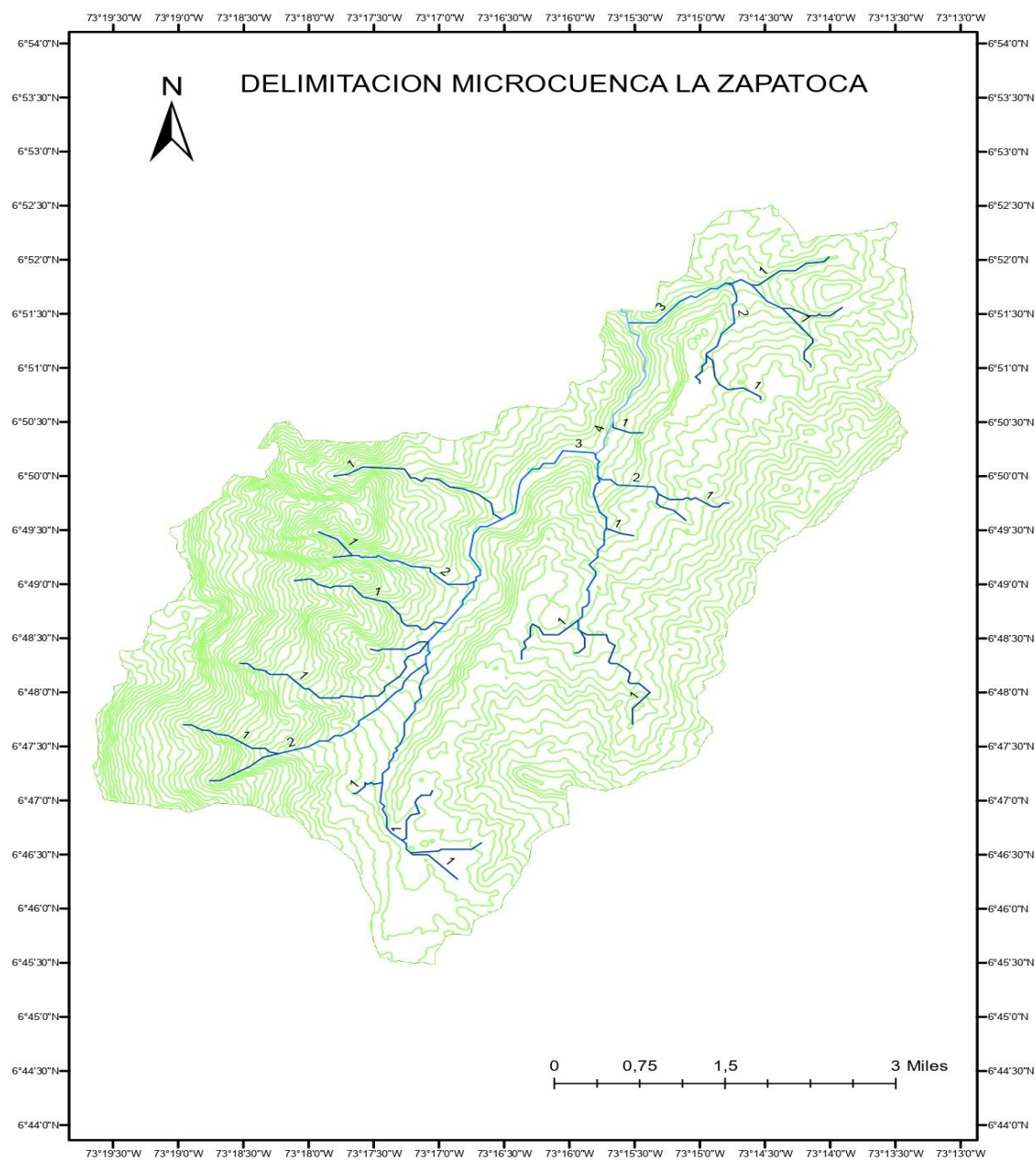
lo que corresponde al 0.72% del área de estudio, además cuenta con un área suburbana de 379.35 hectáreas correspondientes al 1.04% del área de estudio, de manera análoga cuenta con un área de producción de 12124.24 hectáreas, correspondientes al 33.3% del área total de estudio; Para dar desarrollo al proyecto, se tuvo en cuenta principalmente las veredas cercanas al casco antiguo del municipio.

Figura 4. Mapa delimitación zona de estudio.

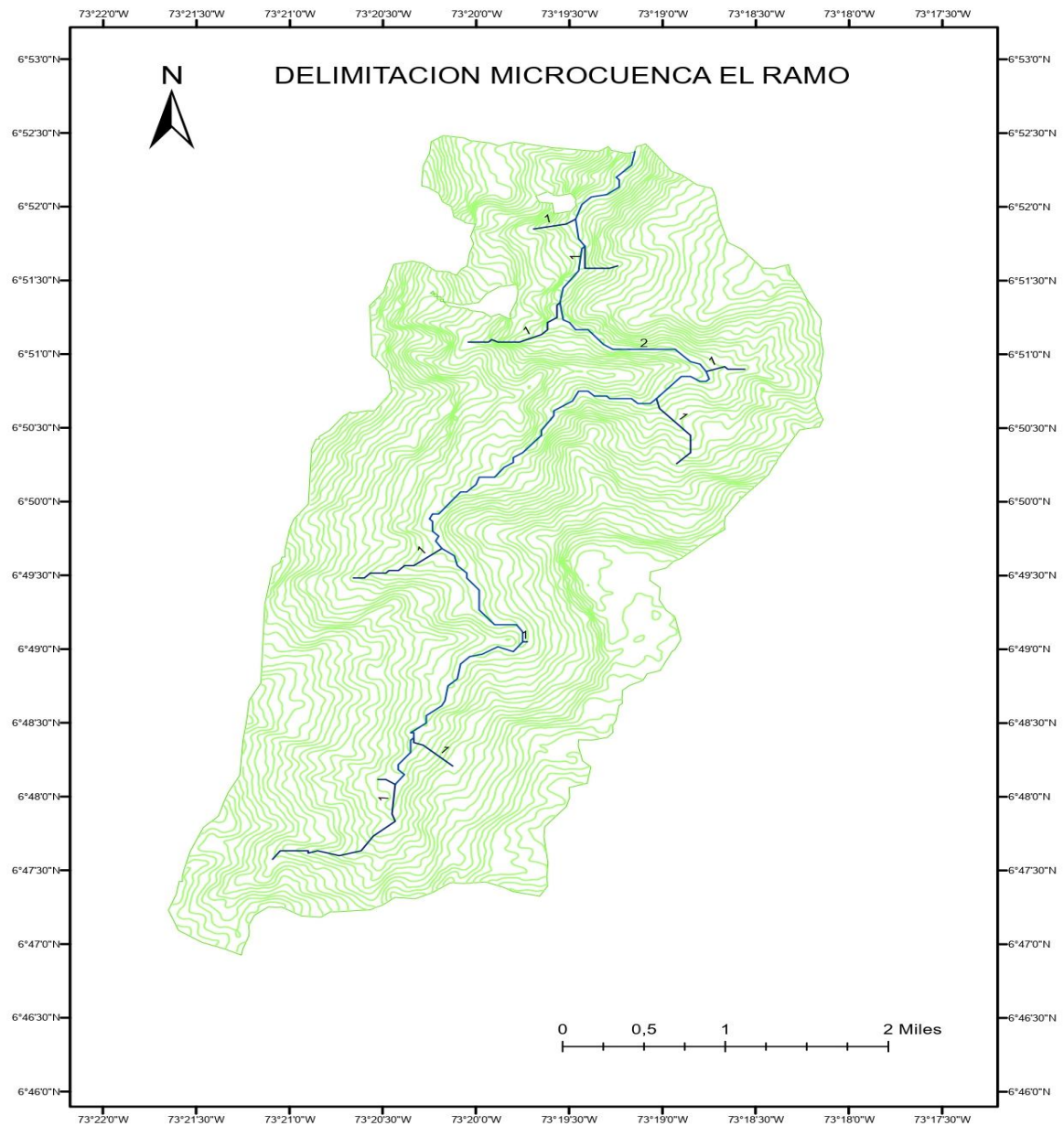


Adaptado de [25].

En la figura 4 encontraran la delimitación de la microcuenca, compuesta por la quebrada la Zapatoa, esta cuenca cuenta con un área de 72 km² y su morfología es ligeramente inclinada con pendientes de hasta un 12%, esta microcuenca pertenece a la cuenca del río Sogamoso.

Figura 5. *Mapa delimitación microcuenca.*

En la siguiente figura encontrara la delimitación de la microcuenca el ramo, la cual cuenta con un área de 36 km² y su morfología es principalmente empinada, con pendientes de hasta un 50%, esta microcuenca pertenece a la cuenca del río Chucuri.

Figura 6. *Mapa delimitación de la microcuenca el ramo.*

4.2. Recolección de datos meteorológicos

Luego se procedió a la recolección de datos de las principales estaciones meteorológicas, que se encuentran dentro del municipio de Zapatoaca como en los municipios aledaños, ya teniendo la información de precipitación y temperatura para el año 2019, se clasificó y ordenó de manera

cronológica obteniendo como resultado un promedio de precipitación anual [mm] (ver tabla 4) y temperatura anual [°C] (ver tabla 5y 6).

En la tabla 4, se puede evidenciar los datos obtenidos para el año 2019 de las cuatro estaciones que se encuentran en el área de estudio y aledañas a esta, con su respectiva ubicación geográfica y sus datos informativos acerca de la precipitación mensual, para posteriormente obtener un promedio anual de la precipitación.

Tabla 4. *Precipitación promedio mensual y anual.*

		Estación				
		La fuente	San Vicente	La mesa	Zapatoa	promedio mensual
Coordenadas	Este x	2870819,32	2856832,08	2892504,01	2870997,28	
	Norte y	-920116,24	9209214,98	9199081,04	9204030,03	
	Altura [m]	815	721	1460	1810	
Precipitación [mm]	Enero	26	116	53.8	19.3	53.775
	Febrero	66	196	14.6	17.7	73.575
	Marzo	99	151	72.3	137.5	114.95
	Abril	165	140	87.9	102	123.725
	Mayo	240	199	120.6	192.3	187.975
	Junio	48	102	8.3	74	58.075
	Julio	31	45	7.7	49.5	33.3
	Agosto	200	25	103.1	185.4	128.375
	Septiembre	180	180	68.7	172.2	150.225
	Octubre	159	198	14	86.7	114.425
	Noviembre	70	212	41.2	98.4	105.4
	Diciembre	56	85	24.8	15	45.2
Promedio anual		111.7	137.4	51.4	95.8	99.1

Adaptado de [7].

En la tabla 5, se puede evidenciar los datos obtenidos para el año 2019 de las cuatro estaciones que se encuentran en el área de estudio y aledañas a esta, con su respectiva ubicación

geográfica y sus datos informativos acerca de la temperatura mínima mensual, para posteriormente obtener un promedio anual.

Tabla 5. *Temperatura mínima promedio mensual y anual.*

Coordenadas	Estación			promedio mensual
		Llano grande	La Zapatoca	
	Este x	491767,53	491767,53	
	Norte y	1547139, 6	15083816,4	
Temperatura mínima [°C]	Altura [m]	777	1818	
	Enero	20.2	16.97	
	Febrero	18.5	14.45	
	Marzo	20.9	17.57	
	Abril	20.1	15.91	
	Mayo	20.8	16.76	
	Junio	19.9	14.82	
	Julio	20	14.26	
	Agosto	19.6	17.04	
	Septiembre	19.4	16.29	
	Octubre	20.5	15.45	
	Noviembre	19.2	15.79	
	Diciembre	19.7	15.5	
	Promedio anual	19.9	15.9	

Adaptado de [7].

En la tabla 6, se puede evidenciar los datos obtenidos para el año 2019 de las cuatro estaciones que se encuentran en el área de estudio y aledañas a esta, con su respectiva ubicación geográfica y sus datos informativos acerca de la temperatura máxima mensual, para posteriormente obtener un promedio anual.

Tabla 6. *Temperatura máxima promedio mensual y anual.*

		Estación		Promedio mensual
Coordenadas		Llano grande	La Zapatoca	
	Este x	491767,53	491767,53	
	Norte y	1547139, 6	15083816,4	
Altura [m]		777	1818	
Temperatura máxima [°C]	Enero	32.6	25.5	29.05
	Febrero	32.1	22.7	27.4
	Marzo	31.3	25.4	28.35
	Abril	30.8	22.5	26.65
	Mayo	32.1	23.8	27.95
	Junio	31.9	14.82	23.36
	Julio	33.6	22.4	28
	Agosto	33	23	28
	Septiembre	32.2	24.5	28.35
	Octubre	31.4	23.4	27.4
	Noviembre	29.3	23.1	26.2
	Diciembre	33.3	25.5	29.4
Promedio anual		32.0	23.1	27.5

Adaptado de [7].

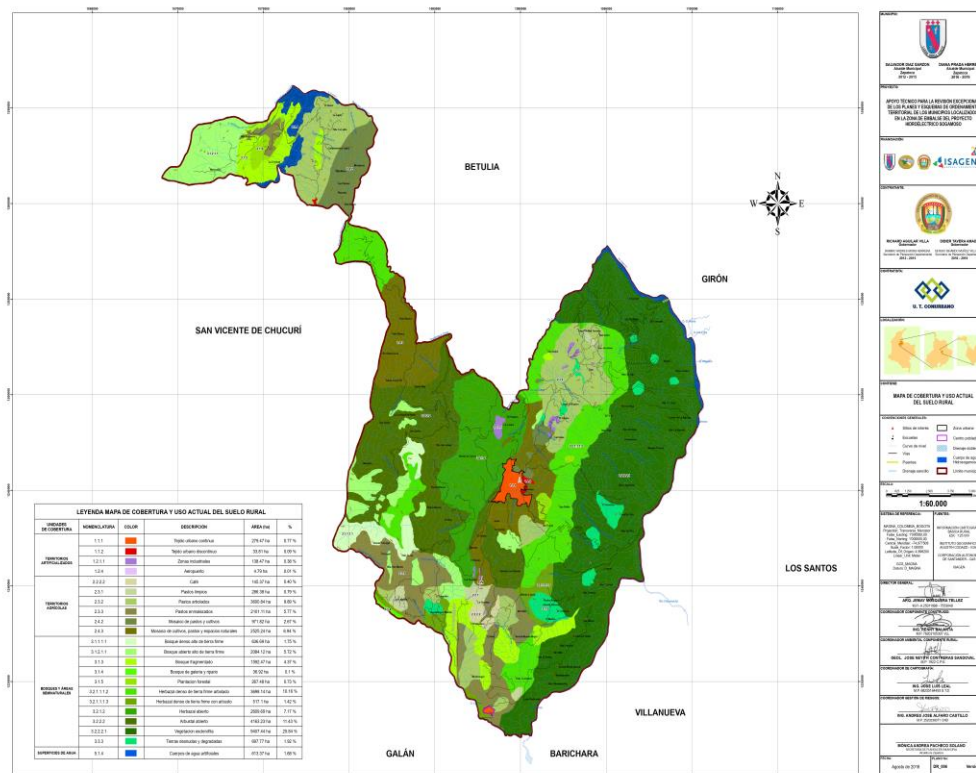
4.3. Búsqueda y acotejo de información

Ya obtenida la información de precipitación y temperatura se procede a la búsqueda y recolección de mapas e información necesaria para los respectivos cálculos del coeficiente de escorrentía y la actividad económica del municipio.

4.3.1 Mapa de uso de suelos y modelo de elevación

El coeficiente de escorrentía es la relación entre la cantidad de lluvia que circula sobre la superficie y la precipitación total. es por esto que para hallar dicho coeficiente es necesario conocer las principales características del terreno, en este orden de ideas es necesario obtener los mapas de usos de suelo del municipio donde encontraremos la litología del terreno como se muestra en la figura 7, además de esto es necesario el mapa de pendientes, el cual nos suministra información de alturas y relieves como se evidencia en la figura 9.

En la figura 7 se puede evidenciar la clasificación del suelo y su porcentaje según el plano DR_006 Versión 5 del proyecto apoyo técnico para la revisión excepcional de los planes y esquemas de ordenamiento territorial de los municipios localizados en la zona de embalse del proyecto Hidrosogamoso.

Figura 7. Mapa uso de suelos municipio de Zapatoca.

Adaptado de [25].

En la siguiente tabla se especifica la cobertura del suelo rural del municipio de Zapatoca Santander, donde podemos evidenciar que la mayor parte del suelo se compone de una vegetación esclerófila típica de climas fríos o templados con alrededor de 9407.4 ha, en cambio el tejido urbano cuenta con solo 3133.28 ha lo cual corresponde al 0.02 % del área total de estudio, siendo uno de los usos del suelo que menor porcentaje presenta en el área.

Figura 8. *leyenda uso de suelos municipio de Zapatoca.*

LEYENDA MAPA DE COBERTURA Y USO ACTUAL DEL SUELO RURAL					
UNIDADES DE COBERTURA	NOMENCLATURA	COLOR	DESCRIPCIÓN	ÁREA (ha)	%
TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	1.1.1		Tejido urbano continuo	279.47 ha	0.77 %
	1.1.2		Tejido urbano discontinuo	33.81 ha	0.09 %
	1.2.1.1		Zonas industriales	138.47 ha	0.38 %
	1.2.4		Aeropuerto	4.79 ha	0.01 %
TERRITORIOS AGRICOLAS	2.2.2.2		Café	145.37 ha	0.40 %
	2.3.1		Pastos limpios	286.38 ha	0.79 %
	2.3.2		Pastos arbolados	3600.84 ha	9.89 %
	2.3.3		Pastos enmalezados	2101.11 ha	5.77 %
	2.4.2		Mosaico de pastos y cultivos	971.82 ha	2.67 %
	2.4.3		Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	2525.24 ha	6.94 %
BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	3.1.1.1.1		Bosque denso alto de tierra firme	636.69 ha	1.75 %
	3.1.2.1.1		Bosque abierto alto de tierra firme	2084.12 ha	5.72 %
	3.1.3		Bosque fragmentado	1592.47 ha	4.37 %
	3.1.4		Bosque de galería y ripario	36.92 ha	0.1 %
	3.1.5		Plantación forestal	267.48 ha	0.73 %
	3.2.1.1.1.2		Herbazal denso de tierra firme arbolado	3698.14 ha	10.16 %
	3.2.1.1.1.3		Herbazal denso de tierra firme con arbusto	517.1 ha	1.42 %
	3.2.1.2		Herbazal abierto	2609.69 ha	7.17 %
	3.2.2.2		Arbustal abierto	4163.23 ha	11.43 %
	3.2.2.2.1		Vegetación esclerofila	9407.44 ha	25.84 %
	3.3.3		Tierras desnudas y degradadas	697.77 ha	1.92 %
SUPERFICIES DE AGUA	5.1.4		Cuerpos de agua artificiales	613.37 ha	1.68 %

Adaptado de [25].

En cuanto al Modelo de elevación, se puede observar en el mapa DR-005 Versión 5 del proyecto apoyo técnico para la revisión excepcional de los planes y esquemas de ordenamiento territorial de los municipios localizados en la zona de embalse del proyecto Hidrosogamoso, que el área de estudio cuenta con 4558.4 ha de terrenos fuertemente empinados y solo 2803.88 ha de superficie ligeramente plana;

Adaptado de [25].

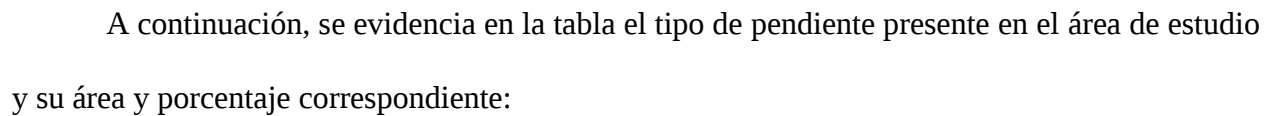


Figura 10. *Leyenda de pendientes.*

LEYENDA MAPA DE PENDIENTES					
COLOR	TIPO	DESCRIPCIÓN	PEND %	ÁREA (ha)	%
	1	Ligeramente plana	0 - 3%	2803.88 ha	7.70 %
	2	Ligeramente inclinada o ligeramente ondulada	3 - 7%	N/A	N/A
	3	Moderadamente inclinada o moderadamente ondulada	7 - 12%	343.22 ha	0.94 %
	4	Inclinada	12 - 25%	6649.79 ha	18.26 %
	5	Empinada	25 - 50%	17608.93 ha	48.36 %
	6	Muy Empinada	50 - 57%	260.06 ha	0.72 %
	7	Escarpada	57 - 75%	3574.07 ha	9.82 %
	8	Fuertemente escarpada o fuertemente empinada	>75%	4558.40 ha	12.52 %

Adaptado de [25].

4.3.2 Actividad Económica del municipio

El municipio de Zapatoca es uno de los más turísticos del departamento de Santander, ya que su clima templado y la historia de su pueblo, hace del municipio un icono del departamento es por ello por lo que, en cuanto a información sobre los sectores económicos del municipio, se encontró que existen alrededor de 10 restaurantes, y 8 hostales o posadas reconocidas por la cámara de comercio, así como lo confirma el siguiente esquema

Figura 11.Esquema de Información sectores económicos del municipio de Zapatoca en la actualidad.



Adaptado de [26].

La tabla 7 representa el sector turismo del municipio, donde se ilustra la capacidad de alojamiento para cada uno de los hoteles.

Tabla 7. Hoteles del municipio de Zapatoca.

Sector económico		Capacidad		Total, de personas
Hotelería	Hotel Casa Palo Santo	9 habitaciones	5 dobles 2 triples 2 cuádruple	24
	Hotel Abadías de Zapatoca	29 habitaciones	12 dobles 8 triples 9 cuádruple	84
	Casa del Sacristán	4 habitaciones	3 familiares 1 doble	15
	Hotel Casa del Viento	12 habitaciones	5 dobles 4 triples 3 cuádruple	34
	Hotel Casa Oasis	13 habitaciones	4 familiar 5 doble 4 cuádruple	42
	Hotel la Carmelina	7 habitaciones	3 familiar 2 cuádruple 2 cama King	33
	Hostal la Batea	14 habitaciones	4 compartida	35

Sector económico	Capacidad	Total, de personas	
Clementina Hostal	4 habitaciones	7 doble	10
		3 triple	
		3 dobles	
Hostal de la Prada	9 habitaciones	1 familiar	27
		1 familiar	
		2 cuádruple	
		2 triple	
		4 doble	

Así mismo la tabla 8 representa los restaurantes del municipio, donde se ilustra la capacidad total de personas.

Tabla 8. Restaurantes del municipio de Zapatoca

Sector económico		Total, de personas
Restaurantes	Venetto Pizeria	60
	Restaurante La Puerta	100
	CIRCO - Burger & Steak	180
	Café Castillo Real	40
	El Príncipe de Jade	40
	Santa Barbara	33
	Restaurante San Lorenzo	35
	Shambala	10
	Restaurante Doña Martha	150
	Restaurante Badillo	200

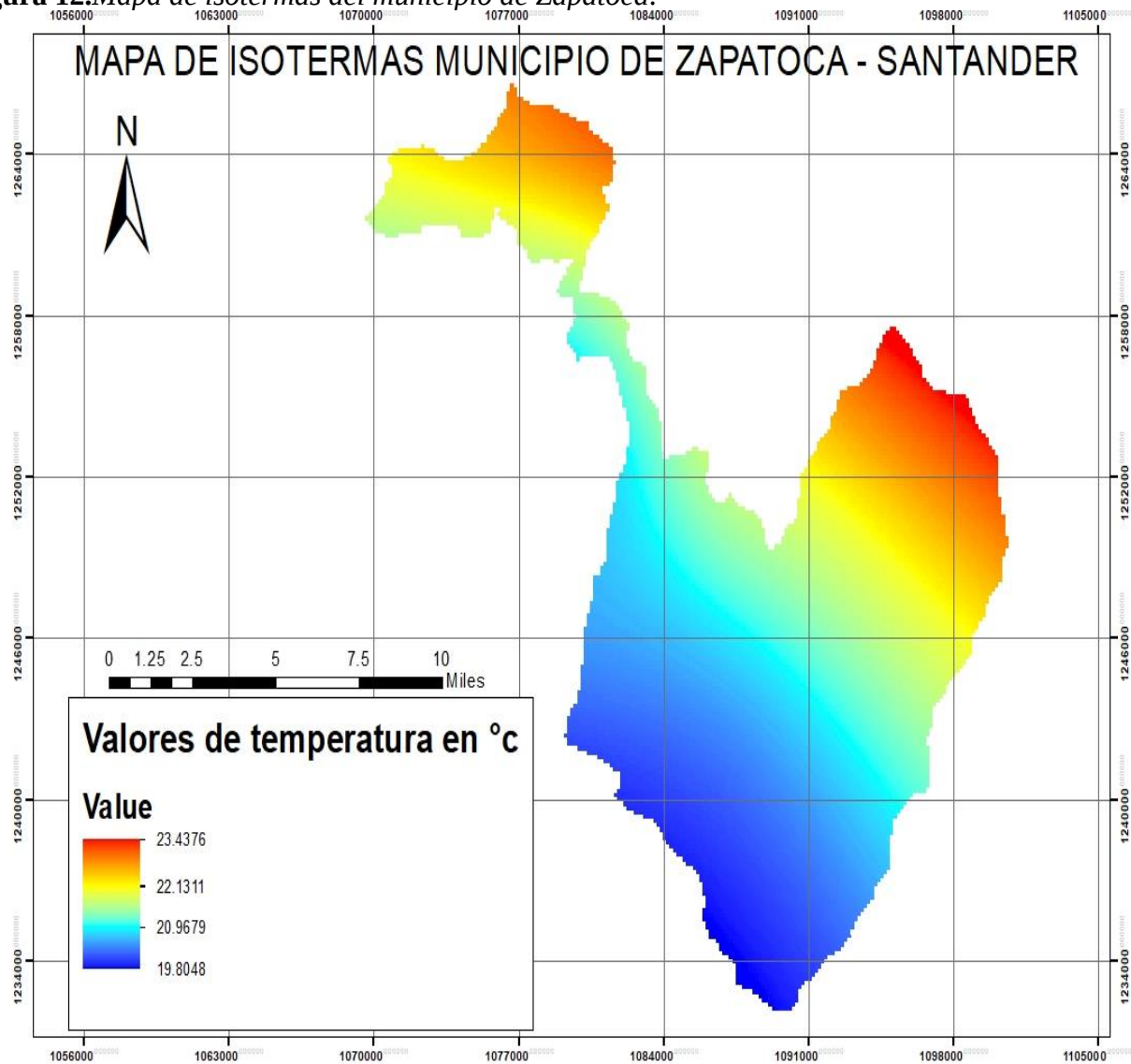
Para la información del sector agrícola del municipio fue necesario realizar una visita técnica, debido a que no se encuentra información relacionada de misma, para cada uno de los cultivos por mes de siembra, dicha información se encuentra anexada en el apéndice A, donde se destaca, que los cultivos de Cacao, Tomate y Cebolla presentan mayor consumo en los meses de abril y mayo con un aproximado de 250 mil m3 a diferencia de los otros cultivos. (ver apéndice A)

Así mismo se realizó para la información pecuaria anexada en el apéndice A donde se destaca la cantidad de animales y su consumo en litros por mes, donde los bovinos representan el mayor consumo de agua por mes. (Ver apéndice A), No se hace un cálculo de dotación bruta para el sector residencial, y el comercial porque la idea es, no tener un valor teórico de la demanda, sino, utilizar el valor facturado mensualmente por el acueducto del municipio, teniendo en cuenta que los valores de ganadería y agricultura no estarían incluidos en dicha facturación, ya que las fincas de área de estudio se abastecen directamente de la fuente hídrica.

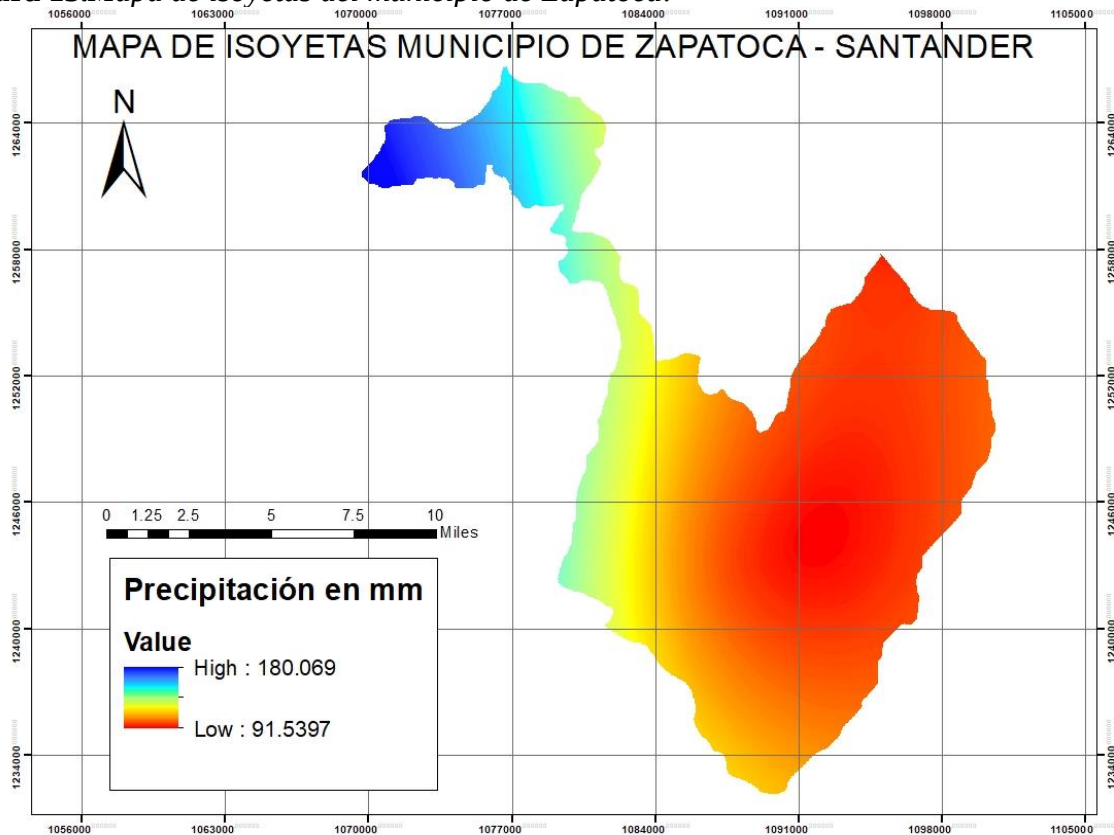
4.4. Procesamiento de la información

Con los mapas anteriormente mencionados y toda la información recolectada de precipitación y temperatura, se procedió a realizar el respectivo análisis y procesamiento en el software ARGIS, donde se modela el municipio y se obtuvo como resultado los mapas de balance hídrico, isotermas e isoyetas para el año 2019.

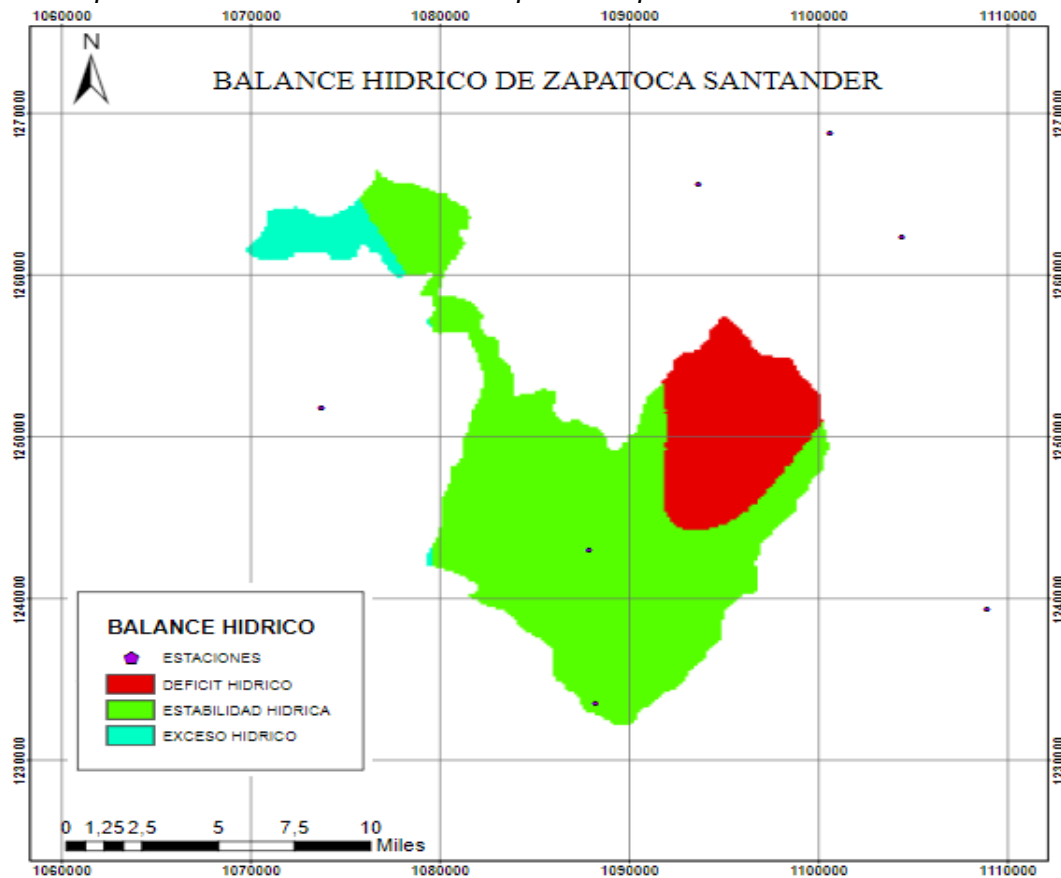
En el mapa de isotermas, se puede evidenciar que el municipio de Zapatoca cuenta con temperaturas que oscilan entre los 21°C y 23°C, categorizando la ciudad como clima templado.

Figura 12. *Mapa de isotermas del municipio de Zapatoca.*

En cuanto a la información registrada por el mapa de isoyetas, se puede evidenciar que la precipitación promedio del municipio oscila entre 90mm y 160mm.

Figura 13. *Mapa de isoyetas del municipio de Zapatoca.*

Encontrados los mapas de isoyetas e isotermas, se procedió a la realización del balance hídrico general del municipio, donde se evidencia que el municipio cuenta con un déficit hídrico en el 21% del área de estudio, una estabilidad hídrica en el 73% del área de estudio y un exceso hídrico en el 5% del área de estudio, como se representa en el siguiente mapa, todos estos datos son definidos para los últimos 10 años desde el 2010 hasta el 2019.

Figura 14. *Mapa de balance hídrico del municipio de Zapatoaca.*

En cuanto al balance hídrico sabemos que es un índice de relación entre la precipitación y la evapotranspiración potencial, es por eso que cuando nos referimos al déficit hídrico, es el resultado a una precipitación baja en comparación con la evapotranspiración lo que quiere decir que la relación es menor a 0.8, lo cual lo podemos asociar con sequías y escasez de agua en el sector, en cambio cuando hablamos de exceso hídrico la relación de precipitación y evapotranspiración es mayor a 1.2, lo cual podría representar inundaciones y demás fenómenos, y en cuanto a la estabilidad hídrica, podemos decir que es el estado correcto entre la precipitación y la evapotranspiración teniendo en cuenta que esta relación debe estar entre 0.8 y 1.2.

4.5. Recolección de datos de la población

En el año 2014 el municipio de Zapatoca, contaba con alrededor de 8969 habitantes, según el censo nacional, con una distribución del 63% en el área urbana y un 37% en el área rural, para el año 2018 la población tuvo un incremento notorio de 497 habitantes, lo cual equivale a 9466 habitantes, distribuidos en un 33.7% de población rural y un 67.3% de área urbana, como último dato importante se encontró que para el año 2021 la población del municipio descendió a 9255 habitantes; con esta información se procedió a realizar una proyección poblacional por el método aritmético, con lo cual se obtuvo la población anual de los próximos 20 años dando como resultado la siguiente tabla:

Tabla 9.Cantidad Poblacional del municipio de Zapatoca.

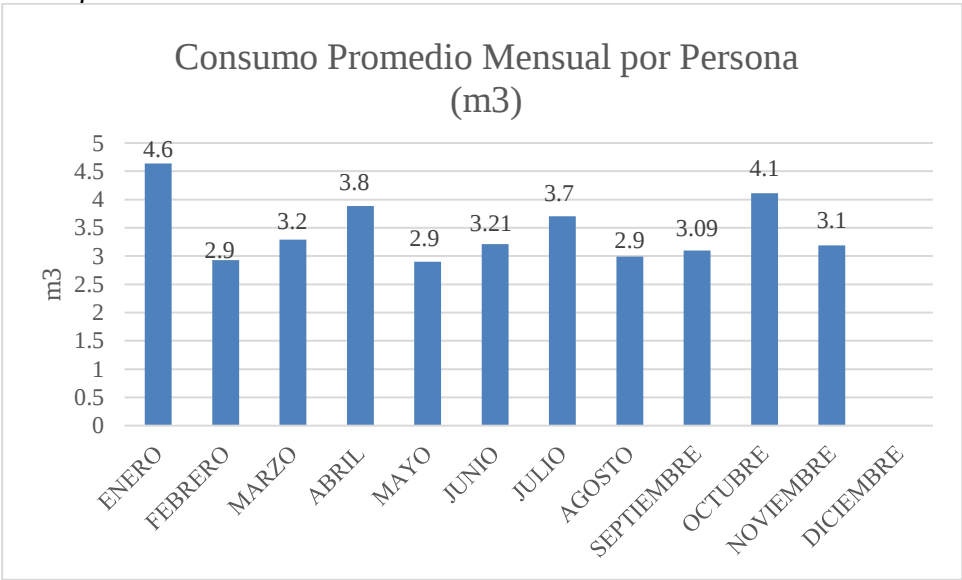
Dia	Mes	Año	Número de habitantes
24	10	1993	10224
22	11	2014	8969
30	7	2018	9466
30	7	2021	9255
30	7	2019	9541
30	7	2020	9341
30	7	2021	9383
30	7	2022	9426
30	7	2023	9469
30	7	2024	9512
30	7	2025	9554
30	7	2026	9597
30	7	2027	9640
30	7	2028	96830
30	7	2029	9725

Día	Mes	Año	Número de habitantes
30	7	2030	9768
30	7	2031	9811
30	7	2032	9854
30	7	2033	9896
30	7	2034	9939
30	7	2035	9982
30	7	2036	10025
30	7	2037	10067
30	7	2038	10110
30	7	2039	10153
30	7	2040	10196
30	7	2041	10238

4.6. Consumo hídrico poblacional

El municipio de Zapatoca, cuenta con un acueducto municipal capaz de generar un promedio anual de 22.47 lts/s de agua potable , de los cuales el municipio de Zapatoca consume 12.31 lts/s en promedio anual , lo cual equivale a una pérdida del 45% en el agua producida por el acueducto, teniendo en cuenta que para el año establecido de consumo existente la población del municipio está en 9255 habitantes, se puede establecer la relación que por habitante el consumo promedio anual es de 0.00133 lts/s, dando como resultado un volumen de agua de 42 m³ de consumo promedio anual por persona.

Figura 15. Consumo promedio mensual



4.7. Requerimiento hídrico de los cultivos

Para el requerimiento hídrico de los cultivos se utilizó el software CROPWAT donde inicialmente se introdujeron valores del clima presentes en la siguiente tabla:

Tabla 10. Clima de Zapatoca.

Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ETo
	°C	°C	%	km/día	horas	MJ/m²/día	mm/día
Enero	17	25.5	87	61	5.4	16.1	3.14
Febrero	14.4	22.7	85	61	5.7	17.5	3.16
Marzo	17.6	25	87	61	5.4	17.7	3.43
Abril	15.9	22.5	89	61	5.5	17.9	3.31
Mayo	17	23.8	89	121	5.9	18	3.35
Junio	14.8	21.9	87	86	7	19.1	3.39
Julio	14.3	22.4	87	86	7	19.3	3.37
Agosto	17	23	85	121	6.5	19	3.48

Mes	Temp Min	Temp Max	Humeda d	Vient o	Insolació n	Rad	ETo
	°C	°C	%	km/dí a	horas	MJ/m ² /dí a	mm/dí a
Septiembre	17	24.5	87	121	5.4	17.6	3.39
Octubre	15.4	23.4	89	61	4.7	16.1	3.02
Noviembre	15.8	23.1	90	61	5.1	15.8	2.84
Diciembre	17.5	25.5	90	61	5.7	16.2	3.01

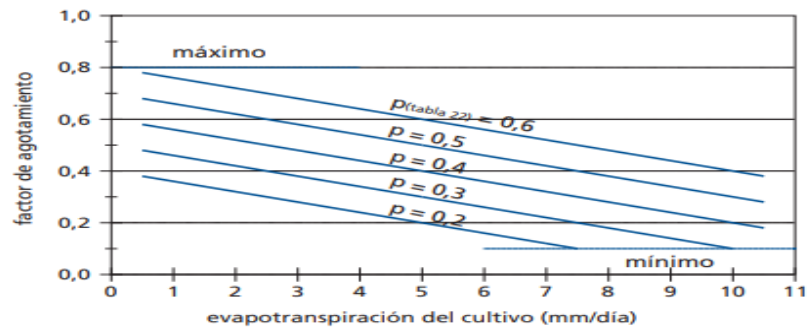
En la tabla 11, se presentan los valores de la precipitación mensual del año 2019 datos necesarios para el requerimiento hídrico de los cultivos que se s utilizó el software CROPWAT

Tabla 11.*Precipitación de Zapatoca.*

Mes	Precipit.	Prec. efec
	Mm	Mm
Enero	283	153.3
Febrero	334	158.4
Marzo	472	172.2
Abril	537	178.7
Mayo	634	188.4
Junio	626	187.6
Julio	592	184.2
Agosto	514	176.4
Septiembre	537	178.7
Octubre	577	182.7
Noviembre	539	178.9
Diciembre	417	166.7

Así mismo en el módulo de cultivo presente en el programa se introducen los datos de los cultivos que se desarrollan en el área de estudio ya antes determinados, estos datos se obtuvieron de la guía FAO para la determinación de los requerimientos de agua en los cultivos, evapotranspiración de cultivos; Donde se empieza por identificar el coeficiente basal del cultivo (K_c) dispuestos en el cuadro 17 de dicha guía, enumerando todos los cultivos dispuesto en la tabla 1; posterior a esto se introducen los datos de duración de las etapas de crecimiento del cultivo dispuesto en la tabla 11; excepto por el cultivo del Café y del cacao donde fue necesario realizar una búsqueda exhaustiva de la información; para el Café se obtuvieron los datos de un estudio de crecimiento de desarrollo [35], y los datos del cacao fueron recuperado de Agropedía [36]; Para los rangos de profundidad radicular de los cultivos se verifico el cuadro 22 de la guía de FAO donde se observa como el valor máximo efectivo de las raíces (Z_r) y fracción de agotamiento de la humedad en el suelo para condiciones sin estrés hídrico, en cultivos comunes un valor inicial de profundidad de 0.05m.

Para hallar el factor de agotamiento es necesario usar la figura siguiente, en donde se tienen en cuenta los factores del mes de siembra, días de siembra, el ETo y la profundidad radicular hallada anteriormente, se traza una línea vertical recta con el valor de ETo dependiendo de los días de siembra y seguido de esto se traza una línea horizontal con la profundidad radicular del cultivo; dicha interacción de líneas nos indica el valor de P .

Figura 16.Factor de agotamiento.

Adaptado de [27].

El factor de respuesta se halla teniendo en cuenta el cuadro 24 donde están los coeficientes estacionales de respuesta de la productividad de FAO para cada uno de los cultivos, excepto el del cacao y el café, dichas referencias son las mismas mencionadas anterior mente; para finalizar se toma la altura del cultivo del cuadro 12 donde se presentan los valores de alturas máximas. a continuación, se muestra la tabla de cultivos que fue debidamente transcrita del software Cropwat.

Tabla 12. Cultivos de Zapotoca

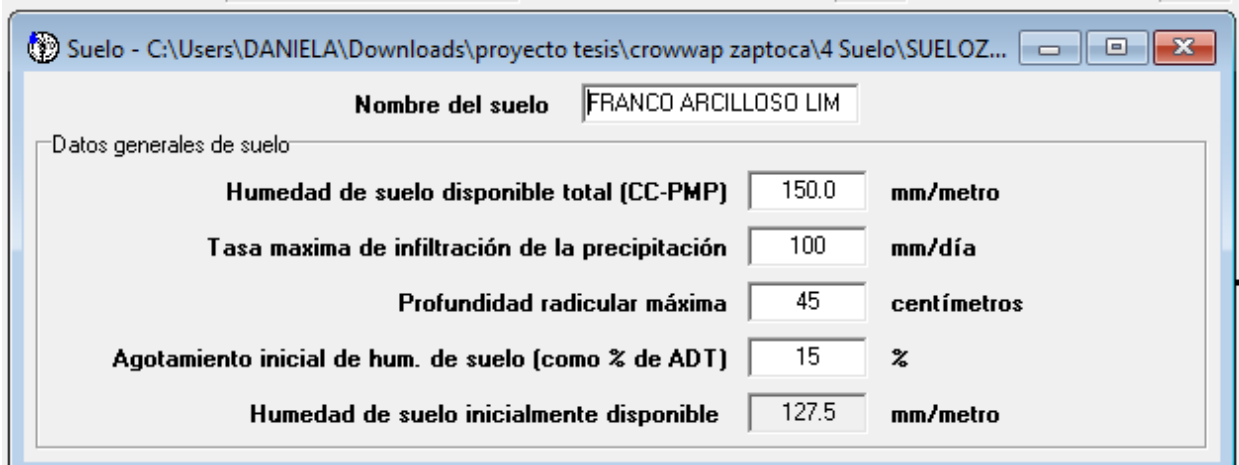
		Pág. 158-162			Pág. 125-129				Pag 184-186		Pág. 187			Pág. 202						Pág. 131-135	
Cultivo	Mes de siembra	Kc			Etapas (días)				to	Prof. Radicular (m)		Factor Agotamiento			Factor Respuesta						Altura de cultivo (m)
		inicial	Medio	final	inicial	desarrollo	media	fin de temporada		inicial	final	inicial	medio	final	f1	f2	f3	f4	f5	promedio	
Café	Diciembre	0.80	0.90	0.90	60	90	90	330	570	0.05	1.20	0.05	0.60	0.60	0.4	0.48	0.59	0.7	0.7	0.574	2.50
Cacao	Diciembre	0.90	1.00	1.00	20	50	90	20	180	0.05	0.85	0.05	0.60	0.60	0.39	0.47	0.58	0.5	0.7	0.528	3.00
Uva	Mayo	0.20	1.00	0.40	20	50	90	20	180	0.05	1.10	0.05	0.60	0.60	0.84	0.84	0.93	0.82	0.8	0.846	1.75
Limón	Enero	0.45	0.40	0.50	60	90	120	95	365	0.05	0.95	0.05	0.60	0.60	0.9	1.1	1.3	1.7	1	1.2	2.00
Caña	Diciembre	0.15	1.20	0.70	50	70	220	140	480	0.05	1.60	0.05	0.60	0.60	0.9	1.1	1.3	1.7	1	1.2	3.00
Tomate	Enero	0.15	1.10	0.70	30	40	40	25	135	0.05	1.10	0.05	0.60	0.60	0.95	1	1.3	0.9	1.1	1.05	0.60
Maíz	Marzo	0.15	1.10	1.00	20	20	30	10	80	0.05	1.00	0.05	0.60	0.60	0.95	1.2	1.4	1.7	1	1.25	1.50
Frijol	Mayo	0.15	1.10	0.25	20	30	40	20	110	0.05	0.65	0.05	0.50	0.52	0.85	1	1.2	1.7	1	1.15	0.40
Cebolla	Marzo	0.15	0.90	0.90	20	45	20	10	95	0.05	0.15	0.05	0.20	0.20	1	1	1.4	1	1.1	1.1	0.30

Para procesar la información en el software CROPWAT fue necesario tener en cuenta los siguientes datos de suelos.

4.8. Datos de suelos

Se Ingresó al software Soil water en el que se extrae información básica del suelo dependiendo de sus características principales, como primera instancia se introduce la información referente a los porcentajes de arcilla y arena contenidos en el suelo, y con dicha información el programa nos muestra los datos generales pertenecientes al tipo de suelo encontrado; aquellos valores fueron relacionados de la información suministrada por el mapa de uso de suelos del municipio (Ver figura 7) ; ya teniendo dicha información en el software sol water se determinó las variables necesarias para el módulo de suelo en el programa Cropwat. .

Figura 17. Suelo en Cropwat.



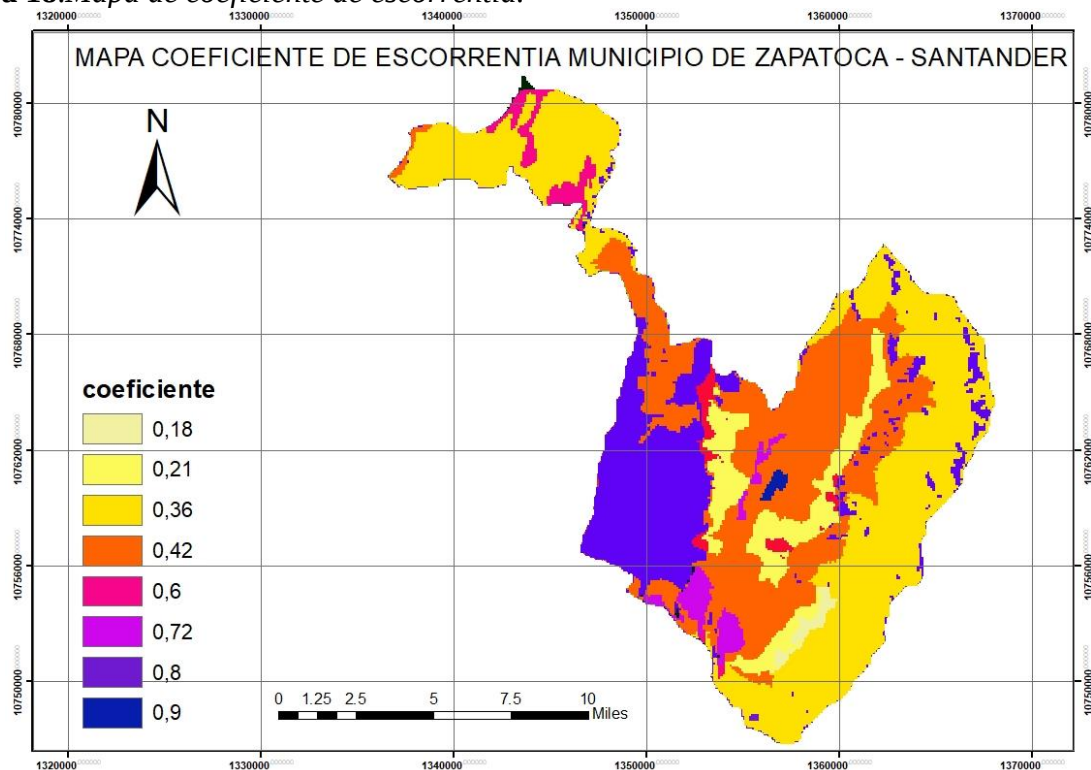
Nombre del suelo		
FRANCO ARCILLOSO LIM		
Datos generales de suelo		
Humedad de suelo disponible total (CC-PMP)	150.0	mm/metro
Tasa maxima de infiltración de la precipitación	100	mm/día
Profundidad radicular máxima	45	centímetros
Agotamiento inicial de hum. de suelo (como % de ADT)	15	%
Humedad de suelo inicialmente disponible	127.5	mm/metro

4.9. Cálculo del caudal medio anual y mensual

El acueducto municipal de Zapatoca no cuenta con la capacidad de llevar un registro diario de los caudales de las cuencas que abastecen el acueducto, por tal razón el único dato que nos suministran es el obtenido en el año 2018 donde se realizó la toma de caudales para la realización del PUEAA, el cual muestra una variación de 47.6 lts/s para la quebrada la zarza y 126 lts/s para la quebrada la ramera, para términos de esta investigación, se decide realizar el cálculo de caudales medios, teniendo en cuenta la ecuación número 1 denominada para el cálculo de caudales medio

donde sus componentes principales son la precipitación, el área de estudio, y el coeficiente de escorrentía; este último se calculó mediante el modelamiento del municipio en el programa ArcGIS, haciendo uso de las precipitaciones, los mapas de usos de suelo y el modelo de elevación; teniendo como resultado el siguiente mapa de escorrentía.

Figura 18. Mapa de coeficiente de escorrentía.



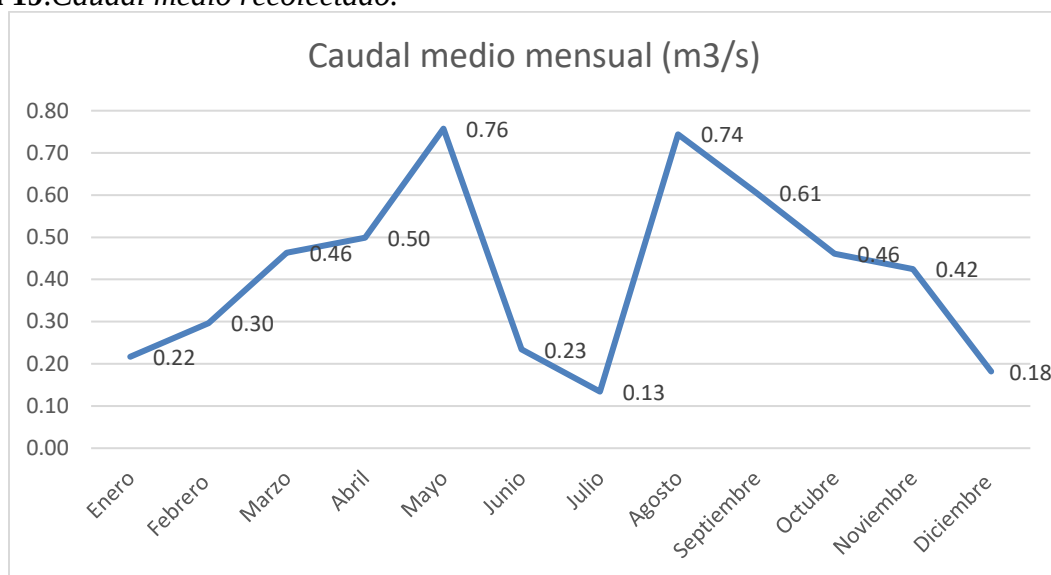
Al realizar el respectivo análisis del mapa obtenido se llega a la conclusión que el coeficiente de escorrentía predominante en el municipio es de 0,36; ya teniendo dicho dato se procede al cálculo del caudal medio: donde la precipitación promedio anual es igual a 104mm, el coeficiente de escorrentía es 0,36 y el área de estudio es 353 km²; al introducir todo en la ecuación nos da como resultado un caudal medio de 0.0419 m³/s anuales lo cual equivale a 419 lts/s; de los cuales si revisamos los datos suministrados por el acueducto de este caudal solo se logra recolectar un 10% de este caudal medio anual lo cual equivale a 41.9lts/s.

Teniendo en cuenta que se obtuvieron las precipitaciones promedio mensuales podemos calcular el caudal medio mensual para el año 2019 y posteriormente el cálculo del volumen hídrico mensual:

Tabla 13.*Precipitación mensual.*

Mes	Precipitación mensual [mm]	Área [km²]	Coefficiente de escorrentía	Caudal medio [m³/s]	Volumen hídrico mensual [m³]
Enero	54	353	0.36	0.22	561,679.8
Febrero	74	353	0.36	0.30	768,490.8
Marzo	115	353	0.36	0.46	1,200,652.7
Abril	124	353	0.36	0.50	1,292,307.6
Mayo	188	353	0.36	0.76	1,963,398.8
Junio	58	353	0.36	0.23	606,593.3
Julio	33	353	0.36	0.13	347,818.5
Agosto	185	353	0.36	0.74	1,928,408.1
Septiembre	150	353	0.36	0.61	1,569,100.1
Octubre	114	353	0.36	0.46	1,195,169.1
Noviembre	105	353	0.36	0.42	1,100,903.0
Diciembre	45	353	0.36	0.18	472,114.0
Anual	104	353	0.36	0.42	1,083,886.3

A partir de la tabla anterior se realizó la figura 19 del caudal recolectado mensualmente y en esta se puede ver la variación que presenta mes a mes durante el año 2019.

Figura 19. *Caudal medio recolectado.*

En esta grafica se puede evidenciar que en el mes de julio fue donde se presentó el menor caudal medio y en los meses de mayo y agosto fue donde el caudal es significativamente alto.

4.10. Cálculo del caudal ecológico

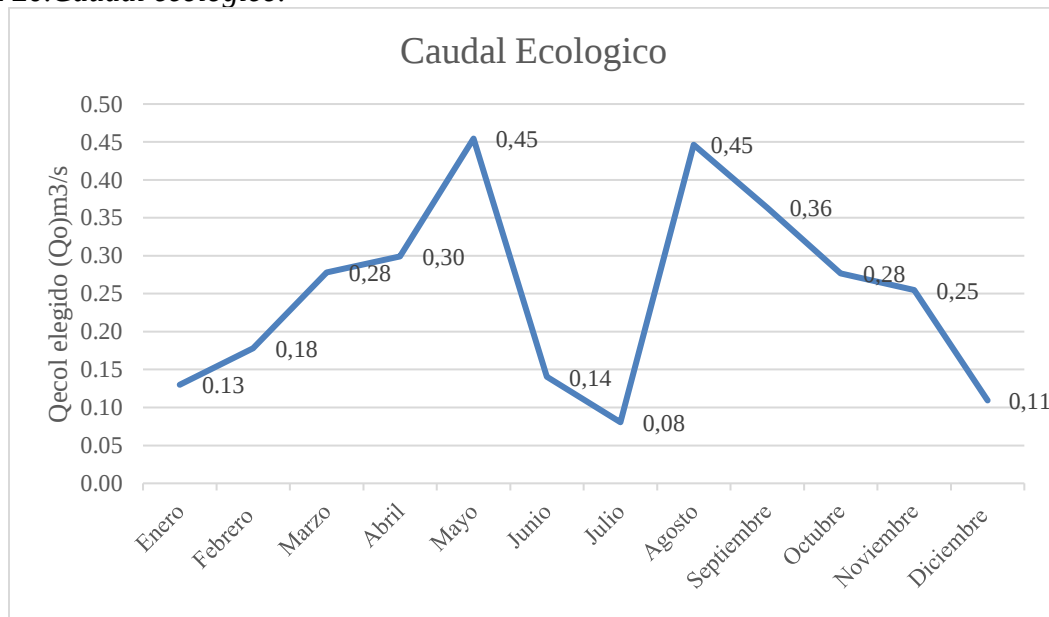
Para el cálculo del caudal ecológico se tuvo en cuenta la Guía rápida para la determinación de caudales ecológicos de la WFF, en la cual como primera instancia se pide determinar el estado de conservación deseado de la cuenca del municipio representado por un objetivo ambiental el cual es basado en la tabla 14.

En el que se define un objetivo de clase C Donde se toma como importancia ecológica Mediana dado a las características del agua ya que hace referencia a una quebrada donde el cuerpo hídrico de estudio no tiene alguna importancia de conservación y no pertenece a un depósito de sistema estratégico de reserva de agua, ni presenta gran presencia de especies y biodiversidad en la zona; por otra parte la presión de uso se asume como alta dado que dichas cuencas se usan como suministro de agua para el municipio. (Ver Figura 2-3)

por último, se crea la siguiente tabla en la que podemos determinar el Caudal ecológico teniendo como objetivo ambiental C y estado de conservación Moderado que se encuentra para corrientes permanentes entre 15-25 por ciento donde se decide respetar como mínimo un 20 por ciento del caudal.

Tabla 14. *Caudal ecológico.*

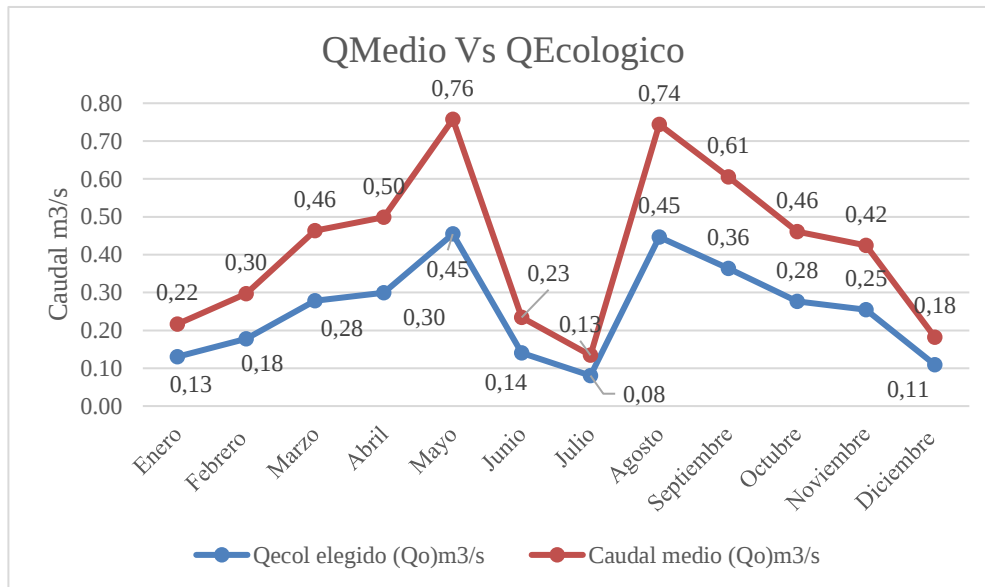
Caudal Medio Mensual=CMM		Escorrentimiento medio anual = EMA= 0.42 m3/s		
Intervalos de valores de regencia para régimen de caudal ecológico corrientes permanentes				
Mes	CMM	Moderado		Qecol elegido
		15%	24%	
Enero	0.22	0.03	0.05	0.13
Febrero	0.30	0.04	0.07	0.18
Marzo	0.46	0.07	0.11	0.28
Abril	0.50	0.07	0.12	0.30
Mayo	0.76	0.11	0.18	0.45
Junio	0.23	0.04	0.06	0.14
Julio	0.13	0.02	0.03	0.08
Agosto	0.74	0.11	0.18	0.45
Septiembre	0.61	0.09	0.15	0.36
Octubre	0.46	0.07	0.11	0.28
Noviembre	0.42	0.06	0.10	0.25
Diciembre	0.18	0.03	0.04	0.11
Promedio	0.42	0.06	0.10	0.25

Figura 20. Caudal ecológico.

En la figura anterior se puede observar que el mes de mayo y agosto se debe presentar una mayor conservación del caudal ecológico con una aproximación de 0.45 m³/s; por otra parte, la conservación del caudal ecológico del mes de junio es tan solo de 0.08 m³/s siendo necesario para el funcionamiento normal y natural del ecosistema fluvial, de no cumplirse dicha conservación se podría causar daños graves en el ecosistema dado que es la temporada más seca del año.

4.11. Comparación del caudal medio con el caudal Ecológico

Figura 21. *Q Medio Vs Q Ecológico.*



Teniendo el régimen de caudal medio y el caudal ecológico para las cuencas de estudio se determina la oferta de agua azul para el año de estudio en los cuales de acuerdo con las precipitaciones mensuales se observa que los meses más críticos son Junio, Julio y Diciembre, teniendo en cuenta que el mes con menos precipitaciones y por ende menos caudal medio es julio, generando una intersección entre el caudal medio recolectado por el municipio y el caudal ecológico, con una diferencia de tan solo 0.05 m³/s.

Seguido de esto se realiza un análisis para determinar la sostenibilidad del consumo hídrico en relación con la oferta de agua existente en el área de estudio, donde la sostenibilidad hace referencia a la relación entre el volumen utilizado del recurso y la disponibilidad natural que existe en dicho recurso. La sostenibilidad para un periodo de tiempo se define en términos de un índice de escasez en donde un valor inferior a 1 indica un uso sostenible del agua, un valor superior a 1 indica un uso de insostenibilidad y un valor de 0 representa un uso nulo del recurso o que no existe

huella hídrica [28], *para* ello se determina la oferta mensual de las cuencas y se le resta el caudal ecológico, dicha resta arroja un promedio de 2.01 lo que nos indica insostenibilidad del recurso hídrico. Dicho calculo se realiza en Excel Apéndice C a este documentó.

4.12. Aplicación de mecanismo para el cálculo de la HH.

Una vez introducido los valores de los cultivos en el software Cropwat se procesa la información y arrojó la Eff rain mensual, Irr. Req. Mensual, como se observa en la tabla 13 en la cual se pone como ejemplo la información del café; con estos datos se realiza el cálculo de huella hídrica azul, verde y gris para cada uno de los cultivos, así mismo se tuvo en cuenta el rendimiento del cultivo y las hectáreas cultivadas, información que fue recolectada en la visita técnica realizada en el municipio, donde se visitaron 5 fincas de la zona, además de la información recolectada de la federación Colombia de café y algunas base de datos ya existentes como el Censo Fenavi y el Censo 2019- del instituto colombiano agropecuario ICA, la presente información se encuentra anexa en el Excel. (Todos los cálculos se realizan para un mismo año, para cada uno de los cultivos).

Tabla 15. *Cultivo de Café anual.*

Mes	Década	Etapas	Kc	ETc	ETc	Efe Lluvia	Irr. Req.
			Coeficiente	mm/ día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Diciembre	1	Init	0.8	2.18	21.8	10.2	11.6
Diciembre	2	Deve	0.8	2.17	21.7	1.5	20.2
Diciembre	3	Deve	0.81	2.24	24.6	3.1	21.6
Enero	1	Deve	0.81	2.31	23.1	5.9	17.1
Enero	2	Deve	0.82	2.38	23.8	6.5	17.3
Enero	3	Deve	0.82	2.46	27.1	6.2	20.9

Mes	Década	Etapas	Kc	ETc	ETc	Efe Lluvia	Irr. Req.
Febrero	1	Deve	0.83	2.55	25.5	3	22.5
Febrero	2	Deve	0.83	2.64	26.4	1.4	25
Febrero	3	Deve	0.83	2.72	21.7	12.9	8.9
Marzo	1	Deve	0.84	2.8	28	29.3	0
Marzo	2	Mid	0.84	2.87	28.7	41	0
Marzo	3	Mid	0.84	2.8	30.8	36.9	0
Abril	1	Mid	0.84	2.72	27.2	28.7	0
Abril	2	Mid	0.84	2.65	26.5	25.2	1.4
Abril	3	Mid	0.84	2.65	26.5	31.6	0
Mayo	1	Mid	0.84	2.65	26.5	42.7	0
Mayo	2	Mid	0.84	2.65	26.5	49.8	0
Mayo	3	Mid	0.84	2.71	29.9	40.5	0
Junio	1	Mid	0.79	2.59	25.9	27.8	0
Junio	2	Mid	0.79	2.65	26.5	19.5	7
Junio	3	Mid	0.79	2.66	26.6	18.1	8.5
Julio	1	Mid	0.79	2.67	26.7	14.1	12.6
Julio	2	Mid	0.79	2.67	26.7	10.2	16.5
Julio	3	Mid	0.79	2.72	29.9	21.3	8.6
Agosto	1	Mid	0.79	2.76	27.6	36.9	0
Agosto	2	Late	0.79	2.81	28.1	47.7	0
Agosto	3	Late	0.79	2.8	30.8	45.7	0
Septiembre	1	Late	0.79	2.79	27.9	43.6	0
Septiembre	2	Late	0.79	2.77	11.1	17.5	0
Septiembre	3	Init	0.8	2.41	26.5	24.1	2.5
Octubre	1	Init	0.8	2.31	23.1	29.1	0
Octubre	2	Init	0.8	2.51	12.6	11.1	1.4
Octubre	3	Init	0.8	2.41	26.5	24.1	2.5
Noviembre	1	Init	0.8	2.31	23.1	29.1	0

Mes	Década	Etapa	Kc	ETc	ETc	Efe Lluvia	Irr. Req.
Noviembre	2	Init	0.8	2.2	22	31.2	0
Noviembre	3	Init	0.8	2.19	21.9	22.5	0
Diciembre	1	Init	0.8	2.18	21.8	10.2	11.6
Diciembre	2	Deve	0.8	2.17	21.7	1.5	20.2
Diciembre	3	Deve	0.81	2.24	24.6	3.1	21.6
Enero	3	Deve	0.82	2.46	27.1	6.2	20.9
Enero	1	Deve	0.83	2.55	25.5	3	22.5
Enero	2	Deve	0.83	2.64	26.4	1.4	25
Julio	3	Deve	0.83	2.72	21.7	12.9	8.9

4.12.1 Huella azul.

Una huella hídrica azul mide la cantidad de agua disponible que se consume durante un período de tiempo (es decir, que no se devuelve inmediatamente a la misma cuenca). De esta manera, se proporciona una medida de agua azul disponible para el consumo humano. Las aguas subterráneas y superficiales restantes no se utilizan para fines humanos, sino que se utilizan para sustentar los ecosistemas que dependen de estos flujos. El consumo de agua azul se refiere a cualquiera de los siguientes: el agua se evapora, el agua se ingiere en un producto, el agua no regresa a la misma área afectada, o el agua se consume al mismo tiempo Sin retorno [10].

Figura 22.Huella hídrica azul mensual por sectores.



En la figura 23 se observa la huella hídrica azul por sectores económicos, donde el sector agrícola es el sector con mayor huella hídrica alcanzando una huella hídrica de 1.306 miles de m3 de agua mensuales, en comparación con la huella hídrica residencial que no logra alcanzar los 50.000 m3 de agua.

Figura 23.Huella azul total mensual.

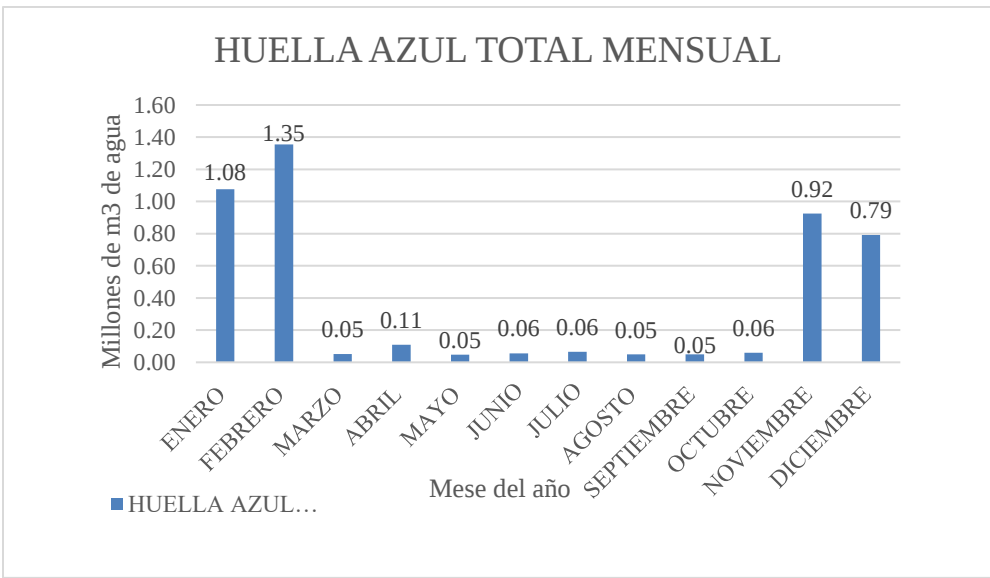
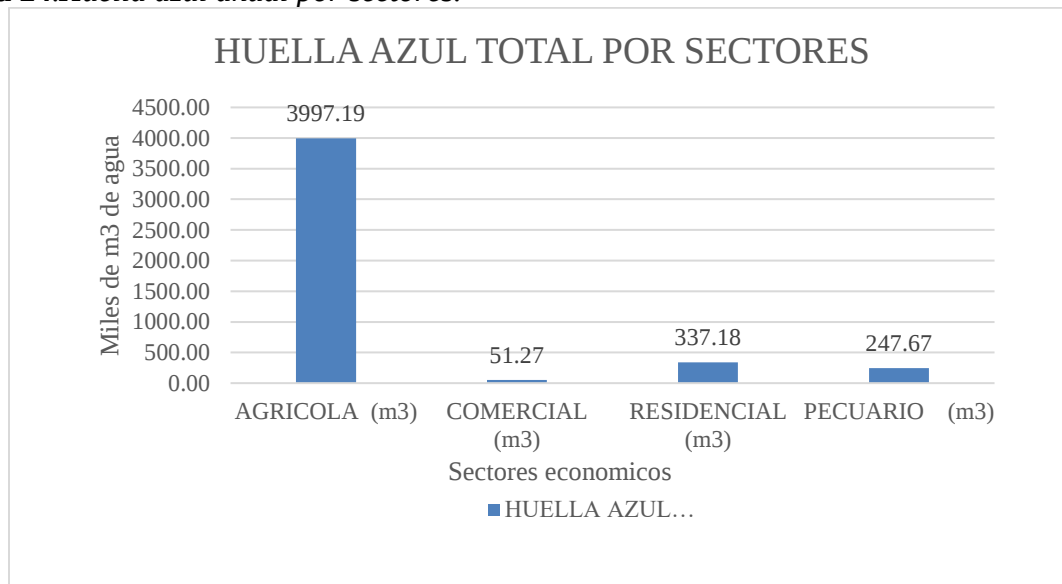
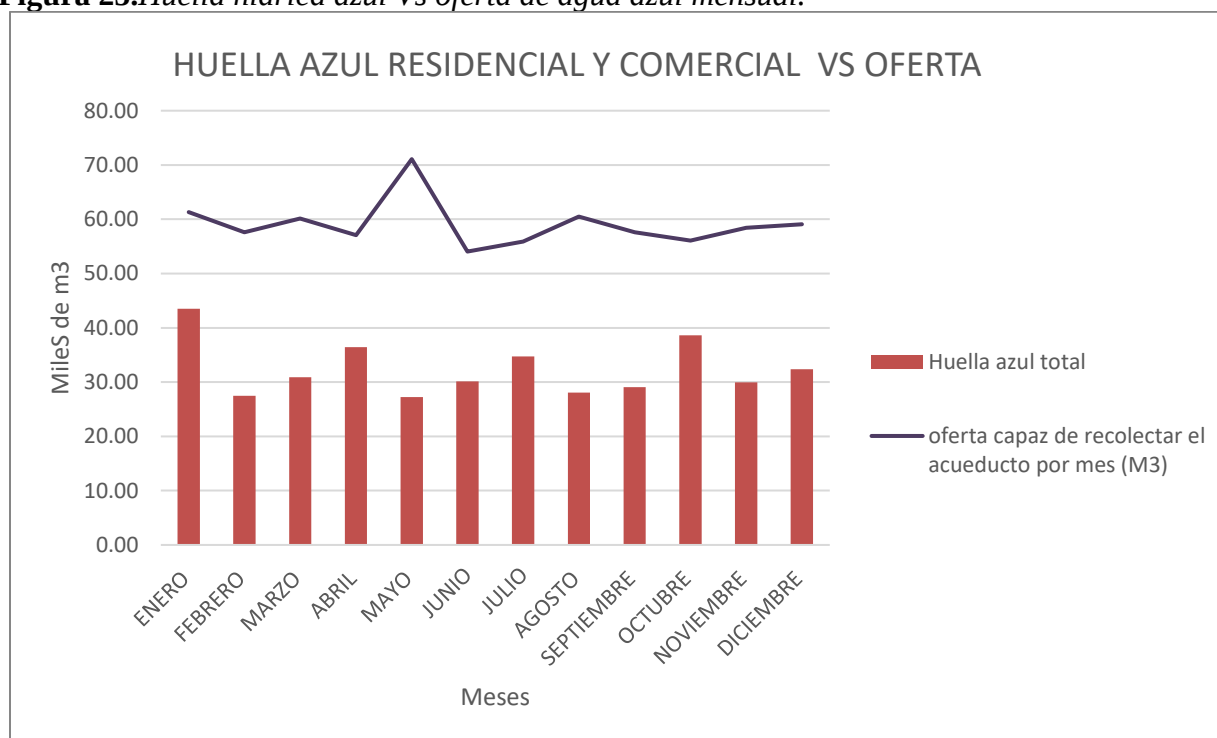
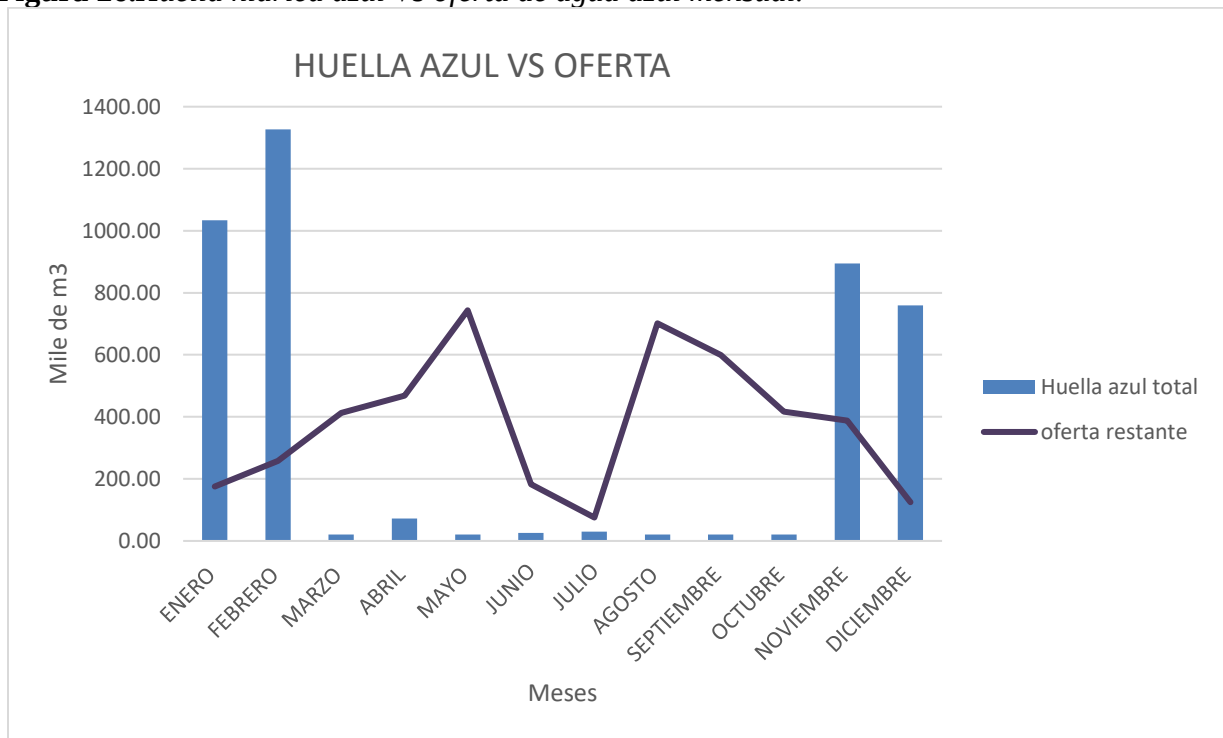


Figura 24. *Huella azul anual por sectores.*

En la figura 24 se puede observar los sectores económicos y su huella azul anual respectivamente, en donde podemos evidenciar que el sector con mayor huella azul es el agrícola con 3997.19 miles de m3 anuales, seguido del residencial con una huella azul de 337.18 miles de m3 anuales, siendo identificados como escenarios críticos, por otra parte, los demás sectores se encuentran por debajo de los 250.0 miles de m3 anuales.

Figura 25. *Huella hídrica azul Vs oferta de agua azul mensual.*

En la figura 25 se pueden observar los resultados de la suma de la huella azul de los sectores económicos que se abastecen de la oferta hídrica suministrada por el acueducto municipal, ya que el sector agrícola se abastece directamente de las fuentes hídrica o de nacimientos propios, teniendo en cuenta lo anterior se puede evidenciar como resultado que la oferta suministrada por el acueducto es acta para la demanda generada por los sectores económicos residenciales y comerciales, siendo estable hídricamente.

Figura 26. *Huella hídrica azul Vs oferta de agua azul mensual.*

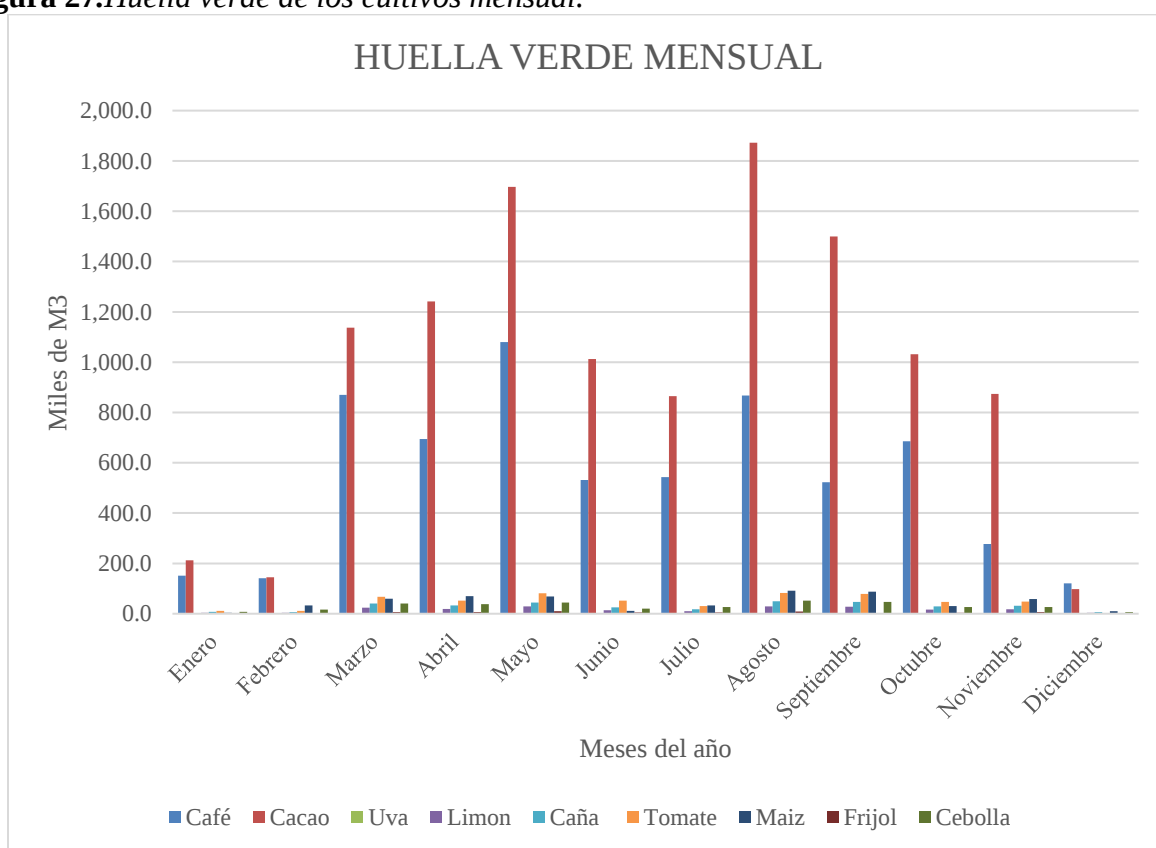
En la figura anterior se pueden observar los resultados de la suma de la huella azul de los sectores económicos que no se abastecen de la oferta hídrica suministrada por el acueducto municipal, como lo son el sector agrícola y el pecuario, teniendo en cuenta lo anterior se puede evidenciar como resultado que, en los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre, la demanda sobrepasa la oferta, generando índices de insostenibilidad hídrica.

4.12.2 Huella hídrica verde

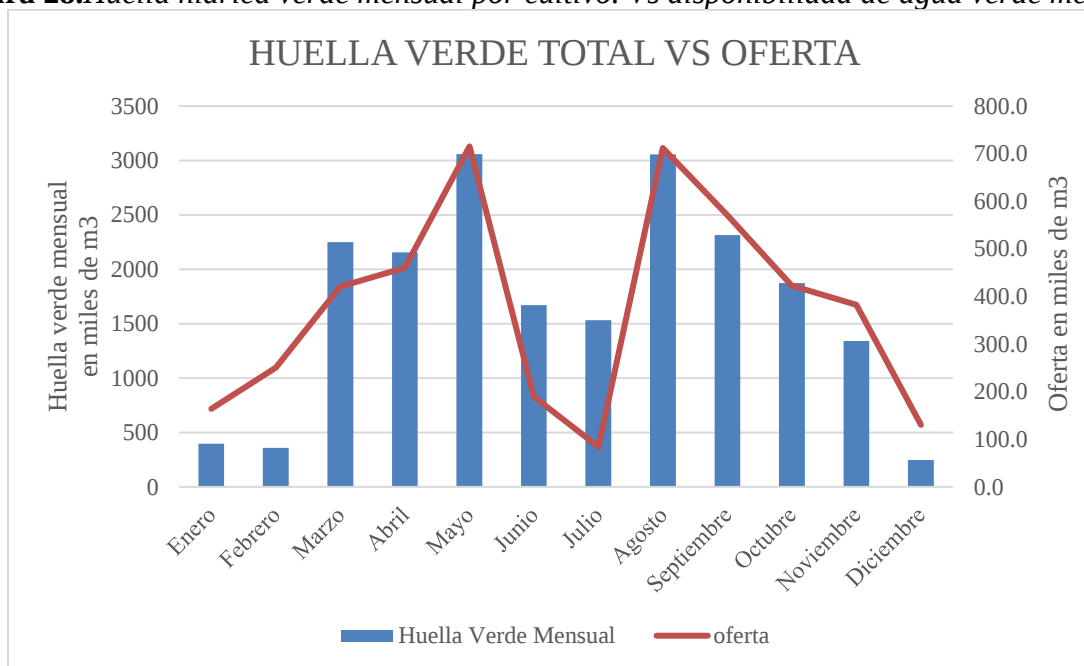
La huella hídrica verde, por otro lado, es la cantidad de agua de lluvia consumida durante la producción. Esto es particularmente relevante para los productos agrícolas y se refiere a la cantidad total de agua de lluvia que se evapora (de los campos y plantaciones) más el agua de los cultivos y la madera recolectada [5].

De manera similar, el agua verde es la lluvia en la tierra que no drena ni recarga las aguas subterráneas, sino que se almacena en el suelo o se deja temporalmente en el suelo y la vegetación y se evapora o transpira con el tiempo. El agua verde se puede utilizar para el crecimiento de las plantas (pero no toda el agua verde es absorbida por las plantas, siempre hay evaporación del suelo y no en todas las épocas del año o regiones es adecuado para el crecimiento de las plantas).

Figura 27. *Huella verde de los cultivos mensual.*



En la figura anterior se evidencia la huella verde mensual de cada cultivo, siendo el café y el cacao los cultivos con mayor huella verde mensual.

Figura 28. *Huella hídrica verde mensual por cultivo. Vs disponibilidad de agua verde mensual.*

En la figura 28 se evidencia el consumo mensual total de los cultivos para un año de siembra, donde los meses con mayor huella verde se presenta en mayo y agosto y los meses con menor huella verde se presentan en enero, febrero y diciembre.

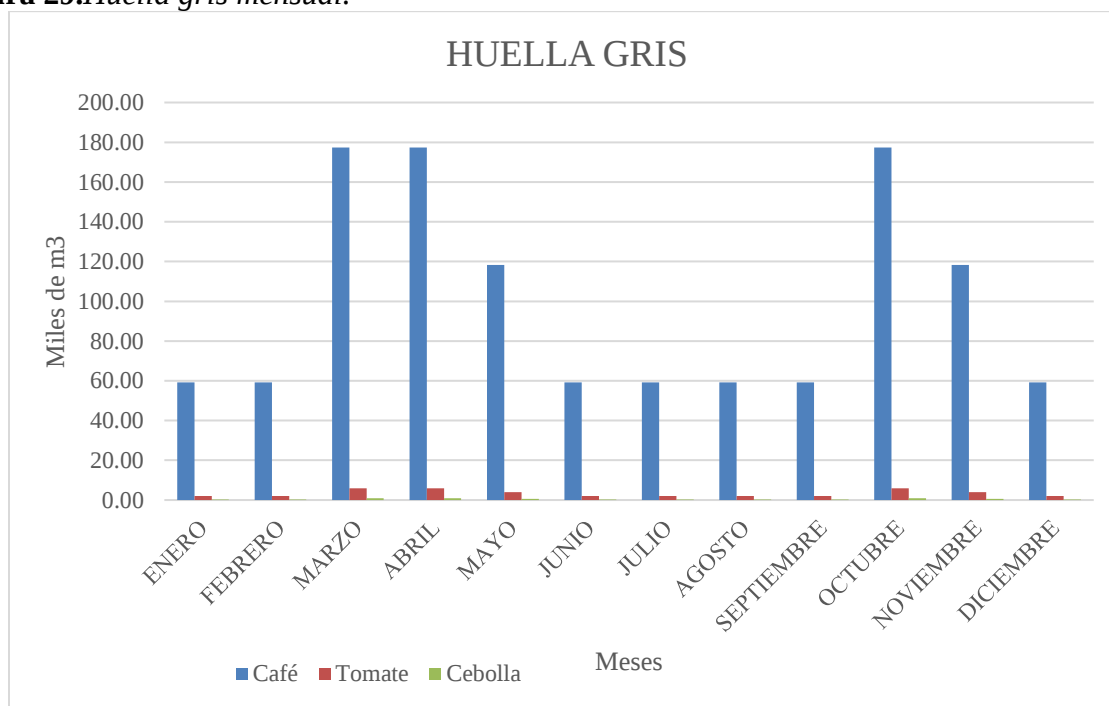
En esta grafica se hace la comparación de la demanda mensual de la huella verde con la oferta de está presentando meses críticos, donde la demanda de agua supera la oferta o la disponibilidad de esta, como lo son los meses de marzo a septiembre además se puede identificar también que el mes que posee un mayor uso insostenible es el mes de agosto, de igual forma se aumenta la perdida de agua por evapotranspiración de las plantas.

4.12.3 Huella hídrica gris

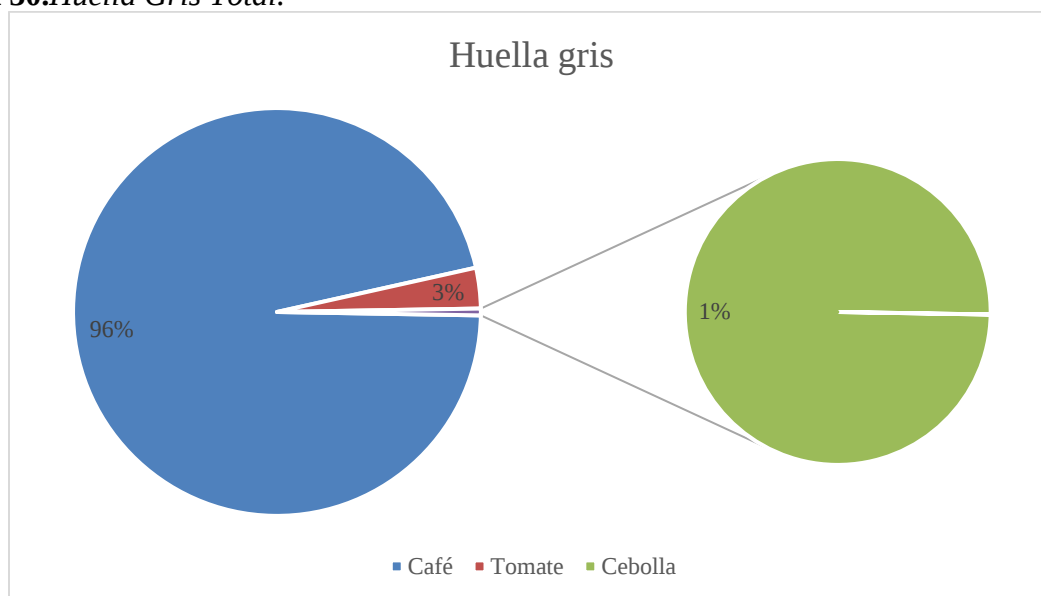
Finalmente, la huella de aguas grises es un indicador del alcance de la contaminación relacionada con el proceso y se define como la cantidad de agua dulce requerida para absorber las cargas contaminantes de acuerdo con las concentraciones naturales y los estándares ambientales

de calidad del agua existentes. El concepto de huella hídrica gris surge del entendimiento de que la gravedad de la contaminación del agua se puede expresar en términos de la cantidad de agua requerida para diluir los contaminantes a niveles inofensivos.

Figura 29. *Huella gris mensual.*



En la figura 29 se observa la huella gris para los cultivos de café, Tomate y cebolla donde se observó que los meses de marzo, abril y octubre poseen una mayor huella gris para el cultivo del café aproximada entre los 150 miles de m³ y los meses con menor huella azul son enero, febrero y diciembre 50 de miles m³ para el mismo cultivo. Así mismo se observa que la huella gris del tomate y cebolla es casi nula. Esto en principio se debe a que las hectáreas cultivadas de las mismas son inferiores a la del café además de que poseen menor número de fertilizantes para mantener vivo el cultivo.

Figura 30.*Huella Gris Total.*

En la figura 30 se observa la huella gris para el cultivo de café representa un 96% del total de la huella gris esto debido también a que el total de hectáreas cultivadas de café son significativamente mayores en comparación con los demás cultivos, y a su vez es el cultivo con mayor número de fertilizantes aplicados, en los que se puede destacar la Uría, Dap, 17.61.82, Embajador, Yara, y el Producafe con considerables cantidades de nitrógeno, seguido del tomate con un 3% y la cebolla con un 1%.

4.12.4 Huella total.

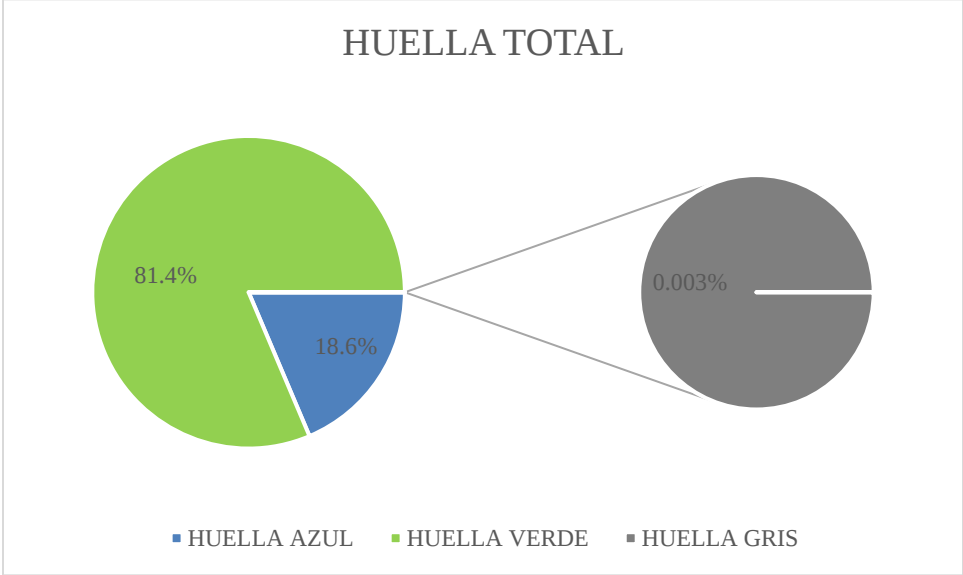
La huella total hace referencia a la suma de las tres huellas, azul, verde y gris; dichas huellas se calcularon para un periodo de tiempo de un año, en este caso para el año 2021.

En la siguiente tabla podrá encontrar los resultados de las huellas calculadas en cada sector y la sumatoria de estas.

Tabla 16.Huella Hídrica total por sectores

Sectores económicos	Huella total				Oferta total huella azul (m3)
	Huella azul (m3)	Huella verde(m3)	Huella gris(m3)	Huella total(m3)	
Residencial	337.178,18	0,00	0,00	337.178,18	5.256.000,00
Comercial	51.266,18	0,00	0,00	51.266,18	
Agrícola	3.997.189,00	20.244.877,00	635,47	24.242.701,47	
Pecuario	247.665,60	0,00	0,00	247.665,60	
Total	4.633.298,96	20.244.877,00	635,47	24.878.811,43	

Figura 31.Huella total de Zapatoca



Representada así la huella total verde con un porcentaje de 81.4% equivalentes a 20.244.877 m3 de agua, seguida de la huella azul total con un porcentaje de 18.6% equivalentes a 4.633.298,96 m3 de agua, y por el ultimo la huella total gris con un porcentaje de tan solo el 0.003% equivalentes a 700 m3 de agua.

4.13. Plan de Acción para el ahorro y uso eficiente del recurso hídrico.

Cabe recalcar que este plan de acción se estableció en base al análisis de sostenibilidad del recurso hídrico del sector, y de los resultados obtenidos en el cálculo total de la huella hídrica, el cual se determinó como insostenible.

4.13.1 Educación ambiental.

El objetivo de este plan de acción es lograr reducir el consumo de agua e incentivar a las personas a tener un adecuado uso del recurso hídrico es por esto que para nosotras la educación ambiental es el primer paso y el más importante para lograr nuestro objetivo, motivando a la ciudadanía para que atrevas del esfuerzo individual se llegue al alcance de objetivos colectivos induciéndolos a la sostenibilidad hídrica, creando conciencia para el futuro.

Es por esto que se plantea crear espacios de educación ambiental en las dos instituciones educativas presentes del municipio, así como en Juntas de acciones comunales, las cuales se encuentran dividas por barrios, asumiendo que se articulen a acciones que adelanten las organizaciones del municipio como la alcaldía municipal o en efecto crear nuevos programas dirigidos por entes gubernamentales del municipio.

Tabla 17.Programa de Educación Ambiental doméstica

Actores	Objetivo	Acciones
Instituciones educativas	Capacitación estudiantil para la conservación y mitigación de los posibles impactos ambientales atribuibles al agua.	Reforzar proyectos escolares Ambientales. Talleres con estudiantes y docentes acerca de la necesidad de conservación del agua. Charlas sobre la normatividad ambiental vigente. Realización de actividades lúdicas que contribuyan a un manejo adecuado y ahorro del agua.

Actores	Objetivo	Acciones
		Fomento de acciones sobre el uso racional del agua. Difusión y promoción en espacio de la educación ambiental. Encuentros académicos de prevención de riesgos ambientales. Visitas técnicas de los estudiantes a los afluentes. Jornadas de limpieza y cuidado de los afluentes y sus alrededores
Comunidad urbana	Promover un manejo adecuado del agua.	Promover medios de comunicación para difusión de la educación ambiental Inclusión de soluciones de ahorro y uso eficiente del agua en el hogar. Control de consumos y vertimientos de residuos. Revisiones periódicas de los aparatos y conexiones hidráulicas que se tengan en las viviendas, para evitar fugas de agua. Jornadas de limpieza de los afluentes y sus alrededores Capacitaciones donde se reconozca el derecho igualitario del consumo responsable del recurso hídrico.

Es importante tener en cuenta que la alcaldía municipal y los entes gubernamentales son factores importantes para el desarrollo e impulso de todos estos programas educativos.

4.13.2 Adaptación de dispositivos ahorradores

La implementación del ahorro de agua en los hogares y lugares turísticos del municipio incluyendo restaurantes y hoteles se puede basar en el uso e implementación de aparatos ahorradores de bajo costo como pueden ser válvulas para sanitarios de bajo consumo, las cuales permiten un ahorro de agua de hasta un 50% por descarga, así mismo se cuenta con filtros de aire

para duchas y lavaplatos que garantizan hasta un 30% de ahorro, haciendo de esto un avance hacia la sostenibilidad. [29], además de esto se podría implementar la utilización del agua lluvia como fuente alterna para uso en sanitarios, lavadoras y lavaplatos, reduciendo significativamente la huella azul del municipio [30] , en cuanto al sistema hotelero “el ahorro debe ser bidireccional: por un lado con medidas aplicadas por el hotel y por otro, con el compromiso de los clientes” [30] ,la frase anteriormente mencionada suena muy bien , pero es difícil lograr controlar el consumo hídrico turístico, ya que comúnmente la gente piensa que no cancelan por el costo del consumo hídrico, gasten o no, se paga el mismo costo por el alquiler, es por eso que una estrategia implementada en muchos hoteles, es brindar un folleto con la realidad hídrica de la zona, donde se den a conocer datos importantes e informativos del municipio y sus características hídricas y que de manera inmediata invite a la conciencia sobre el cuidado del recurso hídrico, logrando que el consumidor conozca más acerca del municipio y cree sentido de pertenencia ante él. En el caso de los restaurantes es importante la disposición adecuada de los desechos, de manera que no se contaminen las aguas residuales y se aumente la huella gris, el uso de pancartas o letreros llamativos que motiven o hagan alusión al buen manejo de los aparatos sanitarios y lavamanos, también es una de las formas correctas para disminuir el desperdicio hídrico.

4.13.3 Implementación de tecnologías ahorradoras en el sector agrícola.

Por otra parte, el sistema agrícola es uno de los más influyentes en cuanto a la huella hídrica y es por eso que las actividades necesarias para reducir el consumo de agua en este sector incluyen actividades de control continuo en los sistemas de riego e infraestructura, utilizando fuentes alternas y tecnologías que ayuden a la reducción en el consumo, en el campo de la agricultura se puede implementar el uso de dispositivos para riego con aireadores y reductores volumétricos que

aseguran una reducción de consumo de hasta un 50% como lo menciona food unfolden y a su vez dependiendo de la presión del agua; Además el riego por goteo y aspersión son alternativas de ahorro eficiente de agua, la implementación de dicho sistema incluye ventajas como la distribución del recurso de una manera más exacta, evitando el escurrimiento superficial, además se puede implementar la técnica del fertirriego que consiste en agregar el fertilizante junto con el agua, haciendo que la aplicación no se vean afectadas por el viento ni ningún otro factor climático, otra de las ventajas del riego por goteo es que este se basa en colocar una manguera con agujeros que suministra el riego gota a gota en la parte de la raíz de la planta, evitando que se moje el follaje de las plantas, previniendo enfermedades fúngicas y ataques de plagas que pueden acabar con la cosecha; existe la automatización del sistema de riego por goteo que se basa en la implementación de unos sensores capacitados para reconocer características del suelo como la humedad, y lograr determinar en qué momento es necesario el riego y en qué momento no, disminuyendo aún más el porcentaje de ahorro hídrico, en este caso la implementación de estos sistemas no es una tarea fácil ya que se necesita de una inversión económica que al ser analizada es factible para la población del municipio de Zapatoca, si tenemos en cuenta que dichos aparatos necesarios para emplear el mecanismo traer una larga vida útil, sirviendo para varias cosechas; en cuanto a la inversión técnica esta es mínima ya que sería necesaria para su implementación y capacitación del personal para su uso adecuado; es de gran importancia el empezar a poner en práctica todos estos tipos de mecanismos, ya que la población va en aumento y la agricultura deberá suplir toda la demanda alimenticia, haciendo un uso racional de los recursos hídricos y contribuyendo a reducir los impactos negativos del medio ambiente; y al automatizar los sistemas agrícolas se aumenta la calidad de los cultivos y se disminuye el costo de mano de obra, recuperando de alguna manera la inversión inicial, de esta manera se cuida nuestro entorno y aumentamos la productividad agrícola.

4.13.4 Normativo

No todas las posibles soluciones pueden considerarse como un análisis inédito, debido a que diversos interpretes han subrayado que solo a través de una mejor gestión del recurso en los territorios se presentarían las condiciones que mejoren los factores determinantes para el uso sostenible del mismo.

Como lo expresa el centro de ciencia y tecnología de Antioquia (CTA.): en un estudio realizado en año 2018 para la propuesta de acciones para la productividad del agua donde se resalta que las autoridades ambientales tienen la función de regular la demanda a partir de la oferta con la regulación de permisos, las credenciales deben implementarse sobre la dependencia básica del conocimiento, basado en las Subzonas hidrográfica (SZH) y en los estudios regionales de agua, además en los estanques prioritarios del POMCA, la gestión del conocimiento permitirá a las agencias ambientales administrar los recursos a través de dar concesiones y licencias en lo que denominan un tráfico ajustable, bajo la configuración más vulnerable para todos los usuarios de la misma fuente, con términos claros se reducirá el conflicto, utilizando de esta manera, el control y el aplique de medidas que puedan llevarse a cabo y modifique la tasa de consumo sin control, Tanto para las grandes entidades como para los pequeños y grandes agrícolas que en su mayoría se abastecen de nacimientos; variables que conducen al desperdicio desmedido e insostenible para las fuentes hídricas del municipio.

5. Conclusiones

Se determinó que la gestión del recurso hídrico en la zona de estudio presenta puntos críticos y por tanto sectores económicos como el agrícola donde la sostenibilidad es negativa, es decir el consumo es mayor que la oferta, dado que, al realizar el análisis del consumo hídrico en relación con la oferta y disponibilidad, se puede evidenciar que existe una diferencia de 1.067 miles de metros cúbicos en los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre, esto teniendo en cuenta que el sector agrícola no se abastece de la oferta generada por el acueducto, si no de la recolección directa de la misma microcuenca.

La huella hídrica total de la zona considera que los sectores agrícolas y residencial consumen un valor aproximado entre 24.242,7 miles de m³ y 337,17 miles m³ total anual que suman un total 98.8% aproximado del total de la huella hídrica, de los cuales el 17.4% conforma la huella hídrica azul, y el 81.4% corresponde a la huella verde y la huella gris tuvo una participación prácticamente nula, del volumen total consumido; En otras palabras la suma total de la huella hídrica azul anualmente posee un total de 4.334.367,18 de m³, la verde un total de 20.244.877 de m³.

En efecto la huella gris es claramente el % menos representativo, pero cabe señalar que en el estudio solo se analizó el gasto hídrico necesario para diluir la lixiviación del nitrógeno de los fertilizantes dejando de lado otros tipos de contaminantes, esta consideración se hace ya que el nitrógeno es el contaminante que se encuentra en mayores cantidades en la lixiviación de fertilizantes.

En cuanto a la sostenibilidad hídrica de los sectores económicos podemos determinar que es sostenible en los sectores residencial y comercial, porque cumple con los criterios mencionados de sostenibilidad ambiental y social, pero de igual forma es importante destacar que la

sostenibilidad ambiental se puede ver afectada en cualquier momento ya que el caudal medio en el mes de julio es cercano al caudal ecológico con una diferencia promedio de 0.07m³/s entre caudales, en cambio en los sectores agrícola y pecuario, la sostenibilidad hídrica se determina insostenible, porque en los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre la sostenibilidad social no se cumple, ya que la demanda es mayor a la oferta hídrica capaz de proporcionar la cuenca, es por esto que los agricultores deben abastecerse de otras fuentes hídricas cercanas.

Así mismo se pudo evidenciar que hace falta una planificación detallada de indicadores de gestión, y actualización de los planes de manejo de la cuenca dentro del municipio para lograr un uso sostenible del recurso en la zona de estudio. De igual forma es necesario un control y el desarrollo profesional de las entidades encargadas de la gestión del recurso hídrico, ya que no se cuentan con la toma de mediciones necesarias ni sistemas de recolección de datos que permitan un manejo adecuado de la fuente hídrica.

Además de implantar el plan de acción y uso eficiente del agua, se recomienda desarrollar alternativas como la implementación de infraestructura para el uso de otras fuentes hídricas para el abastecimiento de agua del municipio con el fin de respetar el caudal ecológico de las dos microcuencas que ya abastecen el municipio. Aunque esta alternativa implica grandes inversiones económicas para generar los estudios de viabilidad y uso, se podrían considerar a largo plazo, ya que la población aumentará a 10238 habitantes para el año 2041, basados en las proyecciones del presente estudio.

Es importante resaltar que para tener un uso adecuado y sostenible de la oferta que proporciona la fuente hídrica, y a su vez del consumo que genera la población, se debe llevar un control o medición periódica de los niveles de caudal dentro de la cuenca para evitar afectaciones de esta. Como recomendación final de este estudio se propone que las autoridades locales

ambientales implementen el uso de indicadores de gestión como la huella hídrica para establecer límites entre oferta y demanda y planificar las actividades socio económicas del municipio, Con el fin de lograr un sistema un sistema sostenible, además de eso la educación ciudadana y el uso de estrategias que implemente la comunidad desde sus viviendas también genera un impacto positivo para el cuidado del recurso.

Además de esto se debe recalcar que el uso adecuado y sostenible del recurso hídrico se debe implementar sin necesidad de tener un ambiente insostenible, se debe hacer como practica saludable para el medio ambiente sin tener que esperar causar un daño para tratar de repararlo, debemos pensar en garantizar la sostenibilidad de los recursos para las generaciones futuras.

Referencias

- [1] A. Hoekstra, «Agua virtual: un mecanismo eficaz para la gestión integrada de los recursos hídricos,» *Ciencias Agrícola*, vol. 2, n° 3, p. 244, 2003.
- [2] E. Guhl, *Vivamos y progreseemos con el agua*, c, 2011.
- [3] D. A. TAVERA AMADO, «Plan de desarrollo partamental,» 2016 – 2019. [En línea]. Available: <https://santander.gov.co/>. [Último acceso: 2021].
- [4] M. BEDOYA, C. CONTRERAS y F. RUIZ, «IDEAM,» 2010. [En línea]. Available: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021888/CAP7.pdf>.
- [5] N. Gray, ¿Dónde encaja el agua?. En: *Enfrentando el Calentamiento Global*, Cham: Springer, 2015.
- [6] M. Cardona, Claudia y . B. Congote Ochoa., «La huella hídrica un indicador de impacto en el uso del agua,» *Tecnogestión mirada ambient*, vol. 10, n° 1, mar 2015.
- [7] IDEAM, «Estudio Nacional del Agua,» 2010. [En línea]. Available: http://www.andi.com.co/Uploads/ENA_2010.compressed.pdf.
- [8] WWF, «12 meses de trabajo, 12 logros para compartir,» 21 Diciembre 2013. [En línea]. Available: <https://www.wwf.org.co/?205138/Huella-Hidrica-Colombia>. [Último acceso: 11 abril 2021].
- [9] M. M. M. a. A. Y. Hoekstra, «The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop,» *Hydrology and Earth System Sciences*, p. 24, 2012.
- [10] M. &. Hoekstra, 2010.
- [11] D. A. Uribe, «Una mirada a la agricultura de Colombia desde su Huella Hídrica,» Blanca Huertas, Colombia, 2012.

- [12] J. L. y. J. S. Diego Arévalo, «Estudio nacional de Huella Hídrica Colombia,» *SOSTENIBILIDAD TECNOLOGÍA Y HUMANISMO*, p. 26, 2011.
- [13] D. A. U. y. C. C. Ochoa, GUÍA METODOLÓGICA DE APLICACIÓN DE, Antioquia: Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia - CTA, 2013.
- [14] A. H. A. C. B. A. M. P. C. L. &. V. G. Rodríguez, El cálculo de la huella hídrica en Colombia: una tendencia de futuro. Análisis de indicadores, Medellín, Colombia , 2012.
- [15] A. Hoekstra, “Virtual Water. An Introduction”. Virtual Water Trade. Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade. Values of Water Research Report Serie, Delft, Holanda: 12, 2003.
- [16] A. m. d. Zapatoca, «zapatoca santander,» 2020. [En línea]. Available: <http://www.zapatoca-santander.gov.co/municipio/nuestro-municipio>. . [Último acceso: 2021].
- [17] A. Garrido, *Seminario sobre la aplicación de la*, Castelló 18, Madrid, 2014.
- [18] D. L. J. y. S. Arévalo, «Estudio Nacional de Huella Hídrica Colombia Sector Agrícola,» *Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*, vol. 101, nº 126, p. (7) , 2011.
- [19] M. Falkenmark, «Freshwater as shared between society and ecosystems: from divided approaches to integrated challenges,» *Philosophical Transaction of the Royal Society* , vol. B 358, nº 1440, (2003).
- [20] A. y. C. A. Hoekstra, Globalización del agua: Compartiendo los recursos de agua dulce del planeta ., John Wiley & Sons., 2011.

- [21] N. A. T.-G. J. M. M.-Y. S. I. M. M. A. T. & Z. E. Tovar-Hernández, Evaluación de la sostenibilidad de los cultivos de arroz y palma de aceite en la cuenca del río Guayurib, Meta, Colombia: a través de la evaluación de huella hídrica. Orinoquia,, 2017.
- [22] D. L. J. y S. J. Arévalo, «Estudio Nacional de Huella Hídrica Colombia Sector Agrícola.,» *Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*, vol. 7, nº 126, p. 101, 2011.
- [23] C. A. Monje, El presente anteproyecto está diseñado bajo el planteamiento de un enfoque cuantitativo, puesto que es el que agrupa todas las características y necesidades de la investigación, este enfoque consiste en la recolección de datos para probar una hipótesis, c, Neiva, 2011.
- [24] A. WWF, Fundacion Gonzalo Rio Arronte I.A.P., 2018.
- [25] A. M. d. Z. e. Santander, «Datos Abiertos Cartografía y Geografía,» 16 Noviembre 2021. [En línea]. Available: <http://www.zapatoca-santander.gov.co/>.
- [26] G. earth. [En línea].
- [27] FAO., 2022,38. [En línea].
- [28] E. Y. C. Tobón, «"Cuantificación y análisis de sostenibilidad de la huella hídrica agrícola y pecuaria de la cuenta rio Ponce" Universidad Nacional de Colombia,,» Medellín, 2013.
- [29] F. A. e. A. C. Serrano, «Fundación Ayuda en Acción.,» 08 07 2019. [En línea]. [Último acceso: 12 10 2021].

- [30] E. Q. F. C. A. O. J. & O. D. Molina, « Consumo sustentable de agua en viviendas de la ciudad de Cuenca. Ingenius.,» *Revista de Ciencia y Tecnología*, (20), 28-37., 2018.

Apéndices

Apéndice A. *Visita técnica.*

(véase archivo en fuente externa)

Apéndice B. *Oferta-caudal medio y ecológico.*

(véase archivo en fuente externa)

Apéndice C. *Huella hídrica.*

(véase archivo en fuente externa)