



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



**EVALUACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DEL CULTIVO DE CAFÉ DE LA
FINCA LA LIBERTAD UBICADA EN LA VEREDA TIERRA NUEVA DEL
MUNICIPIO DE URUMITA, LA GUAJIRA**

AUTORES

FARFÁN FRAGOZO KEVIN JOSÉ

PELAEZ SOLANO JORGE LUIS

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y TECNOLÓGICAS
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR, CESAR
2022**

www.unicesar.edu.co
Campus Universitario Sabanas, Of. 105 D. PBX (57) (5) 5848217 EXT. 1129
Línea de atención al ciudadano 01 8000 400380
Valledupar Cesar Colombia



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



**EVALUACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DEL CULTIVO DE CAFÉ DE LA
FINCA LA LIBERTAD UBICADA EN LA VEREDA TIERRA NUEVA DEL
MUNICIPIO DE URUMITA, LA GUAJIRA**

AUTORES

FARFÁN FRAGOZO KEVIN JOSÉ

PELAEZ SOLANO JORGE LUIS

DIRECTOR:

ORLANDO ENRIQUE RUBIANO

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y TECNOLÓGICAS
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR, CESAR**

2022

Dedicatoria

Agradezco al señor JESUCRISTO por bendecirnos por todo lo que nos regala, por encaminarnos por la dirección correcta y ser la fortaleza en los momentos difíciles y las complejidades de la vida, Gracias a mis padres Ximena Leonor Fragozo Murgas y Carlos Alberto Farfán Barros, por apoyarme siempre para seguir adelante y cumplir mis metas, quienes por su esmero, paciencia y patrocinio me han llegado a permitir cumplir este objetivo tan importante en mi vida, a pesar de las adversidades que se presentaron a lo largo de este proceso,

A mis primos Yalil José Ramos Navarros y Ringilberlys Muegues Aguilar por su cariño, su apoyo incondicional, por darme también una oportunidad de seguir adelante, por darme consejos y ayudarme a ser mejor persona a pesar de las circunstancias y los momentos de dificultad, A toda mi familia porque con su apoyo, sus consejos, sus patrocinios me ayudaron a sacar adelante este proceso tan difícil de afrontar con muchas dificultades en el camino.

A el profesor Alfredo Lafourie Valdés por estar ahí siempre ayudándome y apoyándome a seguir adelante para no desistir nunca, que siempre hay una solución para todos los problemas que se pueden presentar a lo largo de la vida, A nuestro director de proyecto de grado Orlando Rubiano quien con sus conocimientos y su experiencia nos direccionó y nos motivó con esta investigación para cumplir este objetivo tan importante para nosotros.

Kevin José Farfán Fragozo



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**

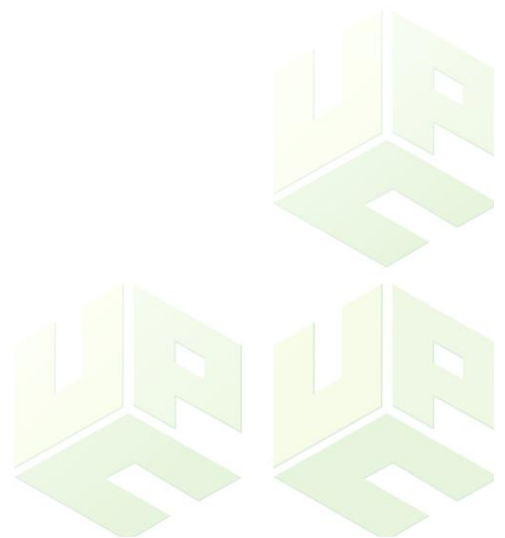


Agradecimientos ante todo a Dios por estar siempre presente en nuestros objetivos de vida, y puntualmente en darnos la oportunidad de poder realizar con éxito nuestro estudio; A la Universidad Popular del César, por permitir desarrollar, generar y optimizar nuestro saber y conocimiento para alcanzar las metas y objetivos propuestos.

A mis padres, Luzmila Solano Pushaina y Jorge Eliseo Peláez Epiayu por apoyarme en cada día, cada lucha, cada instante y en la vida a formarme como ser humano y como ser pensante.

A Nuestro director de proyecto que siempre constante, que con su sabiduría, agradecimiento y experiencia ha sabido aportar grandemente a la experiencia tan maravillosa de realizar nuestro aporte a nuestra región desde nuestra alma Mater y a cada uno de los individuos que de cualquier forma apoyaron nuestro proyecto para lograr esta meta tan importante en nuestra vida.

Jorge Luis Peláez Solano



Dedicatoria

Este proyecto va dedicado a DIOS principalmente quien nos permite desarrollar todo lo que nos proponemos y nos da la salud y la fuerza para afrontar cualquier situación y especialmente a todas las personas que me ayudaron en este camino, quienes me impulsaron a dar lo mejor de mí.

Dedicado a mi mamá que siempre ha estado ahí, en mis momentos malos y buenos, nunca me dejo solo y siempre presente en todo lo que necesito ya sea emocionalmente o económicamente, también a mi abuela Alma murgas navarros y tía Maricela Fragozo murgas, que han sido mis madres, en las cuales he tenido el apoyo y la atención que se necesita para motivar a seguir adelante.

Kevin José Farfán Fragozo

A Eurípides Peláez Epiayu y Mariana Pushaina, personas tan importantes en mi vida luchando hombro a hombro por el bienestar de la familia, A mis padres, que gracias a su esfuerzo puedo decir que he cumplido uno de los objetivos más importantes en la vida. A mi hija, que se ha convertido en la fuerza extra que me conlleva a ser mejor persona de una manera integral.

Para Ailín Solano, mi compañera de vida, de luchas y de alegrías, por estar presente en los momentos difíciles, que pronto serán solo experiencias para nuestro futuro inmediato y formar con éxito el amor y el hogar.

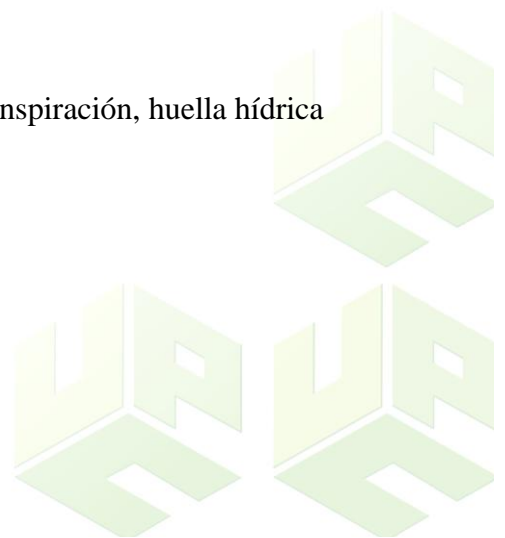
Jorge Luis Peláez Solano



Resumen

La agricultura es una de las actividades de mayor consumo de agua dulce en el planeta (FAO, 2019), por lo anterior y con el fin de establecer un indicador ambiental que permita determinar la relación directa entre los sistemas hídricos y el consumo humano, se evaluó la huella hídrica del cultivo del café en la Finca La Libertad, ubicada en La Vereda Tierra Nueva del Municipio de Urumita, La Guajira, donde inicialmente se realizó el diagnóstico hídrico del proceso productivo, seguido del cálculo de la huella hídrica verde, azul y gris a través del uso del modelo CROPWAT 8.0, y por último la formulación de estrategias enmarcadas en la sostenibilidad del recurso hídrico; En síntesis como resultado se obtuvo que la huella hídrica total del cultivo de café es de $17752,74 \text{ m}^3/\text{ton}$ a partir de lo cual es posible concluir que para producir 2,8 Ton de café (producción total anual) se requieren alrededor de $49707,67 \text{ m}^3$ de agua, del mismo modo, es posible indicar que la huella hídrica azul posee un valor de $7326,88 \text{ m}^3/\text{ton}$ representando el 41,27%, la huella hídrica verde de $10311,82 \text{ m}^3/\text{Ton}$ con el 58,08%, y La huella hídrica gris $114,04 \text{ m}^3/\text{ton}$ con el 0,65% lo que indica que se realiza un riego apropiado respecto al requerimiento hídrico del cultivo, del mismo es posible señalar que la huella hídrica gris presentó un valor menor en contraste con la huella hídrica azul y verde, asociado al bajo requerimiento de nutrientes del cultivo para alcanzar un excelente rendimiento.

Palabras claves: Café, CROPWAT 8.0, evapotranspiración, huella hídrica





Abstract

Agriculture is one of the activities with the highest consumption of fresh water on the planet (FAO, 2019), due to the above and in order to establish an environmental indicator that allows determining the direct relationship between water systems and human consumption, it is evaluated the water footprint of coffee cultivation at Finca La Libertad, located in La Vereda Tierra Nueva in the Municipality of Urumita, La Guajira, where initially the water diagnosis of the production process was carried out, followed by the calculation of the green, blue, and green water footprint. gray through the use of the CROPWAT 8.0 model, and finally the formulation of strategies framed in the sustainability of water resources; In summary, as a result, it was obtained that the total water footprint of the coffee crop is 17,752.74 m³/ton from which it is possible to conclude that to produce 2.8 tons of coffee (total annual production) around 49,707 are required. .67 m³ of water, in the same way, it is possible to indicate that the blue water footprint has a value of 7326.88 m³/ton representing 41.27%, the green water footprint of 10311.82 m³/Ton with 58 0.08%, and The gray water footprint 114.04 m³/ton with 0.65%, which indicates that an appropriate irrigation is carried out with respect to the water requirement of the crop, from which it is possible to point out that the gray water footprint presented a value lower in contrast to the blue and green water footprint, associated with the low nutrient requirement of the crop to achieve excellent performance.

Keywords: Coffee, CROPWAT 8.0, evapotranspiration, water footprint

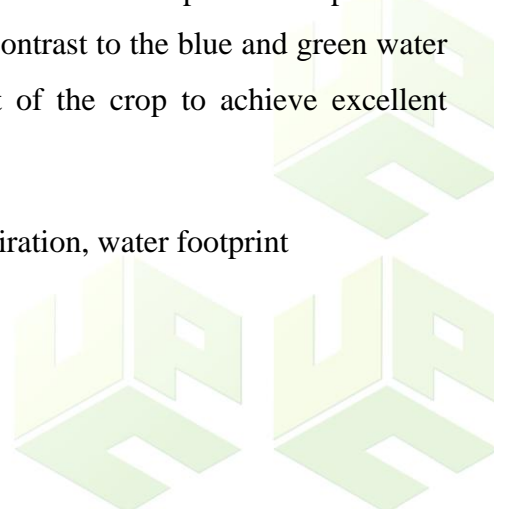




Tabla De Contenido

Introducción.....	12
1. Título De La Investigación O Proyecto.....	13
2. Planteamiento Y Formulación Del Problema.....	14
2.1. Formulación Del Problema.....	15
3. Justificación Del Proyecto O Investigación.....	16
4. Objetivos.....	17
4.1. Objetivo General.....	17
4.2. Objetivos Específicos.....	17
5. Marco Referencial.....	18
5.1. Antecedentes De La Investigación.....	18
5.2. Marco Teórico.....	22
5.2.1 Concepto De Huella Hídrica.....	22
5.2.2 Huella Hídrica Azul.....	22
5.2.3 Huella Hídrica Verde.....	22
5.2.4 Huella Hídrica Gris.....	23
5.2.5 Huella Hídrica De Un Cultivo.....	23
5.2.6 Cultivo De Café.....	23
5.2.6.1 Taxonomía.....	23
5.2.6.2 Factores Agroecológicos Del Café.....	24
5.3. Marco Conceptual.....	27
5.4. Marco Contextual.....	29
5.4.1 Localización Geográfica Del Municipio De Urumita, La Guajira.....	29
5.4.2 Localización Geográfica De La Finca La Libertad.....	30
5.5. Marco Legal.....	31
6 Marco Metodológico.....	34
6.1 Línea Y Sublínea De Investigación.....	34
6.2 Tipo De Investigación.....	34
6.3 Nivel De Investigación.....	34
6.4 Población De Estudio.....	34
6.5 Muestra Poblacional.....	35



6.6	Desarrollo Metodológico	35
6.6.1	Etapa 1. Realizar El Diagnóstico Hídrico Del Proceso Productivo Del Cultivo De Café En La Finca La Libertad Ubicada En La Vereda Tierra Nueva Del Municipio De Urumita, La Guajira.	35
6.6.2	Etapa 2. Determinar La Huella Hídrica Del Cultivo De Café En La Finca La Libertad Ubicada En La Vereda Tierra Nueva Del Municipio De Urumita, La Guajira Mediante Sus Tres Componentes Básicos: Cálculo De La Huella Hídrica Verde, Azul Y Gris.	36
6.6.3	Etapa 3. Formular Estrategias Enmarcadas En La Sostenibilidad Del Recurso Hídrico En El Cultivo De Café En La Finca La Libertad Ubicada En La Vereda Tierra Nueva Del Municipio De Urumita, La Guajira.	38
7	Análisis Y Resultados	39
7.1	Etapa 1. Realizar El Diagnóstico Hídrico Del Proceso Productivo Del Cultivo De Café En La Finca La Libertad Ubicada En La Vereda Tierra Nueva Del Municipio De Urumita, La Guajira.	39
7.1.1	Revisión de documentación oficial	39
7.1.1	Diagnostico hídrico del cultivo	55
7.2	Etapa 2. Determinar La Huella Hídrica Del Cultivo De Café En La Finca La Libertad Ubicada En La Vereda Tierra Nueva Del Municipio De Urumita, La Guajira Mediante Sus Tres Componentes Básicos: Cálculo De La Huella Hídrica Verde, Azul Y Gris.	75
7.3	Etapa 3. Formular Estrategias Enmarcadas En La Sostenibilidad Del Recurso Hídrico En El Cultivo De Café En La Finca La Libertad Ubicada En La Vereda Tierra Nueva Del Municipio De Urumita, La Guajira.	82
8	Conclusiones	86
9	Recomendaciones	89
10	Bibliografía	90
	Anexos	94





Lista De Tablas

Tabla 1	31
Tabla 2	57
Tabla 3	58
Tabla 4	60
Tabla 5	62
Tabla 6	63
Tabla 7	65
Tabla 8	70
Tabla 9	72
Tabla 10	79
Tabla 11	79
Tabla 12	80
Tabla 13	83
Tabla 14	84
Tabla 15	85

Lista De Figuras

Figura 1	29
Figura 2	30
Figura 3	45
Figura 4	46
Figura 5	48
Figura 6	49
Figura 7	50
Figura 8	51
Figura 9	51
Figura 10	52
Figura 11	53
Figura 12	54
Figura 13	55
Figura 14	56
Figura 15	58
Figura 16	59
Figura 17	61
Figura 18	63
Figura 19	64
Figura 20	66



Figura 21.....	67
Figura 22.....	67
Figura 23.....	68
Figura 24.....	69
Figura 25.....	71
Figura 26.....	72
Figura 27.....	73
Figura 28.....	74
Figura 29.....	81

Lista De Anexos

Anexo 1	94
Anexo 2	95
Anexo 3	95
Anexo 4	96
Anexo 5	96



Introducción

De acuerdo al Estudio Nacional del agua (2014) publicado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales- IDEAM, la demanda hídrica nacional es de 35.987 millones de m³, de los cuales, el sector agrícola demanda 16.760 millones de m³ equivalentes al 46,6% del total del volumen de agua que se utiliza en el país, siendo este el sector con mayor demanda.

En la Finca La Libertad, ubicada en La Vereda Tierra Nueva del Municipio de Urumita, La Guajira, se desarrolla desde hace más de 50 años el cultivo de café como actividad económica principal, el cual posee una extensión de aproximadamente 3 hectáreas, la problemática ambiental derivada de esta práctica se encuentra asociada al uso desmedido del agua y de productos químicos (fertilizantes y plaguicidas), ya que no existe un control del uso de estos, lo que ocasiona un déficit en la disponibilidad del agua, alteración de las condiciones físicas y químicas del suelo y de las fuentes hídricas, entre otros.

Con la finalidad de evaluar la huella hídrica del cultivo de café en la Finca La Libertad, ubicada en La Vereda Tierra Nueva del Municipio de Urumita, La Guajira, se plantea la presente investigación, la cual busca establecer un indicador que permita reconocer, analizar, plantear y además formular estrategias, orientadas a la prevención o mitigación de los impactos ambientales generados al recurso hídrico por medio del desarrollo de tres fases: primero; el diagnóstico hídrico del proceso productivo; segundo el cálculo de la huella hídrica verde, azul y gris mediante el modelo CROPWAT 8.0, y por último la formulación de estrategias enmarcadas en la sostenibilidad del recurso hídrico; En síntesis como resultado se obtuvo que la huella hídrica total del cultivo de café es de 17752,74 m³/ton a partir de lo cual es posible concluir que para producir 2,8 Ton de café (producción total anual) se requieren alrededor de 49707,67 m³ de agua, del mismo modo, es posible indicar que la huella hídrica azul posee un valor de 7326,88 m³/ton representando



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



el 41,27%, la huella hídrica verde de 10311,82 m^3/Ton con el 58,08%, y La huella hídrica gris 114,04 m^3/ton con el 0,65% lo que indica que se realiza un riego apropiado respecto al requerimiento hídrico del cultivo, del mismo modo, es posible señalar que la huella hídrica gris presentó un valor menor en contraste con la huella hídrica azul y verde, asociado al bajo requerimiento de nutrientes del cultivo para alcanzar un excelente rendimiento.

1. Título De La Investigación O Proyecto

Evaluación de la huella hídrica del cultivo de café de la finca la libertad ubicada en la Vereda Tierra Nueva del Municipio de Urumita, La Guajira



2. Planteamiento Y Formulación Del Problema

De acuerdo al Estudio Nacional del agua (2014) publicado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales- IDEAM, las principales fuentes hídricas superficiales de la región Caribe Colombiana se encuentran bajo condiciones de presiones por uso, variabilidad de la oferta, contaminación hídrica y, además, alteración sobre los ecosistemas; según lo establecido en este informe la demanda hídrica nacional es de 35.987 millones de m³, de los cuales, el sector agrícola demanda 16.760 millones de m³ equivalentes al 46,6% del total del volumen de agua que se utiliza en el país, siendo este el sector con mayor demanda.

Por otro lado, la variabilidad y el fenómeno climático traen cambios en los valores medios de temperatura y precipitación, así como eventos extremos (sequías e inundaciones), causando un desequilibrio hidrológico que afecta los sistemas de producción (Meza, 2009). La creciente variabilidad climática e incertidumbre hidrológica ponen en riesgo a la economía de agricultura que es cada vez más vulnerable. El estrés hídrico está aumentando, así como la economía y la población que ejercen presión a los recursos hídricos finitos y degradables; se estima que para el año 2025 alrededor de 1800 millones de personas vivirán en áreas de escasez absoluta de agua (World Bank 2015, 2016).

De acuerdo a Torres, et; al (2017), los principales impactos negativos asociados con la producción tradicional de café están directamente relacionados con el alto consumo hídrico para el beneficio del café, al igual que el vertimiento sin ningún tratamiento de aguas mieles provenientes del proceso de despulpado y lavado; lo que representa una alteración al ecosistema producto de la alta carga de contaminantes orgánicos que son nocivos para los afluentes hídricos, el suelo, la salud humana, la flora y fauna.



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



Actualmente el problema local queda en evidencia puesto que en la finca La Libertad Ubicada en la Vereda Tierra Nueva del Municipio de Urumita, La Guajira se desconoce totalmente la cantidad de agua utilizada para los cultivos, ni se cuenta con una gestión que permita optimizar el uso de la misma; Basado en lo anterior y en aras de poder plantear alternativas que permitan la gestión racional del agua lo cual es la clave para la adaptación surge la necesidad de calcular la huella hídrica del cultivo, siendo así planteada la siguiente pregunta de investigación:

2.1. Formulación Del Problema

¿Cuál es la huella hídrica del cultivo de café de la finca la Libertad ubicada en el municipio de Urumita, La Guajira?



3. Justificación Del Proyecto O Investigación

La huella hídrica del cultivo de café en la Finca La Libertad, es un indicador ambiental que permite reconocer, analizar, plantear y proponer soluciones prácticas orientadas a la prevención o mitigación de los problemas ambientales del recurso hídrico, mediante la aplicación de ciencia para el desarrollo y uso sostenible del agua, pero además es una herramienta metodológica que evalúa de manera sistemática los procesos productivos de bienes y servicios, con el fin de determinar cuánto recurso se consume, cuál es su funcionamiento, distribución, disposición final, y el grado de recuperación (total o parcial) de sus componentes (Hilbert y Schein, 2018).

Por consiguiente , el presente proyecto de investigación aporta el marco referente concerniente a la relación directa entre el recurso hídrico y el consumo humano, determinando factores como la escasez o contaminación del agua, a través de un análisis causa- efecto a nivel socioambiental, y de esta manera, realizar el planteamiento de estrategias enmarcadas en la gestión sostenible del recurso hídrico, generando un cambio en la transformación de prácticas cotidianas, donde los principales beneficiarios son los campesinos y la comunidad en general.

Por último, y teniendo en cuenta que en el departamento de la Guajira son escasas las investigaciones relacionadas con huella hídrica para cultivos, este estudio se plantea como base para el desarrollo de futuros proyectos y/o investigaciones, contribuyendo a través de la determinación de la huella hídrica del cultivo de café, la formulación de estrategias encaminadas en la racionalización del recurso hídrico, con el fin de prevenir impactos severos en la disponibilidad del agua, frente a las posibles crisis mundiales por escasez del recurso.



4. Objetivos

4.1.Objetivo General

Evaluar la huella hídrica del cultivo de café de la finca la Libertad ubicada en la Vereda Tierra Nueva del municipio de Urumita, La Guajira.

4.2.Objetivos Específicos

- * Realizar el diagnóstico hídrico del proceso productivo del cultivo de café en la finca la Libertad ubicada en la Vereda Tierra Nueva del municipio de Urumita, La Guajira.
- * Calcular la huella hídrica del cultivo de café con sus tres componentes básicos: huella hídrica verde, azul y gris. en la finca la Libertad ubicada en la Vereda Tierra Nueva del municipio de Urumita, La Guajira
- * Formular estrategias enmarcadas en la sostenibilidad del recurso hídrico en el cultivo de café en la finca la Libertad ubicada en la Vereda Tierra Nueva del municipio de Urumita, La Guajira.



5. Marco Referencial

5.1. Antecedentes De La Investigación

*** Internacional**

Builes (2013) realizó una investigación titulada “Cuantificación y análisis de sostenibilidad ambiental de la huella hídrica agrícola y pecuaria de la cuenca del río Porce” para optar por el título de magister en medio ambiente y desarrollo de la Universidad Nacional de Colombia, para este fin dentro de la metodología se planteó el cálculo de la huella azul, verde e hídrica teniendo en cuenta la variedad de cultivos que se encontraban en la cuenca; en cuanto a los resultados, la huella hídrica agrícola total de la cuenca del río Porce es de aproximadamente 250 Mm³/año, para el periodo de 2005-2010, 93% HH verde, 5% HH azul y 2% HH gris. El café es el cultivo que más aporta a la huella hídrica de consumo con un 31%, seguido por la caña, papa y plátano con valores del 19, 15 y 8 % respectivamente. Por otro lado, la huella hídrica pecuaria de la cuenca del río Porce es de aproximadamente 698 Mm³/año, de los cuales el 66% (464 Mm³/año) es verde, el 32% (221 Mm³/año) gris y sólo el 2% (12 Mm³/año) restante azul. Los bovinos son la especie que más contribuye a la huella hídrica total pecuaria de la cuenca (más del 80%), seguido por los equinos, aves y porcinos respectivamente.

Este estudio se toma como referencia porque permite ver como la huella es un indicador para la toma de decisiones en la ordenación y gestión del agua por parte de diferentes entidades competentes, y se formularon lineamientos de manejo para la gestión integral del recurso hídrico en la cuenca.

Cerpa (2018) realizó una investigación titulada “determinación de la huella hídrica del cultivo de cebolla, de la comisión de usuarios Pucchun del distrito de mariscal cáceres-2018” para optar por el título de ingeniero ambiental de la Universidad nacional de San

Agustín de Arequipa, con la finalidad de determinar la huella hídrica, que cantidad de recurso hídrico azul, verde y gris demanda en el periodo vegetativo de la primera campaña agrícola (marzo-julio) del cultivo de cebolla en la Comisión de Regantes Pucchun, Distrito Mariscal Cáceres, Provincia de Camaná y Departamento de Arequipa. Se empleó la metodología del Manual de Evaluación de la huella hídrica propuesto por Arjen Y. Hoekstra, Ashok K. Chapagain, Maite M. Aldaya and Mesfin M. Mekonnen titulado “the water footprint assessment manual, Setting the Global Standard” publicado en el 2011 y el uso del software CROPWAT 8.0 (programa informático para el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos y las necesidades de riego basado en la tierra, el clima y los datos de los cultivos). Además, se consideró para el cálculo del índice de grado de presión, las categorías de índice de uso de agua desarrollado por IDEAM; Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010. Este trabajo de investigación se realizó en 3 fases: La primera fase se determinó el diagnóstico de consumo de agua, donde se obtuvo como resultado 17712 m³/Ha. En la segunda fase se calculó las huellas hídricas, las cuales se obtuvieron para la huella hídrica total de 108.8 m³/Ton, para la huella hídrica azul 76.28 m³/Ton, huella hídrica verde 0.43 m³/Ton y la huella hídrica gris 32.1 m³/Ton. Finalmente, en la tercera fase se realizó un cálculo de índice de presión ejercida con respecto a la oferta disponible del recurso hídrico en donde se obtiene los porcentajes de 36.74%, 0.21%, 15.46% y 52.41% (huella hídrica azul, verde, gris y total), situados en el orden respectivo “Alto, Moderado, muy bajo y muy alto.

✻ **Nacional**

Murcia y Casadiego (2018) realizó un estudio titulado “cálculo comparativo de la huella hídrica del sistema productivo de arroz de riego en cuatro zonas arroceras de Colombia por medio del software cropwat 8.0” para optar por el título de ingeniero ambiental y sanitario de la Universidad de la Salle. En cuanto a la metodología inicialmente se hicieron los cálculos de la huella hídrica mediante el uso del software CROPWAT 8.0 de la FAO (Food and

Agricultura Organization), y luego se establecieron diferencias en el comportamiento del indicador en mención, teniendo en cuenta las condiciones del enfoque de sistemas productivos (ambientales, tecnológicas, económicas y sociales), ya que, por lo general, la huella hídrica es calculada sin considerar dichas condiciones bajo las cuales se desarrolla el cultivo, de acuerdo con la zona geográfica en donde este se encuentra. En cuanto a los resultados, la huella hídrica en los diferentes sistemas productivos fueron para la finca 1345,6 m³/ha, la finca Cúcuta 1284,6 m³/ha, la Apartada 2007,4 m³/ha y Puerto López 1987,3 m³/ha; en cuanto a la huella verde se obtuvieron valores de 204,3 m³/ha, Cúcuta 179,3 m³/ha, La Apartada 362,6 m³/ha y Puerto López 241,3 m³/ha; en la huella gris, el sistema productivo guamo tuvo valores de 1033,36 m³/ha, Cúcuta 1713,24 m³/ha, La Apartada 1581,55 m³/ha y Puerto López 1900,66 m³/ha. Finalmente, el valor más alto de huella hídrica total fue el de Puerto López con 4129,3 m³ /Ton.

Sabogal (2015) realizó un estudio titulado “Evaluación de la huella hídrica para el cultivo de naranja (valencia) en un predio del municipio de puerto López – Meta” para optar por el título de ingeniero ambiental y sanitario de la Universidad de la Salle. Esta

determinación se llevó a cabo por medio del manejo del software CROPWAT 8.0 propuesto por la FAO (Método de la FAO Penman-Monteith). Se dio desarrollo a la metodología principalmente basada en el manual The Water Footprint Assessment Manual. De Arjen Y. Hoekstra, calculando así los diferentes tipos de huellas hídricas azul, verde y gris con datos de la estación meteorológica más cercana y datos secundarios tales como porcentajes de aprovechamientos de aguas lluvias, coeficientes del cultivo, tiempos del cultivo, fertilizantes, tipos de abono y demás datos necesarios para poder realizar los cálculos y correr el programa, recolectados principalmente durante las visitas a la finca la libertad – CORPOICA. Se obtuvo que el cultivo de naranjas tiene un requerimiento de 45448.6 l/ tallo lo cual nos indica que para poder cumplir las necesidades para un óptimo desarrollo del cultivo se necesitan 295415 m³/ha, teniendo en cuenta que la producción desde la siembra

hasta la cosecha está tardando alrededor de un año, iniciando cosecha en el mes de enero y teniendo la recolección de frutos en el mes de diciembre.

✻ **Local**

Cotes, Díaz & Mendoza (2021) realizaron una investigación titulada “Evaluación de la huella hídrica del café en la estación experimental Pueblo Bello” Fundación Universitaria del Área Andina – Colombia En este estudio se utilizó el software Cropwat 8.0, con el fin de evaluar la huella hídrica del café en la estación experimental Pueblo Bello en el departamento del Cesar, el cual se ve reflejado en la sostenibilidad Ambiental, social y económica de la huella hídrica. Esta metodología se basó en el manual de huella hídrica propuesto por Hoekstra et al, en donde para calcular la huella hídrica se tomó como referencia los datos climáticos para los años 2017 y 2018, los cuales sirvieron para calcular la huella hídrica verde y el Agua Virtual. Finalmente, los resultados mostraron que la huella hídrica en el 2017 fue 84,24 m³/año y para el 2018 fue 86,58 m³/año, lo cual demuestra que el consumo de agua en la estación experimental para estos años fue bajo, ya que para producir 1 Kg de café se requirió aproximadamente 0,3 litros de agua.



5.2. Marco Teórico

5.2.1 Concepto De Huella Hídrica

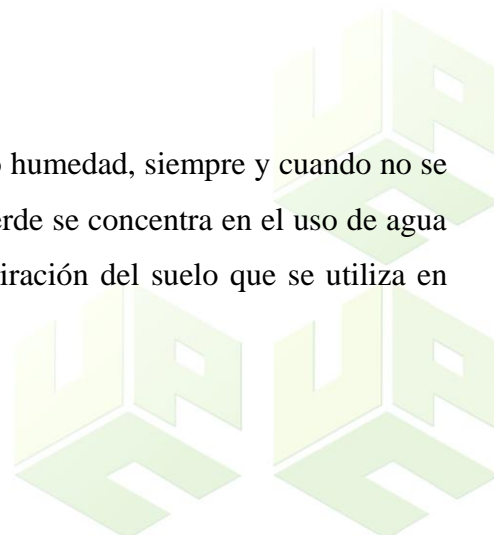
La huella hídrica es un indicador del uso de agua dulce que se ve no sólo en el uso del agua directa de un consumidor o productor, sino también en el uso indirecto del agua. La huella de agua puede ser considerado como un indicador global del agua dulce apropiación de recursos, al lado de la medida tradicional y restringida de la extracción de agua. La huella de agua de un producto es el volumen de agua dulce usada para producir el producto, medido sobre la cadena de suministro completo. Es un indicador multidimensional, que muestra los volúmenes de consumo de agua por fuentes y los volúmenes contaminados por 16 tipo de contaminación; todos los componentes de una huella total de agua se especifican geográfica y temporalmente (Hoeskstra et al., 2011).

5.2.2 Huella Hídrica Azul

Volumen de agua dulce extraído de una fuente superficial o subterránea, consumido para producción de bienes y servicios, cubriendo una demanda de agua no satisfecha a causa de un déficit en la disponibilidad de agua procedente de la lluvia (Arévalo, Lozano y Sabogal, 2011).

5.2.3 Huella Hídrica Verde

Es el agua de lluvia almacenada en el suelo como humedad, siempre y cuando no se convierta en escorrentía. Igualmente, la huella hídrica verde se concentra en el uso de agua de lluvia, específicamente en el flujo de la evapotranspiración del suelo que se utiliza en agricultura y producción forestal. (AgroDer, 2012).



5.2.4 Huella Hídrica Gris

Es toda el agua contaminada por un proceso. Sin embargo, la huella hídrica gris no es un indicador de la cantidad de agua contaminada, sino de la cantidad de agua dulce necesaria para asimilar la carga de contaminantes dadas las concentraciones naturales conocidas de éstos y los estándares locales de calidad del agua vigentes. (AgroDer, 2012)

5.2.5 Huella Hídrica De Un Cultivo

Es el volumen de agua utilizado en el cultivo (m^3 /ha) dividido entre su rendimiento (Ton/ha). El uso de agua del cultivo depende, por un lado, de su necesidad de agua y por el otro, del agua disponible en el suelo. Cuando un cultivo primario se transforma en un producto (por ejemplo, arroz procesado como arroz integral), la huella hídrica del producto transformado se calcula dividiendo la huella hídrica de los productos primarios entre la denominada fracción del producto (es decir, el tonelaje del producto vegetal obtenido por tonelada del cultivo primario). Si un cultivo primario se transforma en dos productos distintos o más (por ejemplo, algodón procesado como textil y como aceite de algodón), es necesario distribuir la huella hídrica del cultivo principal entre sus productos, en proporción al valor de estos. (Vazquez & Buenfil, 2012)

5.2.6 Cultivo De Café

5.2.6.1 Taxonomía

El café tiene su origen en los bosques tropicales de África. Pertenece a la familia de las Rubiáceas, la cual está formada por 500 géneros y más de 6.000 especies. Dentro de la tribu Coffeae, *Coffea* sp y *Psilanthus* sp son los dos géneros más relacionados (Leroy, 1980).

El género *Coffea*, es el de mayor importancia económica y está conformado por 103 especies, de las cuales 41 tienen su origen en África continental y 59 son silvestres en la isla de Madagascar. Las plantas tienen un porte que va desde pequeños arbustos hasta árboles de



tamaño considerable. Su madera es dura y densa, sus inflorescencias son flores hermafroditas con corolas blancas o ligeramente rosadas. El fruto se clasifica como una drupa indehisciente, formado por dos semillas. Cada semilla tiene una grieta muy característica, la cual se conoce como la “sutura coffeanum” (Davis et. al, 2006 citado por Herrera y Cortina, 2013).

De todas estas especies, sólo cuatro se cultivan ampliamente y constituyen los cafés comerciales: café arábigo (*Coffea arábica*); café robusta (*Coffea canephora*); café liberiano (*Coffea libérica*) y café excelso (*Coffea excelsa*).

5.2.6.2 Factores Agroecológicos Del Café

Altitud

La altitud es un factor climático de importancia para el desarrollo de las plantas por su efecto en la variación de la temperatura. El café se adapta en zonas con altitudes que van desde los 500 hasta 1,400 msnm en el país. En general, para producir cafés de buena calidad se recomienda el establecimiento del cafetal sobre los 700 msnm. (Instituto Interamericano De Cooperación Para La Agricultura, 2019).

Temperatura

Es uno de los elementos climáticos que más afecta la fisiología del café. La tasa fotosintética, el desarrollo foliar y la formación de botones florales están influenciados en forma directa por la temperatura. El rango óptimo para el cultivo de café oscila entre 18°C a 22°C. Cuando se registran temperaturas por debajo de 18°C se promueve el crecimiento vegetativo y se reduce la tasa de diferenciación floral del café (Jaramillo, 2005). Si la temperatura es mayor a 22°C se acelera el crecimiento vegetativo afectando la floración y fructificación. (Instituto Interamericano De Cooperación Para La Agricultura, 2019).

Los cambios diarios expresados en la diferencia entre la temperatura máxima y la mínima son definidos como amplitud térmica, la cual influye en la floración. Cuando la amplitud térmica es superior a 10°C, se promueve la floración (Ramírez, et. al, 2011).

Precipitación

La planta de café crece bajo una amplia gama de condiciones de precipitación pluvial. La precipitación anual óptima para el cafetal varía entre 1,600 a 1,800 mm, con una buena distribución. Un período corto de sequía se considera favorable a la floración del café. Contrario a esto, el exceso de lluvia no promueve la floración. Las deficiencias hídricas favorecen la floración, pero limitan el crecimiento vegetativo y el desarrollo normal del fruto (Arcila y Jaramillo, 2003).

Luminosidad

El café es una planta de días cortos, lo que significa que florece cuando la noche tiene una duración mayor que el día. Además del fotoperiodo, el brillo solar es otro componente de la luminosidad de importancia para la planta. Es un indicador de la cantidad de la energía lumínica recibida en la superficie terrestre. Se considera como un factor climático de acumulación, cuando interactúa con la cantidad de biomasa disponible en hojas, determinando la productividad potencial del cafetal. El proceso de acumulación de biomasa del cultivo de café depende fundamentalmente de la cantidad de energía recibida, absorbida y redistribuida por la planta. En general, para un buen desarrollo del café, el brillo solar óptimo es de 4 a 7 horas de luz/día. (Instituto Interamericano De Cooperación Para La Agricultura, 2019).

Viento

Este elemento climático tiene una gran importancia, ya que aumenta la evaporación desde la superficie del suelo y la transpiración de las plantas a medida que aumenta su



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



velocidad. Corrientes de aire muy fuertes resecan y rompen hojas, brotes tiernos y yemas florales. El efecto negativo del viento se reduce con la plantación de árboles sombreadores dentro del cafetal. (Instituto Interamericano De Cooperación Para La Agricultura, 2019).

Humedad relativa

El rango favorable para el desarrollo del café oscila entre el 70 – 85%. Períodos prolongados de alta humedad relativa favorecen el desarrollo y la incidencia de plagas y enfermedades. (Instituto Interamericano De Cooperación Para La Agricultura, 2019).

Modelo CROPWAT 8.0

Es un programa informático creado por la FAO en el año 2010, que utiliza el método Penman-Monteith como herramienta principal para determinar la evapotranspiración del cultivo en estudio (ET), las necesidades hídricas y las necesidades de riego del mismo, en base a datos climatológicos, del suelo, y del cultivo. (Builes, 2013), CROPWAT 8.0 también se puede utilizar para evaluar las prácticas de riego de los agricultores y para estimar el rendimiento de los cultivos, tanto en condiciones de secano y de regadío. (FAO, 2010).



5.3.Marco Conceptual

Agua virtual: Es el agua contenida en un producto, no en el sentido real sino en el sentido virtual. Se refiere al agua usada para elaborar un producto determinado. (Parada, 2012)

Evapotranspiración (ET_o): Combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación, y, por otra parte, mediante transpiración del cultivo. (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006)

Huella Hídrica Azul: Es el volumen de agua dulce extraído de una fuente superficial o subterránea, que responde a un déficit en la disponibilidad de agua procedente de la lluvia. (Arévalo, 2012)

Huella Hídrica verde: Es el volumen de agua lluvia que se consume por la vegetación y no se convierte en escorrentía. Esta agua se almacena en los estratos superficiales del terreno satisfaciendo la demanda natural de la vegetación y los cultivos. (Arévalo, 2012)

Huella Hídrica gris: Es el volumen de agua contaminada que se relaciona con la producción de bienes y servicios. Este volumen se suele estimar como la cantidad de agua que es necesaria para diluir los contaminantes de forma que se mantengan o superen los niveles de calidad del agua, de acuerdo a los requisitos legales vigentes. (Hoekstra et; al, 2010)

Necesidades netas de riego (NNR): Cantidad de agua suministrada por riego que alcanza el suelo y se infiltra en él (Calera, Campos, & Garrido, 2016)

Precipitación efectiva: (punto de vista agrícola) Se refiere a la parte de la precipitación que puede ser efectivamente utilizada por las plantas. Esto significa que no toda la precipitación está a disposición de los cultivos, ya que una parte se pierde a través de la



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



Escorrentía Superficial y de la Percolación Profunda. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2006).

Requerimiento hídrico de los cultivos: Hace referencia a la cantidad de agua que debería ser suministrada a la planta para que compense las pérdidas ocasionadas por la evapotranspiración. Numéricamente esta cantidad correspondería a la evapotranspiración del cultivo de café. Esa cantidad de agua debe quedar disponible para compensar las pérdidas de agua y así los cultivos puedan desarrollarse plenamente. (FAO, 2016)

Suelo: Cuerpo natural que consiste en capas de suelo (horizontes del suelo) compuestas de materiales de minerales meteorizados, materia orgánica, aire y agua. Su significado tradicional se define como el medio natural para el crecimiento de las plantas. (FAO, 2016)



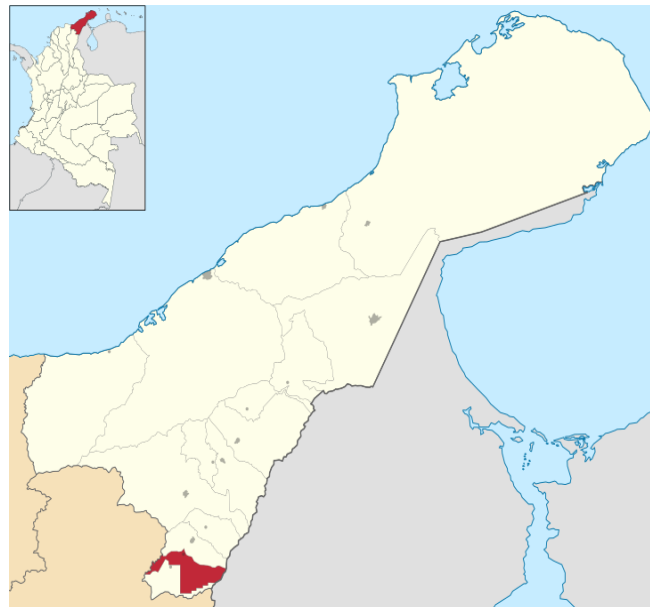
5.4. Marco Contextual

5.4.1 Localización Geográfica Del Municipio De Urumita, La Guajira

El municipio de Urumita está ubicado en la República de Colombia aproximadamente a 175 Km. al sur de Riohacha, y a 45 Km. al Noreste de Valledupar (capital del Cesar); en el sector sur del departamento de la Guajira, al pie de la serranía del Perijá prolongación de la cordillera Oriental; limitado al norte con el municipio de Villanueva, en una longitud aproximada de 36 Km, al sur con el municipio de la Jagua del Pilar en una longitud aproximada de 50 Km, al este con la República de Venezuela en una longitud aproximada de 10 Km. y al Oeste con el Municipio de Valledupar en una longitud de 15 Km. ¹

Figura 1

Ubicación del Municipio de Urumita.



Fuente: Google Maps, 2022.

¹ Alcaldía de Urumita. Recuperado de: [Geografía - Alcaldía de Urumita \(urumita-guajira.gov.co\)](http://Geografia - Alcaldía de Urumita (urumita-guajira.gov.co))

5.4.2 Localización Geográfica De La Finca La Libertad

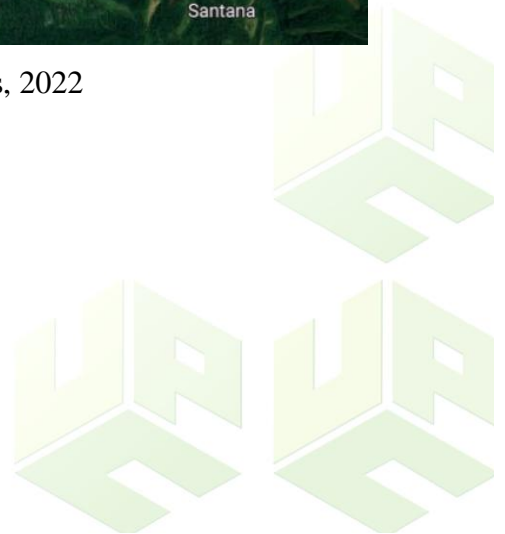
El Proyecto de investigación se desarrollará en La Finca La Libertad se encuentra ubicada en la Vereda Tierra Nueva del Municipio de Urumita, al sur del departamento de La Guajira, en las coordenadas geográficas 10.485732 de latitud Norte y -72.961665 longitud oeste, tal como se ilustra a continuación:

Figura 2

Ubicación geográfica de la Finca La Libertad



Fuente: Google Maps, 2022





5.5.Marco Legal

A continuación, de manera resumida se detalla la normatividad que regula la gestión del agua en Colombia, la cual es aplicable en este tema investigativo.

Tabla 1

Marco legal aplicable

Norma	Descripción	Aplicabilidad
Constitución Política Nacional de Colombia 1991	Carta magna de la República de Colombia	Artículos 79 y 80 señala la obligación del Estado de prevenir los factores de deterioro, garantizar el medio ambiente sano y promover el desarrollo sostenible
Ley 99 de 1993	“Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones.”	Artículo 31 al 41 Delega a las Corporaciones Autónomas Regionales las funciones relacionadas con la preservación y conservación del recurso hídrico Artículo 42 Tasas retributivas y compensatorias por uso de agua
Ley 373 de 1997	“Por la cual se establece el Programa para el Uso Eficiente y Ahorro del Agua.”	Establece los lineamientos para la formulación del (PUEAA)

Decreto 1090 de 2018	"Por el cual se adiciona el Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con el Programa para el Uso Eficiente y Ahorro de Agua y se dictan otras disposiciones"	Subsección 1 Programa para el Uso Eficiente y Ahorro del Agua (PUEAA)
Decreto 2811 de 1974	"Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente."	Título III Artículo 18 Tasas retributivas de servicios ambientales
Decreto 2857 de 1981	"Por el cual se reglamenta la Parte XIII, Título 2, Capítulo III del Decreto- Ley 2811 de 1974 sobre Cuencas Hidrográficas y se dictan otras disposiciones."	Manejo y ordenamiento de Cuencas Hidrográficas
Decreto 1594 de 1984	"Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II y el Título III de la Parte III Libro I del Decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos."	Art. 22- 23 Ordenamiento del recurso agua Art. 29 Usos del agua Art. 37- 50 Criterios de calidad del agua Art. 60-71 Vertimientos de residuos líquidos Art. 22- 23 Normas de vertimientos
Decreto 3930 de 2010	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III -Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.	Art.13 Uso agrícola Art.40 Control de contaminación por agroquímicos.

Decreto 1076 de 2015	Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible	Capítulo 2. Uso y aprovechamiento del Agua Sección 1.
Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico	Garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico, mediante una gestión y un uso eficiente y eficaz, articulados al ordenamiento y uso del territorio y a la conservación de los ecosistemas que regulan la oferta hídrica, considerando el agua como factor de desarrollo económico y de bienestar social, e implementando procesos de participación equitativa e incluyente.	

Fuente: Autores, 2022.



6 Marco Metodológico

6.1 Línea Y Sublínea De Investigación

La línea de investigación de la facultad corresponde a la de sostenibilidad y gestión ambiental, y la sublínea de investigación gestión integral del recurso hídrico. Estas líneas pertenecen al programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad Popular del Cesar.

6.2 Tipo De Investigación

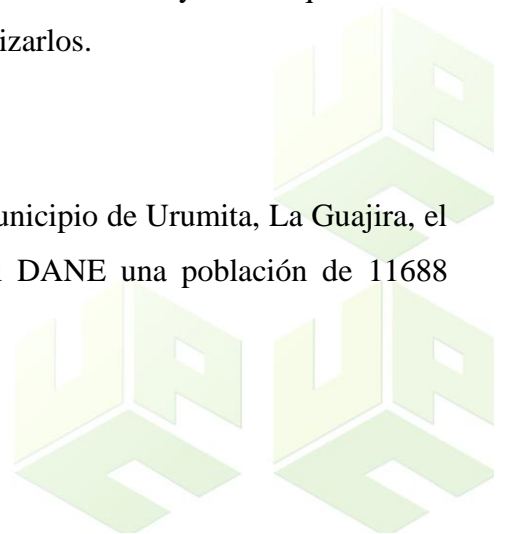
De acuerdo con Fernández et al., (2014). Un estudio es cuantitativo porque utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías. Además, refleja la necesidad de medir y estimar magnitudes de los fenómenos o problemas de investigación: ¿Cada cuánto ocurren y con qué magnitud?

6.3 Nivel De Investigación

Esta investigación es no experimental, de acuerdo con Hernández et al., (2014) estos estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en los que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para analizarlos.

6.4 Población De Estudio

La población objeto de estudio corresponde al Municipio de Urumita, La Guajira, el cual para el año 2022 posee de acuerdo al Censo del DANE una población de 11688 habitantes.



6.5 Muestra Poblacional

La muestra poblacional, por su parte, está conformada por tres hectáreas en donde se encuentra sembrado el cultivo de café.

6.6 Desarrollo Metodológico

Con el fin de dar cumplimiento a lo establecido en el objetivo general propuesto a continuación se detallan las etapas y actividades a desarrollar en esta investigación:

6.6.1 Etapa 1. Realizar El Diagnóstico Hídrico Del Proceso Productivo Del Cultivo De Café En La Finca La Libertad Ubicada En La Vereda Tierra Nueva Del Municipio De Urumita, La Guajira.

Actividad 1.1 Revisión de documentación oficial

Descripción: Con el fin de recopilar información relacionada con el área objeto de estudio se realizó la revisión de documentos oficiales tales como: Esquema de ordenamiento territorial- EOT y el Plan de Desarrollo Municipal- PDM.

Actividad 1.2. Diagnostico Hídrico Del Cultivo

Descripción: se realizarán visitas en el área de estudio en donde se pueda identificar el tipo de sistema de riego que es utilizado por la finca. Para determinar la entrada de agua al cultivo se realizará una medición de caudal por medio del método volumétrico, el cual consiste en desviar el agua hacia un ducto que realiza la descarga del recurso en un recipiente y medir el tiempo que demora su llenado mediante un cronometro, la ecuación para la determinación del caudal es:

$$Q = v/t \quad \text{Ec (1)}$$

Donde, v es el volumen del recipiente y t el tiempo de llenado del mismo

Esta medición se realizó en el periodo lluvioso comprendido entre el 10 de mayo y 10 de Junio del 2022 con el fin de obtener un valor promediado de la entrada de agua. Resultado de esta actividad se deberá comparar con la bibliografía existente sobre la cantidad de agua necesaria para este cultivo.

6.6.2 Etapa 2. Determinar La Huella Hídrica Del Cultivo De Café En La Finca La Libertad Ubicada En La Vereda Tierra Nueva Del Municipio De Urumita, La Guajira Mediante Sus Tres Componentes Básicos: Cálculo De La Huella Hídrica Verde, Azul Y Gris.

La huella hídrica total del proceso de los cultivos (HH proc) se determinará a partir de la suma de los componentes verde, azul y gris:

$$HH \text{ cultivo} = HH \text{ azul} + HH \text{ verde} + HH \text{ gris} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde

HH azul= Huella hídrica azul

HH verde= Huella hídrica verde

HH gris= Huella hídrica gris

La huella hídrica está expresada en unidades de volumen de agua por unidad de masa (m³ /ton).

Actividad 2.1. Cálculo de la huella azul del cultivo

Descripción: El componente azul (HH azul, m³ /ton) se calcula de una manera similar, mediante la siguiente fórmula.



$$HH_{azul} = \frac{CWU_{azul}}{Y} \text{ (Ec. 3)}$$

CWU riego = requerimiento de riego del cultivo (m)

Y= rendimiento del cultivo (ton/m²)

Actividad 2.2. Cálculo de la huella verde del cultivo

Descripción: La huella hídrica verde corresponde al cociente entre el agua utilizada por el cultivo proveniente de precipitación y el rendimiento del cultivo (Hoekstra, et; al, 2010).

La cantidad de agua que es aprovechada por el cultivo proveniente de precipitación es equivalente a la precipitación efectiva, por lo cual la huella hídrica verde puede entenderse como la relación entre la precipitación efectiva del lugar donde se ubica el cultivo y el rendimiento del mismo.

$$HH_{verde} = \frac{p_{pef}}{y} Ec \text{ (4)}$$

Donde;

P_{pef} = Precipitación efectiva en metros (m)

y = Rendimiento (ton/m²)

Actividad 2.3. Cálculo de la huella gris del cultivo

Descripción: La huella hídrica gris es el volumen de agua contaminada que se relaciona con la producción de bienes y servicios. Este volumen se suele estimar como la

cantidad de agua que es necesaria para diluir los contaminantes de forma que se mantengan o superen los niveles de calidad del agua, de acuerdo a los requisitos legales vigentes. (Hoekstra et; al, 2010), y se determina a través de la siguiente expresión matemática:

$$HH_{gris} = \frac{L \cdot \beta}{C_{max} - C_{nat}} \quad \text{Ec (5)}$$

Donde; HH gris:

Huella hídrica gris de un producto agrícola específico (m³/ha).

L: Cantidad de fertilizante aplicado (Kg/ha).

β: Tasa de lixiviación (10%)

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

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

Y: Rendimiento del cultivo (Ton/ha)

Para la determinación de la concentración máxima permisible, se tuvo en cuenta los valores máximos permisibles establecidos en el Decreto 3930 de 2010 *“Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones”* y el Decreto 1594 de 1984.

6.6.3 Etapa 3. Formular Estrategias Enmarcadas En La Sostenibilidad Del Recurso Hídrico En El Cultivo De Café En La Finca La Libertad Ubicada En La Vereda Tierra Nueva Del Municipio De Urumita, La Guajira.

Actividad 3.1. Planteamiento de estrategias



Descripción: Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en campo y el Manual de huella hídrica (Hoekstra et; al, 2010) en el cual se realiza el análisis de la sostenibilidad a través de la perspectivas ambientales, sociales, económicas y de gobernanza del recurso hídrico, se llevó a cabo la formulación de estrategias enmarcadas en la sostenibilidad hídrica del cultivo de café en la finca la Libertad ubicada en la Vereda Tierra Nueva del municipio de Urumita, La Guajira.

7 Análisis Y Resultados

Con el objetivo de dar cumplimiento a la finalidad de este proyecto de investigación, a continuación, se detallan las etapas y actividades desarrolladas:

7.1 Etapa 1. Realizar El Diagnóstico Hídrico Del Proceso Productivo Del Cultivo De Café En La Finca La Libertad Ubicada En La Vereda Tierra Nueva Del Municipio De Urumita, La Guajira.

7.1.1 Revisión de documentación oficial

Descripción: Con el fin de recopilar información relacionada con el área objeto de estudio se realizó la revisión de documentos oficiales tales como:

Esquema de ordenamiento territorial- EOT del Municipio de Urumita

De acuerdo a lo establecido en el instrumento de planificación territorial el Municipio de Urumita cuenta con las siguientes áreas de importancia ambiental:

- **Zonas de protección hídrica**

Son las zonas de nacimientos de agua y se presentan en el municipio La Laguna del Jumco, los nacimientos de los ríos Quiebrapalos, Urumita, Villanueva, Marquezote y Marquezotico. Se mantendrán los usos de bosque protector en una extensión de 100 mts a la redonda, medidos a partir de su periferia. (EOT, 2002)

- **Zonas de conservación hídrica**

Pertenecen a esta zona las cuencas hidrográficas abastecedoras de centros poblados urbanos y rurales, en donde se permitirán usos de bosque protector en un corredor de vegetación natural de 30 mts de ancho paralelo a las líneas de mareas máxima a cada lado de los cauces de los ríos (EOT, 2002)

Plan de Desarrollo Municipal “Construyamos lo nuestro, Urumita La Guajira”

De acuerdo al PDM del Municipio de Urumita una de las grandes problemáticas ambientales que se presentan en el territorio está asociada al mal uso del agua y la falta de una cultura de ahorro, donde en verano se presenta desabastecimiento del recurso hídrico.

No obstante, se proyecta la construcción de miradores en sitios estratégicos, en la cual se busca gestionar proyectos para adecuar un balneario en el río Marquesote, sitios, miradores, implementación de vías de ingreso y rutas turísticas, reconocimiento y difusión de los sitios que conforman de nuestras riquezas turísticas (cerro pintao, Río Marquesote y sus diferentes veredas, casa de la gota fría, jardines de flores y Caláguas, Cerro del viejo moly).

7.1.1.1 Condiciones generales del área objeto de estudio

Clima

El Municipio de Urumita, La Guajira cuenta con un clima estable y su temperatura oscila entre los 29 y los 36 grados centígrados; posee diferentes pisos térmicos que van de 100 a 3.200 metros sobre el nivel del mar, lo que nos da el privilegio de tener diversos climas, desde el cálido hasta el frío del páramo; su precipitación y temperatura, la hemos dividido en 4 zonas con condiciones agroecológicas diferentes: Zona plana de 100 - 350 m.s.n.m, Zona Ondulada de 350 - 1.000 m.s.n.m, Zona Quebrada de 1.000 -1.800 m.s.n.m y Zona Reserva Forestal 1.800 - 3.200 m.s.n.m (Esquema de Ordenamiento Territorial- EOT, 2015)

Suelo

▪ Distritos de Conservación de Suelos

El Distrito de Conservación de Suelo de la Serranía del Perijá, declarado por la Corporación Autónoma Regional- Corpoguajira mediante Acuerdo 0009 de 2020, abarca un área del 39,8% del municipio. Según el artículo 2.2.2.1.4.2. del Decreto 1076 de 2015 se determina que los usos y las actividades permitidas en estos distritos serán reguladas a través del Plan de Manejo que orienta su gestión de conservación. (Agencia Nacional de Minería- ANM, 2021)

De conformidad con lo establecido por los artículos 30 al 35 de la Ley 388 de 1997, en el municipio de Urumita el suelo se clasifica como suelo urbano, suelo de expansión urbana, suelo suburbano y suelo rural.

Economía

La economía del municipio de Urumita depende del comercio, la explotación minera, el turismo y los servicios. La agricultura y ganadería ocupan un renglón secundario. El comercio depende del eje de circulación económica entre las ciudades de Valledupar y Maicao; La agricultura es básicamente de subsistencia, se produce café, plátano, algodón, maíz, yuca, frijol, cacao, ñame, banano, achiote, ají, ciruela, mamoncillo, mango, piña,

papaya, melón y mora. Además, por la presencia del turismo en los últimos años se han establecido talleres de artesanías. (Esquema de Ordenamiento Territorial- EOT, 2015).

De acuerdo con la Cámara de Comercio de La Guajira, el municipio de Urumita contaba en 2019 con un total de 342 empresas registradas, correspondientes al 11,3% del total de empresas del departamento. Alrededor del 98% son microempresas, en tanto que más del 60% se dedican al comercio y poco menos del 3% son industrias manufactureras. La minería es una actividad destacada en la actividad del municipio, debido al alto número de habitantes que trabajan en la mina del Cerrejón. (Agencia Nacional de Minería- ANM, 2021)

Población

Para 2020, el municipio contaba con una población 11.261 habitantes, de los cuales, el 50,65% son mujeres y el 49,36% son hombres. De estos, 10.146 personas se encuentran asentadas en la cabecera municipal y 1.115 en centros poblados y rural disperso. (Agencia Nacional de Minería- ANM, 2021)

▪ Índice de desempeño municipal

Para 2018, el municipio reportó un Índice de Desempeño Municipal (IDM) de 27,81, clasificándose en el grupo de capacidades Bajo, al estar más cercano a 0. El municipio cuenta con el peor desempeño del departamento, ubicándose en la posición 1090 a nivel nacional. Por su parte, el departamento de La Guajira reporta un desempeño de capacidades Medio, con un índice de 45,53 (Agencia Nacional de Minería- ANM, 2021)

▪ Índice de pobreza multidimensional

En 2018, el Índice de Pobreza Multidimensional (IPM) del municipio de Urumita fue del 32%, es decir, la proporción de personas respecto del total que se considera pobre en la

clasificación multidimensional. Por su parte, el índice para el departamento es del 51,4% (Agencia Nacional de Minería- ANM, 2021)

- **Índice de necesidades básicas insatisfechas**

En 2018, el 24,37% de la población del municipio de Urumita tenía necesidades básicas insatisfechas y el 6,85% se encontraban en condición de miseria, cifras inferiores a las departamentales: 53,01% y 30,22%, respectivamente. (Agencia Nacional de Minería- ANM, 2021)

- **Nivel de educación**

El municipio reporta un PIB (2018p) de \$65.000 millones, de los cuales, \$24.000 millones (37%) están asociados a actividades primarias (Agricultura, ganadería, silvicultura, pesca, explotación de minas y canteras). El municipio de Urumita tiene un peso relativo en el valor agregado departamental de 0,6%. El 25,69% de la población del municipio de Urumita ha alcanzado el nivel educativo de media académica, seguido del 25,39% en básica primaria, 16,30% básica secundaria, 11,26% universitaria y 10% técnica profesional. (Agencia Nacional de Minería- ANM, 2021)

- **Ocupación**

En cuanto a población ocupada, se encontró que en la semana de referencia el el 33% de la población de Urumita trabajó por lo menos una hora en una actividad que le generó algún ingreso, seguido de 23,64% que estudió, 22,39% realizó oficios del hogar y 8,25% buscó trabajo. (Agencia Nacional de Minería- ANM, 2021)

- **Autorreconocimiento étnico**

El 90,15% de los habitantes del municipio de Urumita no pertenecen a ningún grupo étnico mientras que el 7,36% son Negro, Mulato, Afrodescendiente, Afrocolombiano y el

1,49% se autoreconocen como indígenas. De esta población, el 28,95% son arhuacos, 25,66% muruís, 23,03% wayuus, 5,92% wiwas, 5,26% wipiwis y 4,61% kankuamos (Agencia Nacional de Minería- ANM, 2021)

Servicios públicos

▪ Gas combustible

El servicio de gas natural en el municipio alcanza una cobertura del 92,32% 32, el cual es prestado por la empresa Gases de la Guajira S.A. E.S.P., estimando un total de 2160 suscriptores, de los cuales, 2132 correspondientes el 99,13% se encuentran identificados como usuarios residenciales de los estratos 1 y 2. (Agencia Nacional de Minería- ANM, 2021)

▪ Acueducto, alcantarillado y aseo

El servicio de acueducto es prestado por la Empresa Cooperativa de Aguas de Urumita Ltda., la cual cuenta con una cobertura de 84,73% y un total de 1.709 usuarios conectados 33, de los cuales, 1.664 se encuentran clasificados como usuarios de estratos 1 y 2. (Agencia Nacional de Minería- ANM, 2021)

En cuanto al servicio de alcantarillado, se cuenta con una cobertura de 82,20%. Por otra parte, el servicio de aseo presenta una cobertura del 26,11%. (Agencia Nacional de Minería- ANM, 2021)

▪ Internet de banda ancha

El municipio presenta una cobertura del servicio de internet del 11,02% 34. En el área urbana, la cobertura es del 12,59% , mientras que en la zona rural esta es del 0,58%.(Agencia Nacional de Minería- ANM, 2021)

7.1.1.2 Generalidades del cultivo de café en la Finca La Libertad ubicada en la Vereda Tierra Nueva del Municipio de Urumita, La Guajira

Ubicación del área de estudio

La Finca La Libertad se encuentra ubicada en la Vereda Tierra Nueva del Municipio de Urumita, al sur del departamento de La Guajira, en las coordenadas geográficas 10.485732 de latitud Norte y -72.961665 longitud oeste, tal como se ilustra a continuación:

Figura 3

Ubicación geográfica de la Finca La Libertad



Fuente: Google Maps, 2022

El cultivo del café en la Finca La Libertad posee una extensión aproximada de 3 hectáreas, caracterizado por ser un cultivo asociado donde se alterna con la siembra de otras plantas como el aguacate, plátano, frijoles y yuca, lo que permite proveer el abastecimiento de cultivos alimentarios y vegetales a lo largo de todo el año. De acuerdo a lo señalado por la FAO 2020, sembrar diferentes cultivos juntos disminuyen los problemas causados por plagas y hace eficiente el uso de los nutrientes del suelo. Las leguminosas (como el frijol, la

soja) proveen nitrógeno a otros cultivos como maíz y tomate cuando están sembrados juntos. Algunas plantas como el pimiento y el ajo pueden repeler las plagas de los cultivos vecinos.

Figura 4

Cultivo asociado (Café, plátano, frijol y yuca) Finca La Libertad



Fuente: Autores 2022

Comercialización

En tiempo de cosecha (recolección del producto de café) es transportado principalmente hasta el municipio de Urumita guajira donde realizan el proceso de secado aproximadamente tres días exponiéndolo al sol para después llevarlo a la ciudad de Valledupar para ser vendido ya en estado del grano seco.

El precio del café tiene mucha variabilidad en estas temporadas en donde el rango aproximado es de \$13.000 a 20.000 el kilogramo de café pergamino seco, en meses de noviembre y diciembre la economía aumenta considerablemente ya que son muchos los campesinos realizando este proceso y beneficiándose de la temporada de la cosecha



Beneficio del cultivo de café en la región

En cuanto a la generación de empleo, el sector caficultor en el Municipio genera alrededor de 350 empleos directos, y 820 empleos indirectos, si se compara con otras actividades agropecuarias, este cultivo genera 3 veces más empleo que los cultivos de arroz, maíz y papa, y es 7 veces más grande de lo que genera las plantaciones de palma africana presentes en el área (Asociación de Agricultores del Municipio de Urumita).

Lo que se traduce en el evidente desarrollo en la economía rural quienes a lo largo de la historia han sido afectados por la violencia, resaltando la importancia social y económica de la caficultura en la transformación del tejido social, que contribuye de manera directa a la generación de espacios de paz y al desarrollo rural, y que busca a través de la gestión de recursos la reduciendo de la pobreza extrema, potenciando la producción y proporcionando herramientas para que el campo siga siendo un lugar de grandes oportunidades.

Descripción ambiental de la zona

▪ Parques Nacionales Regionales

El Parque Natural Regional Cerro Pintao - Serranía del Perijá tiene una cobertura total del 20,6% del área municipal de Urumita. Según lo establecido en el Decreto 1076 de 2015, esta área es excluible de actividad minera.

▪ Zonas de Páramo

El área correspondiente al Páramo de Perijá abarca un 2,3% del área municipal de Urumita. Según lo establecido en la Ley 1930 de 2018, esta área es excluible de actividad minera.

▪ Reservas de la Biósfera

La Reserva Natural de la Biósfera Sierra Nevada de Santa Marta comprende el 0,03% del territorio de Urumita, por su límite occidental. Según lo establecido en el artículo 2.2.2.1.3.7. del Decreto 1076 de 2015, esta área tiene restricción para actividad minera³.

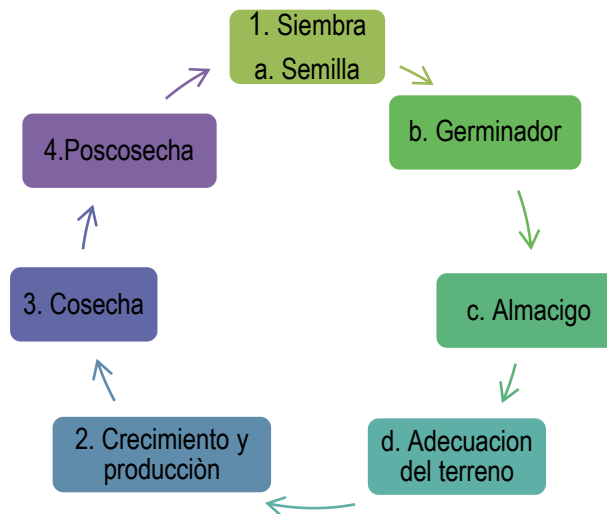
▪ **Áreas Importantes para la Conservación de Aves - AICA**

La AICA de Cerro Pintao comprende el 23,8% del área del municipio de Urumita. Según lo establecido en el artículo 2.2.2.1.3.7. del Decreto 1076 de 2015, esta área tiene restricción para actividad minera.

Fases del proceso productivo del café

Figura 5

Fases del proceso productivo del café de la Finca La Libertad



Fuente: Autores, 2022

En la finca La Libertad, el proceso productivo del café se realiza de manera tradicional no tecnificado. A continuación, se describen cada una de las operaciones unitarias desarrolladas a través de sus etapas:

Siembra (a. Semilla): La semilla de café es una nuez, oblonga, plano convexo, de tamaño variable, la cual oscila en valores de 10 - 18 mm de largo y 6,5 – 9,5 mm de ancho, cabe señalar que la semilla se encuentra dentro del fruto del cafeto y se encuentra constituida en su mayor parte por un endospermo córneo (Cenicafé, 2014).

Figura 6

Semilla de Café

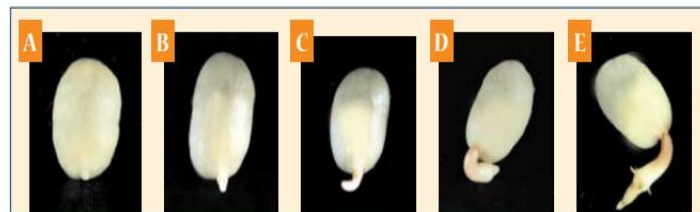


Figura 4.3. Cambios tempranos de la semilla de café durante su germinación. A) Imbibición e hinchamiento; B) Brotación; C) Curvatura geotrópica; D) Engrosamiento de la radícula; E) Elongación de la radícula y formación de raíces laterales (Arcila, 1985).

Fuente: Cenicafé, 2014

La federación colombiana de cafetero, les da a los agricultores las correspondientes semillas de café para realizar la siembra en estas zonas. en esta etapa del proceso no requerimos ningún consumo de agua; La semilla debe estar disponible 8 meses antes del transplante definitivo en campo, de este período.

Siembra (b. germinador): El germinador construido en la finca La libertad está dividido en 2 áreas, donde cada tiene una dimensión de 6 metros de largo por 1,5 metros de ancho, en el cual se realiza la siembra de 4700 plántulas en bolsas de polietileno color negro, calibre 1.5 o 2, perforadas a los lados y al fondo, y de un tamaño del 7 x 23cm.

Dos meses corresponden a la etapa de germinador. En el proceso productivo de germinador y almácigo se necesitan insumos que se pueden adquirir en la zona, como guaduas o estacones de madera redonda, arena lavada de río, tierra, pulpa descompuesta o materia orgánica, bolsas plásticas, materiales para disponer sombra en viveros. En esta etapa

se requiere consumo de agua, en donde dependiendo con las precipitaciones, en los días secos se le suministra riego manual día de por medio, con una manguera de 1 pulgadas con un caudal de 0,17 litros sobre segundos, en donde aproximada mente la duración de riego es de 8 a 10 minutos por cada área.

Siembra (c. Almacigo): Una vez verificado que las chapolas ubicadas en el germinador poseen una altura aproximada de 10 cm y que estas se encuentran libres de *Rhizoctonia solani* o de cualquier otra pudrición radical, se procede a llevarse al almacigo el cual posee 6 divisiones con dimensiones de 8m de largo y 1,5 m de ancho cada una, donde alcanzan una altura aproximada de 20 cm, para luego llevar a cabo el proceso de siembra en el terreno; En esta etapa el consumo de agua por riego es mayor que en la etapa de germinador, resaltando los días pertinentes en donde las precipitaciones son mínimas. El tiempo de riego es de 15 a 18 minutos por cada área y con el mismo caudal en la manguera, la duración de este proceso es de seis meses.

Figura 7

Semilla de Café



Fuente: Autores, 2022

Siembra (d. Adecuación del terreno): En la finca La Libertad se lleva a cabo un sistema de cultivo bajo sombra con un área de 3 hectáreas aprox., alternado con especies como el plátano, frijol y yuca a través de un trazado de siembra cuadrado de 1m x 1m, el cual

permite distribuir las plantas en el terreno ordenándolas, lo que facilita la limpieza, fertilizaciones, y la recolección de la cosecha.

Figura 8

Adecuación del terreno



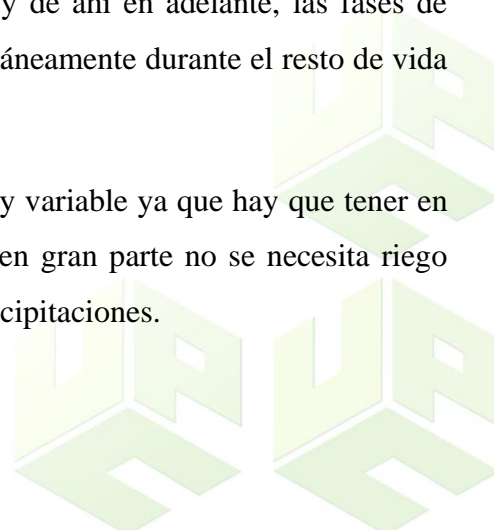
Fuente: Autores, 2022

2. Crecimiento y producción: El desarrollo vegetativo, es decir, la formación de raíces, ramas, nudos y hojas, comprende tres etapas: germinación a trasplante (2 meses), almácigo (5-6 meses) y siembra definitiva a primera floración (11 meses). Hasta este momento se considera una etapa netamente vegetativa y de ahí en adelante, las fases de crecimiento vegetativo y reproductivo transcurren simultáneamente durante el resto de vida de la planta (Pulgarín., 2010, pág. 3).

El consumo de agua en esta etapa también es muy variable ya que hay que tener en cuenta los días de precipitaciones o tiempos lluviosos, en gran parte no se necesita riego porque las siembra se hace en los meses con mayores precipitaciones.

Figura 9

Crecimiento y producción





Fuente: Autores, 2022

Sistema de riego: El Sistema de riego del cultivo de café en la Finca La Libertad, se lleva a cabo a través de 3 aspersores con desplazamientos radiales, el cual consiste en la aplicación de agua al cultivo en forma de llovizna, el mecanismo funciona a través de una red de tuberías que transporta el agua hasta los aspersores, los cuales utilizan presión para dispararla, este sistema de riego posee diversas ventajas tales como: menor consumo de agua, alta eficiencia de riego , adaptabilidad al terreno, entre otros.

Figura 10

Sistema de riego por aspersión con desplazamiento radial



Fuente: Autores, 2022

3. Cosecha: En esta etapa los frutos llegan a la madurez que es de siete a nueve meses después de la floración, en la cual el fruto debe presentar un color rojo intenso o amarillo

indicando que es apto para la recolección; la última siembra realizada en la Finca Libertad fue llevada a cabo en el mes de febrero, por lo que se proyecta que la cosecha será en 24 meses, y posteriormente en un periodo anual, en promedio se recolectan 28 quintales de café equivalentes a 2800 kg; No requerimos consumo de agua para el cultivo en esta etapa.

Figura 11

Sistema de riego por aspersión con desplazamiento radial



Fuente: Federacion Nacional de Cafeteros, 2020

4. Postcosecha: Una vez surtido el proceso de recolección de café, el fruto es llevado al área de beneficio, donde a través de una maquina despulpadora de vía húmeda (Entrada de agua por la tolva), se separa la cascara del grano, y se obtiene el pergamino, el cual se deja reposar 12 horas, para luego llevar a cabo el proceso de lavado, y finalmente ser empacado y transportado al Municipio de Urumita, donde se realiza el proceso de secado durante 3 días, transformando la cereza de café en un producto seco, y listo para el proceso de trilla.

En este proceso requerimos gran cantidad de agua para el despulpe y el lavado del café, se conecta la manguera en la tolva permanentemente y se procede a él despulpe, retirando así la cascara del grano, esta manguera se deja en un tiempo aproximado de 3 a 4 horas diarias hasta que se finalice la recolección, donde se estima un consumo de 2300 litros por día; El lavado del café tiene también un alto consumo de agua, se tiene un recipiente rectangular de aproximadamente de 500 litros en donde se toma el café despulpado y se

deposita en el recipiente para ser lavado con la conexión de la manguera constante de un caudal de 0.17 litros por minutos.

Figura 12
Postcosecha



Fuente: Cenicafé, 2015

Control de plagas y uso de productos químicos (fertilizantes, plaguicidas): El manejo de arvenses o malezas se realiza de manera tradicional mediante de la utilización herramientas como el machete, mientras que el control de plagas se realiza mediante la aplicación de productos químicos como la UREA, no obstante, cabe señalar que la aplicación de plaguicidas y fertilizantes (DAP Fosforo diamónico) solo se realiza una vez al año, ya que el suelo presenta excelentes condiciones de fertilidad y en el cultivo es casi nula la presencia de plagas.

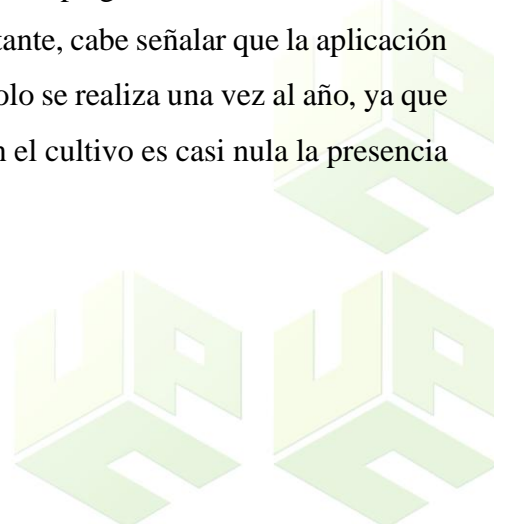


Figura 13

Control de plagas



Fuente: Cenicafé, 2014

7.1.1 Diagnóstico hídrico del cultivo

Para el desarrollo de esta actividad se realizaron 2 visitas de campo, las cuales se llevaron a cabo el 10 de mayo del 2022 y el 10 de junio del 2022, como resultado de esta, se obtuvo la identificación general de las características del cultivo de café en la Finca la libertad, el caudal promedio de entrada de agua al cultivo, la descripción del sistema de riego, entre otros aspectos relevantes.

Balance hídrico del cultivo de café en la Finca La Libertad

La determinación del balance hídrico del cultivo de café en la Finca La Libertad, se realizó a través del modelo CROPWAT 8.0, desarrollado por la FAO (2012), en la cual se

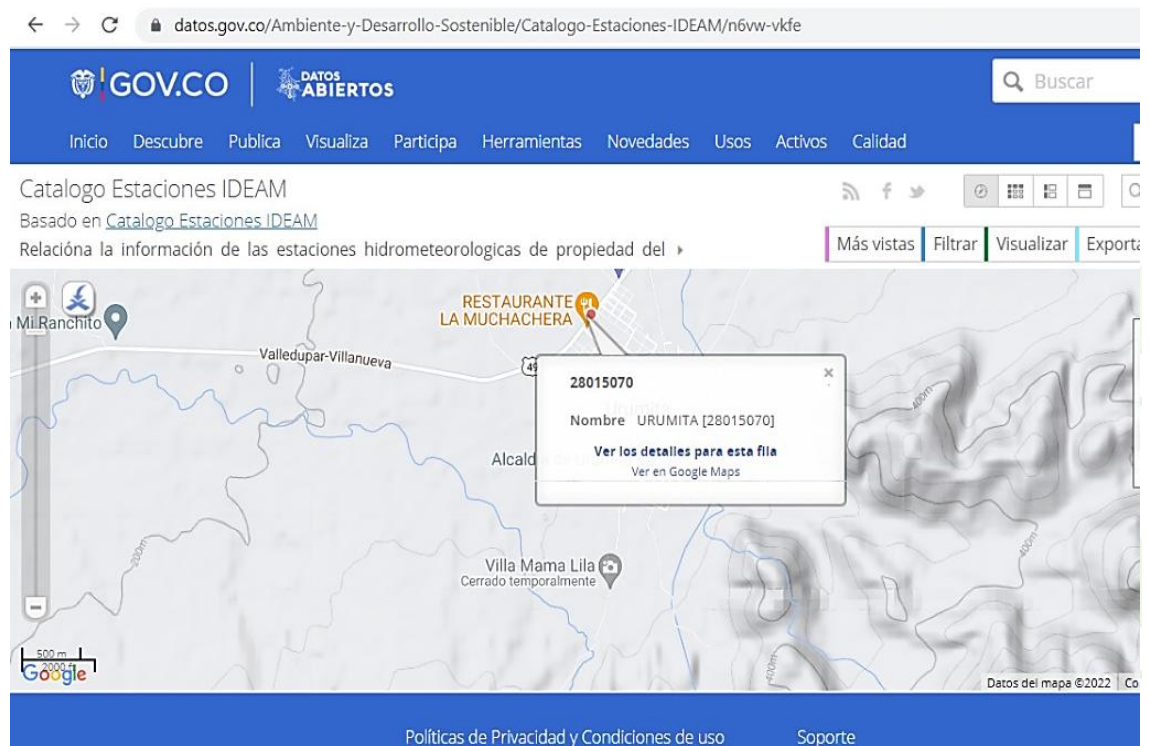
analizaron los datos hidrometeorológicos y climatológicos por un periodo de 15 años, tal como se presenta a continuación:

Datos hidrometeorológicos y climatológicos

En primera instancia, se solicitó a través de la página web del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales- IDEAM mediante radicado 20229050124652, los datos hidrometeorológicos y climatológicos correspondientes al periodo comprendido entre el 01 de enero del 2007 y el 31 de diciembre del 2021 de la estación ubicada en el Municipio de Urumita con código 28015070, donde se recibió a través del correo electrónico, los datos de los parámetros (precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima, brillo solar, humedad relativa y velocidad del viento), tal como se presenta a continuación:

Figura 14

Localización geográfica Estación hidrometeorológica Urumita 28015070



Fuente: IDEAM, 2021

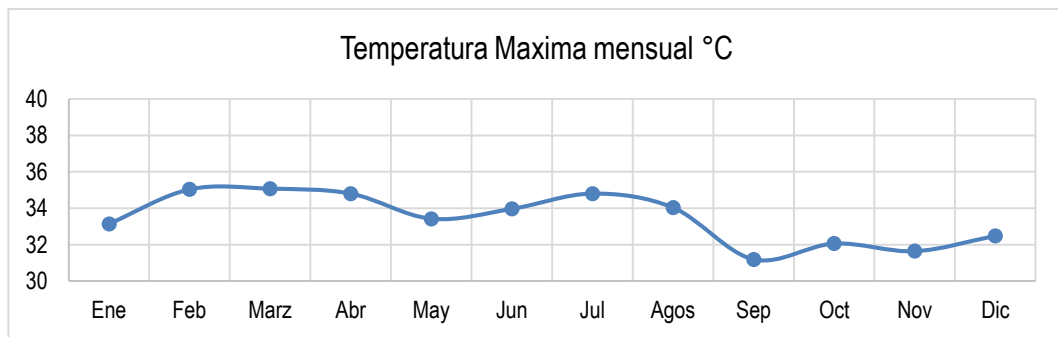
Tabla 2

Valores máximos mensuales de temperatura °C

	ENERO	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEP	OCT	NOV	DIC
2007	34,25	28,68	31,08	27,45	27,54	31,93	31,38	28,91	30,23	28,98	25,94	29,28
2008	28,89	34,59	34,39	33,69	31,11	33,01	33,36	33,55	33,58	30,49	30,81	31,15
2009	33,36	34,07	33,14	36,15	33,58	32,24	35,09	35,52	35,17	33,30	32,31	33,35
2010	28,89	35,86	34,34	34,81	35,10	32,09	31,91	30,95	30,95	31,74	30,14	29,21
2011	33,36	33,62	33,49	34,31	32,30	32,35	32,68	32,50	NR	31,17	31,19	30,37
2012	35,02	34,60	34,77	33,25	32,74	33,75	35,34	33,94	34,38	32,17	32,43	33,22
2013	30,94	35,44	35,12	35,79	33,12	33,70	34,55	34,32	33,06	32,66	32,31	33,21
2014	34,68	35,90	35,93	36,73	35,15	36,91	36,22	37,59	33,88	32,68	32,36	32,63
2015	34,22	36,16	36,74	37,18	36,68	37,94	37,77	35,41	NR	NR	NR	34,04
2016	32,99	36,86	37,75	32,99	34,42	34,87	36,74	35,41	34,21	32,95	31,53	32,61
2017	33,46	35,29	34,93	NR	NR	NR	NR	NR	33,03	32,33	32,22	33,43
2018	33,72	35,18	36,28	35,39	33,06	34,93	36,80	36,10	30,23	32,35	32,80	34,27
2019	35,06	36,43	34,74	37,31	34,17	34,04	36,32	35,94	34,61	32,40	33,88	34,65
2020	33,99	37,06	37,74	37,35	35,39	32,92	34,94	33,00	9,13	32,96	31,62	32,07
2021	34,25	35,69	35,57	34,84	33,54	34,78	34,12	33,23	33,05	32,61	33,48	33,77
PROMEDIO	33,14	35,03	35,07	34,80	33,42	33,96	34,80	34,03	31,19	32,06	31,64	32,48

Fuente: IDEAM, 2021

Figura 15
 Gráfico temperatura máxima mensual °C



Fuente: Autores, 2021

Tabla 3
 Valores mínimos mensuales de temperatura °C

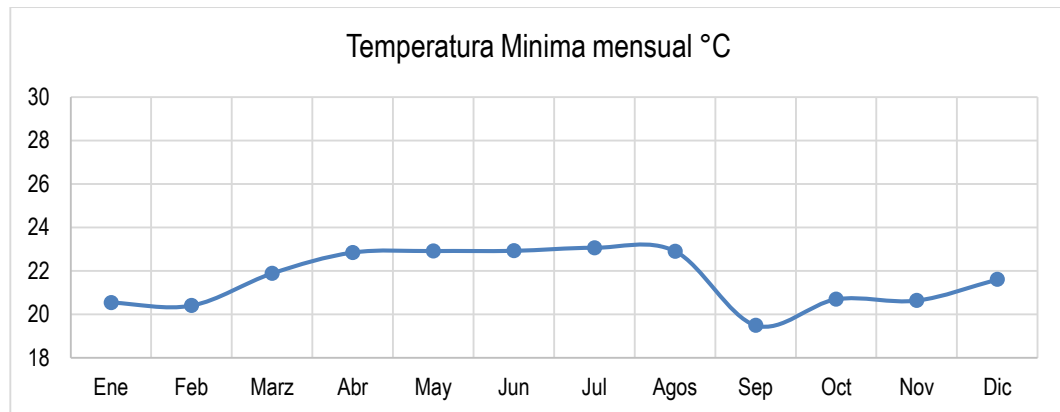
	ENERO	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEP	OCT	NOV	DIC
2007	20,20	19,24	20,85	21,08	21,72	21,98	21,49	21,44	21,08	19,56	20,36	19,80
2008	19,03	19,71	19,88	21,09	19,14	20,80	20,38	21,96	22,21	21,81	22,19	20,52
2009	16,57	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
2010	NR	11,39	23,21	23,70	23,23	21,01	22,17	22,62	21,31	22,41	21,33	21,56
2011	17,93	18,41	17,83	22,89	23,17	23,27	23,12	22,79	22,61	22,06	22,37	21,61
2012	21,23	21,41	23,18	22,79	23,15	23,27	23,52	23,05	22,82	22,42	22,81	22,14
2013	21,79	21,47	23,79	23,82	23,23	23,62	23,38	23,43	22,64	22,78	22,47	21,86
2014	21,26	22,14	22,25	23,51	23,66	24,00	24,32	23,16	23,19	23,09	22,49	22,28

2015	21,86	22,19	22,34	23,76	24,02	24,39	24,15	24,27	0,00	0,00	0,00	22,32
2016	20,69	22,09	23,25	21,73	23,99	23,49	23,81	23,52	23,35	23,16	22,34	21,86
2017	21,05	21,59	22,32	NR	NR	NR	NR	NR	22,51	22,75	22,05	21,22
2018	21,36	20,38	21,54	22,06	22,57	22,91	23,41	22,95	20,30	22,46	22,49	20,41
2019	20,80	21,58	21,08	23,52	23,53	23,27	23,42	23,54	23,24	22,50	23,39	22,82
2020	21,90	22,47	22,70	23,77	23,47	23,22	23,52	22,50	5,21	22,15	22,08	22,39
2021	21,90	21,50	22,08	23,17	23,00	22,78	23,12	22,53	22,44	22,45	22,40	21,59
PROMEDIO	20,54	20,40	21,88	22,84	22,91	22,92	23,06	22,90	19,49	20,69	20,63	21,60

Fuente: IDEAM, 2021

Figura 16

Gráfico temperatura mínima mensual °C



Fuente: Autores, 2021

A partir de los resultados obtenidos es posible señalar que los meses con el máximo valor de temperatura son febrero y marzo, mientras que los que poseen un menor valor son septiembre y noviembre, del mismo modo, es posible indicar que de acuerdo al análisis multitemporal (15 años) la temperatura máxima del área se encuentra por encima de 31, 19°C.

Respecto a los valores mínimos mensuales de temperatura es posible indicar que el menor valor obtenido corresponde al mes de septiembre, mientras que el mayor, al mes de julio, no obstante, cabe señalar que estos se encuentran en un rango que oscila entre 19,49 °C y 23,06 °C.

Tabla 4

Valores totales mensuales de precipitación (mm)

	ENERO	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEP	OCT	NOV	DIC
2007	0	0	149,6	230	121,7	187,7	90,1	116	193,4	291,4	161	91
2008	0	0	71	119,5	205,5	97	99,3	110	69	279,2	163,7	0
2009	0	0	6,3	24	203	146,4	60	67	164	132	149,2	50,5
2010	0	47,2	81,2	105	206	100,7	247	150	238,2	135,5	89	167,4
2011	1,2	46	19	13	456,1	161	145,7	140	61	229	387	121,7
2012	0	0	2,2	253	204	78,2	106,7	105	152,6	237	152,7	31,2
2013	0	0	29	101	247	223	66,3	57,8	140,4	208,3	102	66,1
2014	0	45,2	74	60,4	76	61	38,8	190	144	283	140,5	105,6
2015	0,3	3,2	0	48	38	38	65,5	73,9	0	0	0	28,9
2016	0	0,6	9,4	98	154,5	60,6	57,2	129	139,1	251,4	183,7	10,5
2017	23,5	18,8	39,3	133,8	220	131	164,8	193	161,4	91,2	89,6	88
2018	35,2	0	76,7	78,7	153	102	44	127,1	168	196	103,6	0
2019	2,4	0	2,1	108	305,6	148,5	31,9	51,3	163	195	66,2	52
2020	14	0	0	136	168	198	152	162	0	314	178	7
2021	0	40	47,1	98,3	102	217,3	71	184	201	167	28,4	53,2
PROMEDIO	5,08	13,40	40,47	107,12	190,78	129,99	95,98	123,72	133,04	200,71	132,96	58,19

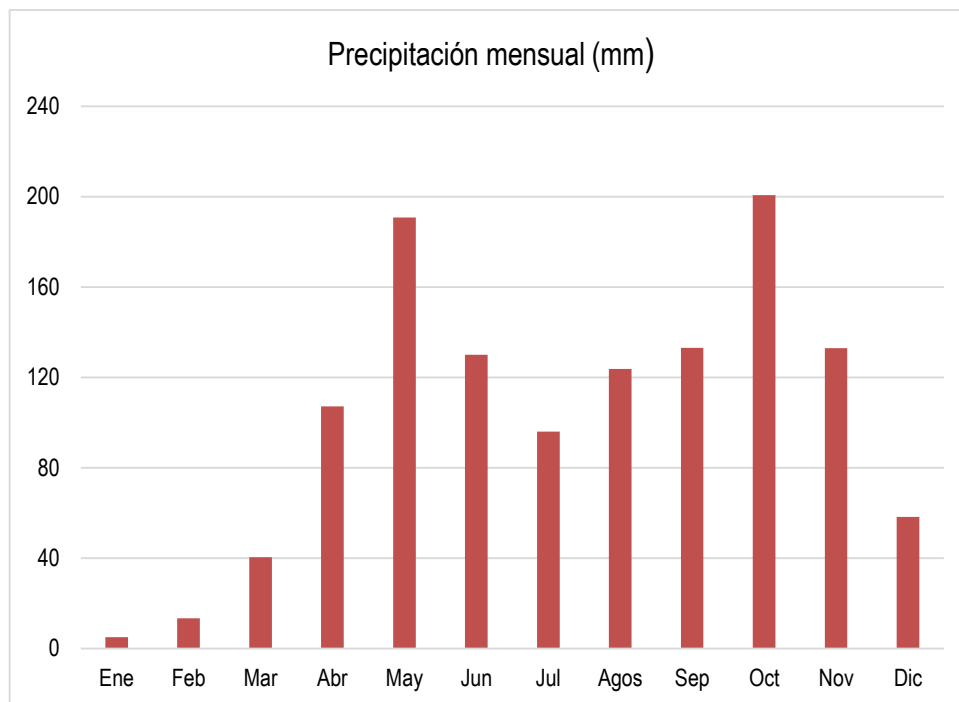
Fuente: IDEAM, 2021



Teniendo en cuenta la información relacionada en la tabla anterior, es posible indicar que, en los meses de enero, febrero, marzo se presentan bajas precipitaciones, donde el mes más crítico fue enero con un valor de 5,08 mm, contrario a los meses de mayo, octubre y noviembre donde estas superaron los 130 mm mensuales.

Figura 17

Gráfico Precipitación mensual (mm)



Fuente: Autores, 2021

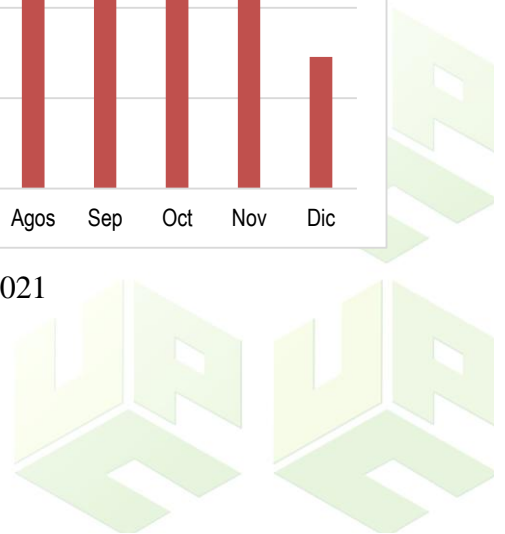


Tabla 5

Valores totales mensuales de Brillo solar (horas/sol)

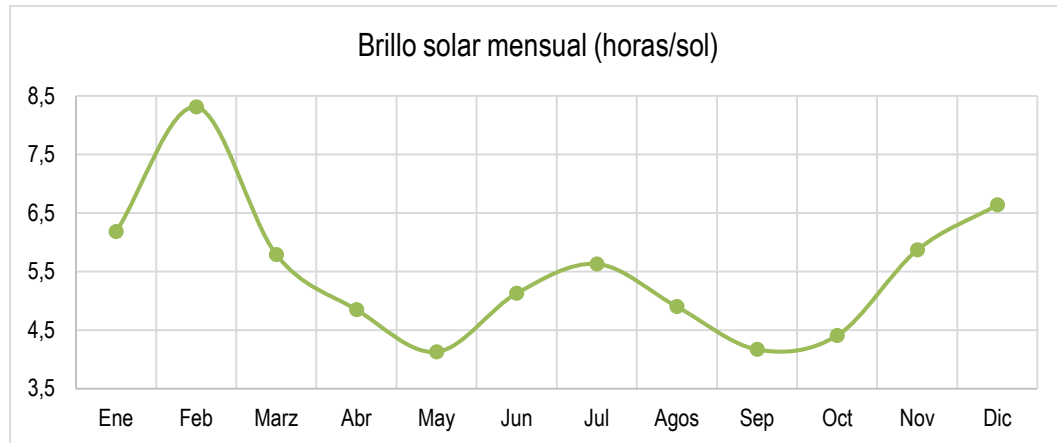
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEP	OCT	NOV	DIC
2007	8,99	9,21	1,17	4,91	3,77	7,06	6,50	4,98	4,82	4,28	5,74	7,54
2008	8,89	8,53	6,77	5,82	5,34	5,49	5,96	5,97	5,64	5,78	5,75	8,05
2009	7,66	7,92	6,49	7,26	5,75	4,34	NR	NR	NR	NR	NR	NR
2010	8,61	6,66	6,47	4,98	5,72	3,23	0,46	5,34	4,01	5,13	3,76	4,84
2011	7,49	8,22	6,20	5,29	4,45	3,48	5,45	5,96	2,21	2,32	NR	4,56
2012	8,19	8,38	5,97	5,47	5,76	4,62	6,51	6,97	6,32	3,07	NR	NR
2013	NR	NR	NR	NR	NR	4,24	6,81	1,19	4,37	4,31	4,87	5,72
2014	3,36	NR	NR	NR	0,50	6,63	7,31	5,96	5,44	5,50	7,46	4,84
2015	3,60	NR	NR	NR	NR	6,89	3,62	3,59	NR	NR	NR	NR
2016	NR	NR	NR	3,86	4,99	6,07	5,67	3,47	3,30	4,65	4,83	6,85
2017	7,41	8,14	NR	NR	NR	NR	NR	NR	2,60	5,59	6,19	7,74
2018	7,15	9,46	7,48	3,95	4,71	5,89	6,88	5,59	1,32	4,84	7,16	8,14
2019	0,96	NR	NR	NR	0,28	5,09	6,99	NR	4,95	2,26	NR	NR
2020	1,81	NR	NR	2,09	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
2021	NR	NR	NR	NR	NR	3,68	5,36	4,88	5,12	5,23	7,05	8,13
PROMEDIO	6,18	8,31	5,79	4,85	4,13	5,13	5,63	4,90	4,17	4,41	5,87	6,64

Fuente: IDEAM, 2021



Figura 18

Gráfico Brillo solar mensual (mm)



Fuente: Autores, 2021

Basado en la información relacionada en el anterior gráfico, es posible señalar que los meses con mayor brillo solar son febrero, marzo y noviembre, mientras que los meses con menor brillo solar son febrero, marzo y agosto.

Tabla 6

Valores totales mensuales de Humedad relativa (%)

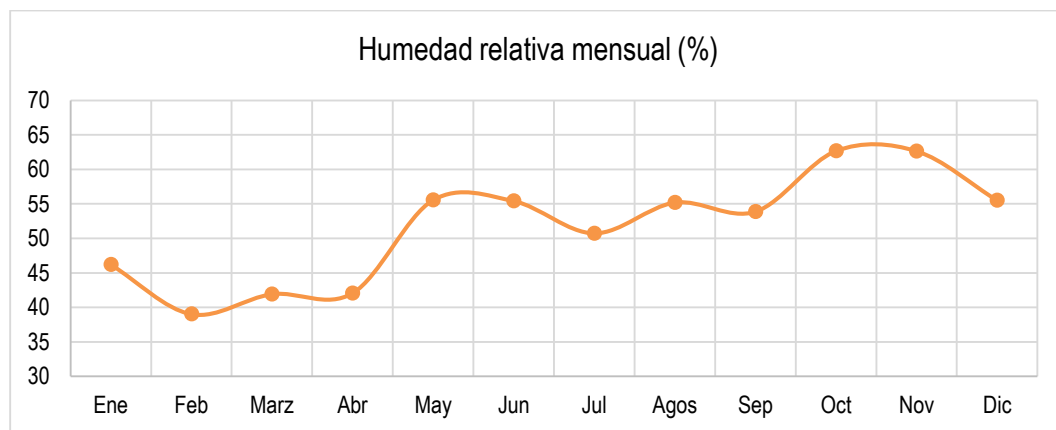
	ENERO	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEP	OCT	NOV	DIC
2007	56,06	24,43	32,26	50,97	63,58	64,67	61,84	62,32	65,83	74,52	73,27	70,10
2008	60,97	63,64	63,00	15,67	79,55	61,90	58,29	57,42	56,73	66,23	66,63	56,84
2009	50,10	45,61	45,42	39,67	49,26	56,70	47,13	47,97	48,07	56,61	61,97	50,58
2010	40,55	45,71	46,97	44,10	41,71	62,50	63,00	67,48	60,60	64,39	66,77	67,94
2011	52,29	43,68	45,00	46,97	63,45	52,03	62,97	63,84	60,90	63,58	57,63	65,39
2012	45,65	32,96	42,55	49,57	62,97	56,33	47,32	54,39	49,37	54,32	53,57	48,42
2013	35,87	27,89	40,23	39,27	47,42	59,20	51,52	54,19	60,73	63,00	57,80	45,10
2014	40,94	38,39	39,42	44,43	52,03	45,50	37,42	50,87	59,67	60,81	61,77	58,77

2015	46,77	41,96	37,61	42,17	45,58	43,93	39,00	43,55	NR	NR	NR	47,68
2016	41,55	25,71	37,48	37,17	54,42	53,90	44,77	53,97	51,27	58,58	67,17	53,10
2017	45,19	39,29	45,16	NR	NR	NR	NR	NR	62,20	61,13	75,57	74,61
2018	48,87	39,71	44,90	44,93	55,48	51,60	41,48	49,16	50,43	63,32	59,80	43,13
2019	41,81	37,00	34,74	42,17	54,03	53,33	47,03	45,61	53,47	64,42	55,13	45,68
2020	41,94	38,50	35,19	42,23	50,71	58,70	53,19	60,23	12,00	61,65	66,30	55,45
2021	44,71	41,00	39,00	49,70	57,71	55,60	55,48	61,74	63,23	64,97	53,77	49,81
PROMEDIO	46,22	39,03	41,93	42,07	55,56	55,42	50,75	55,20	53,89	62,68	62,65	55,51

Fuente: IDEAM, 2021

Figura 19

Gráfico Humedad relativa mensual (%)



Fuente: Autores, 2021



Respecto a la humedad relativa, se puede concluir que, los meses con mayor rango son octubre y noviembre, mientras que los meses con menor porcentaje de humedad relativa son febrero y marzo.

Teniendo en cuenta que los valores totales mensuales de velocidad del viento no fueron suministrados por el IDEAM, estos fueron tomados de la página web del International Research Institute for Climate and Society IRI para lo cual se realizó solo el análisis del año 2021.

Tabla 7

Valores totales mensuales de velocidad del viento (km/día)

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sep	Oct	Nov	Dic
188	176	165	185	164	159	148	156	137	169	202	214

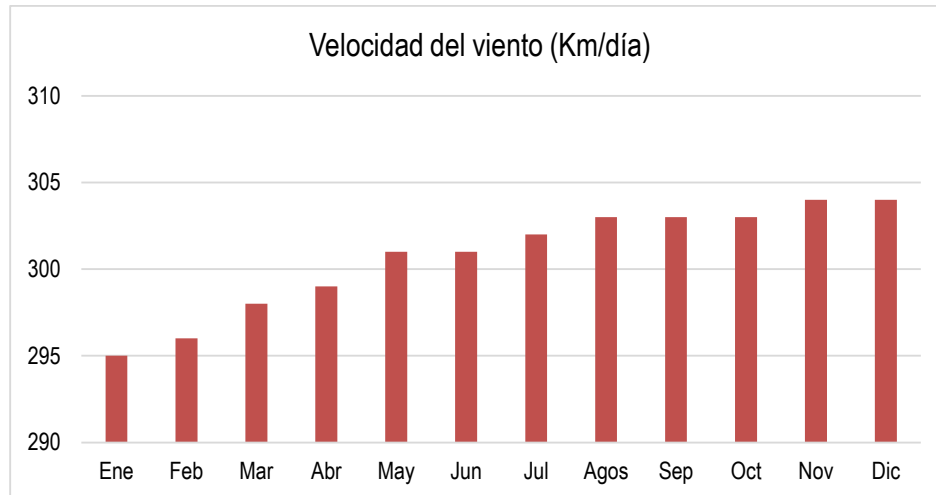
Fuente: IDEAM, 2021





Figura 20

Gráfico velocidad del viento mensual (Km/día)



Fuente: Autores, 2021

Por último, es posible indicar respecto al viento, que los meses de noviembre y diciembre se presentan vientos con altas velocidades, mientras que, de enero a abril, estos presentan valores bajos, sin embargo, es posible evidenciar la alta incidencia de los mismos en la zona, ya que sus valores oscilan por encima de 290 km/día.

Determinación de la evapotranspiración (ET_o) del cultivo de café a través del software CROPWAT 8.0

Los datos climatológicos de entrada para el manejo del programa CROPWAT 8.0 y que la fórmula FAO Penman- Montheit requiere, son los datos relacionados anteriormente (temperatura máxima y mínima, precipitación, humedad relativa, brillo solar y velocidad del viento), a partir de los cuales se determinó la evapotranspiración del cultivo de café en la Finca La Libertad (ET_o), las necesidades hídricas y las necesidades de riego del mismo, tal como se ilustra a continuación:

Figura 21

Evapotranspiración y radiación solar Estación-Urumita 28015070

ETo Penman-Monteith Mensual - untitled

País Colombia Estación Urumita 28015070

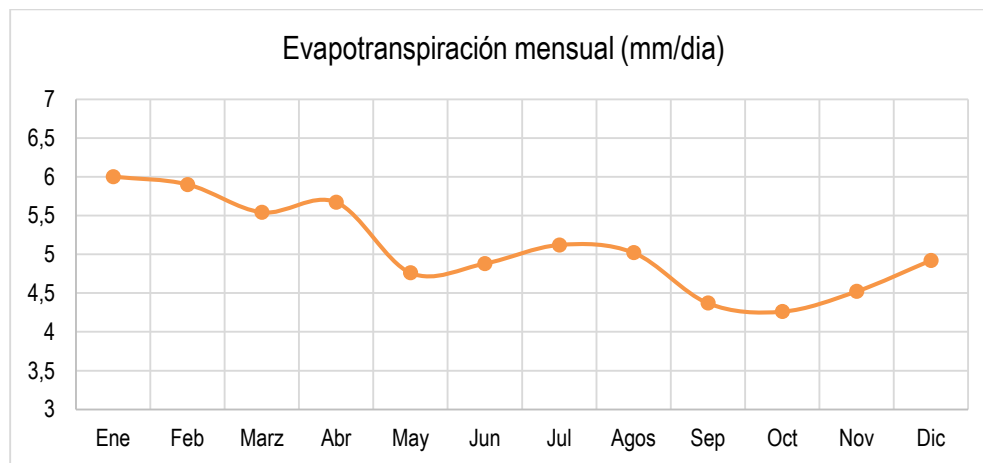
Altitud 1570 m. Latitud 10.29 °N Longitud 72.57 °W

Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Rad MJ/m²/día	ETo mm/día
Enero	20.5	33.1	46	188	6.2	16.5	5.05
Febrero	20.4	35.0	39	176	8.3	20.8	5.90
Marzo	21.9	35.1	42	165	5.8	18.1	5.54
Abril	22.8	34.8	42	185	4.8	17.0	5.67
Mayo	22.9	33.4	55	164	4.1	15.6	4.76
Junio	22.9	34.0	55	156	5.1	16.8	4.88
Julio	23.1	34.8	51	148	5.6	17.6	5.12
Agosto	22.9	34.0	55	159	4.9	16.8	5.02
Septiembre	19.5	31.2	54	137	4.2	15.6	4.37
Octubre	20.7	32.1	63	169	4.4	15.3	4.26
Noviembre	20.6	31.6	62	204	5.9	16.3	4.52
Diciembre	21.6	32.5	55	214	6.6	16.7	4.92
Promedio	21.7	33.5	52	172	5.5	16.9	5.00

Fuente: Autores, 2021 basado en CROPWAT 8.0

Figura 22

Evapotranspiración mensual (mm/día)



Fuente: Autores, 2021

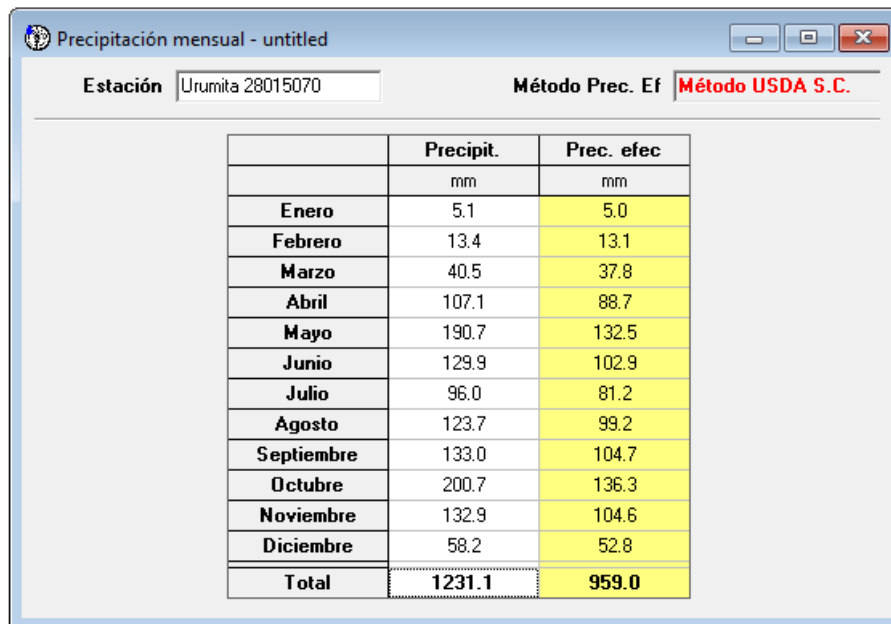
Teniendo en cuenta que la (FAO, 2018) determina como valores promedio de evapotranspiración para regiones templadas con temperatura promedio diaria moderadas entre los 20°C y 30 °C, un rango entre 2 y 7 mm/día, es posible señalar que los resultados obtenidos se enmarcan dentro del rango establecido, durante todos los meses del año.

Determinación de la precipitación mensual efectiva mediante el software CROPWAT 8.0

Para calcular la precipitación mensual efectiva se ingresaron al software CROPWAT 8.0 los datos de precipitación mensual, mediante la fórmula AGLW en la cual se considera la estimación de la precipitación efectiva como un efecto combinado de la precipitación confiable (80% probabilidad de excedencia) con las pérdidas por escorrentía superficial y percolación profunda (FAO, 2010):

Figura 23

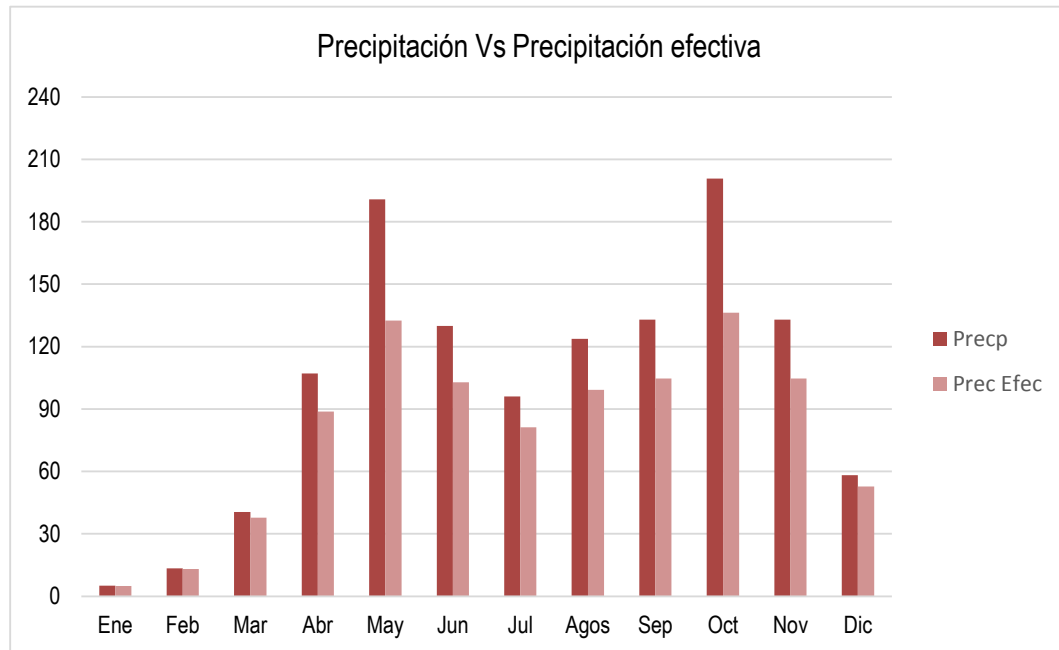
Precipitación efectiva mensual Estación-Urumita 28015070



	Precipit.	Prec. efec
	mm	mm
Enero	5.1	5.0
Febrero	13.4	13.1
Marzo	40.5	37.8
Abril	107.1	88.7
Mayo	190.7	132.5
Junio	129.9	102.9
Julio	96.0	81.2
Agosto	123.7	99.2
Septiembre	133.0	104.7
Octubre	200.7	136.3
Noviembre	132.9	104.6
Diciembre	58.2	52.8
Total	1231.1	959.0

Fuente: Autores, 2021 basado en CROPWAT 8.0

Figura 24
Precipitación vs Precipitación efectiva



Fuente: Autores, 2021

Los resultados presentados anteriormente muestran que los mayores niveles de precipitación efectiva se dan en mayo, seguido la temporada de agosto- noviembre, épocas en la cual se presenta las temporadas de lluvia en la zona, de lo anterior se puede deducir que, en estos tres meses, son periodos oportunos para realizar el proceso de siembra en el cultivo, debido a que va a garantizar un riego constante para el cultivo, satisfaciendo gran parte de sus necesidades hídricas, Por otro lado se puede identificar que el cultivo de café en la Finca La Libertad presenta un 77,89% aprovechamiento del total de lluvias presentadas.

Tabla 8

Balance hídrico del cultivo de café en la Finca La Libertad

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sep	Oct	Nov	Dic
Precipitación (mm/mes)	5,1	13,4	40,4	107,1	190,8	130	96	123,7	133,1	200,7	133	58,2
Precipitación efectiva (mm/mes)	5,0	13,1	37,8	88,7	132,5	102,9	81,2	99,2	104,7	136,7	104,6	52,8
Escorrentía superficial (mm/mes)	0,1	0,3	2,6	18,4	58,3	27,1	14,8	24,5	28,4	64	28,4	5,4
Evapotranspiración potencial (mm/mes)	151,5	177,0	166,2	170,1	141,6	146,4	153,6	150,6	131,1	127,8	135,6	147,6
Evapotranspiración real (mm/mes)	134,8	159,3	149,6	153,1	126,0	128,8	133,6	131,0	114,1	111,2	118,0	131,4
Reserva de humedad del suelo	0	0	0	0	6,5	0	0	0	0	25,5	12,1	0
Percolación	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Déficit (mm)	129,8	146,2	111,8	64,4	0	25,9	52,4	31,8	9,4	0	0	78,6
Captación (L/s)	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9

Fuente: Autores, 2022

De acuerdo a los valores obtenidos en el balance hídrico relacionado en la tabla anterior es posible señalar que en los meses de enero, febrero, marzo, abril, junio, julio, agosto, septiembre y diciembre se requiere de riego para el abastecimiento hídrico del cultivo, mientras que los meses de mayo, octubre y noviembre debido a las altas precipitaciones no se requiere.

No obstante, el caudal de captación utilizado para el riego cubre la demanda hídrica requerida (déficit) en el cultivo de café; La captación de agua para el abastecimiento hídrico del cultivo del café en la Finca La libertad se realiza a través de una bocatoma instalada en el arroyo chorro frio, el cual se desprende del rio marquesote, este desvío se realiza mediante

una manguera de 3 pulgadas, donde por las altas pendientes y la reducción de diámetros este preciado recurso llega hasta el terreno por gravedad y con una excelente presión.

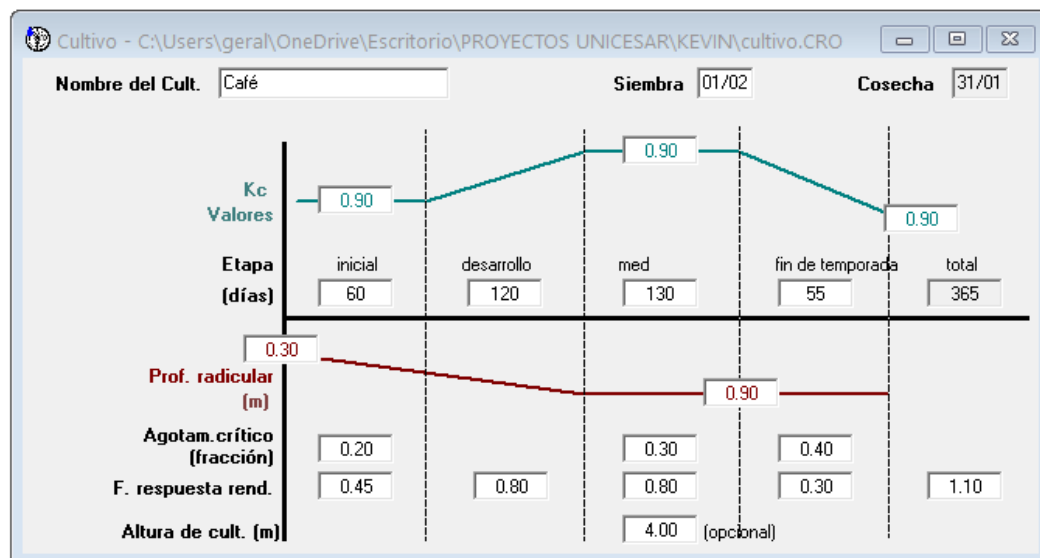
Este balance nos permite estimar la disponibilidad del recurso hídrico para el cultivo de café en la Finca La Libertad, constituyéndose como una herramienta básica para evaluar planificar y tomar decisiones acertadas, estableciendo la relación existente entre la oferta y la demanda de agua.

Determinación del requerimiento hídrico del cultivo del café a través el software CROPWAT 8.0

Para la determinación del requerimiento hídrico del cultivo de café en la Finca La Libertad, se tuvo en cuenta los datos específicos para el cultivo de café consignados en la Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos expedida por la FAO en el año 2006, donde se tuvieron en cuenta los siguientes valores:

Figura 25

Diligenciamiento datos del cultivo del café



Fuente: Autores, 2021 basado en CROPWAT 8.0

Tabla 9

Valores estandarizados de coeficientes del cultivo de café

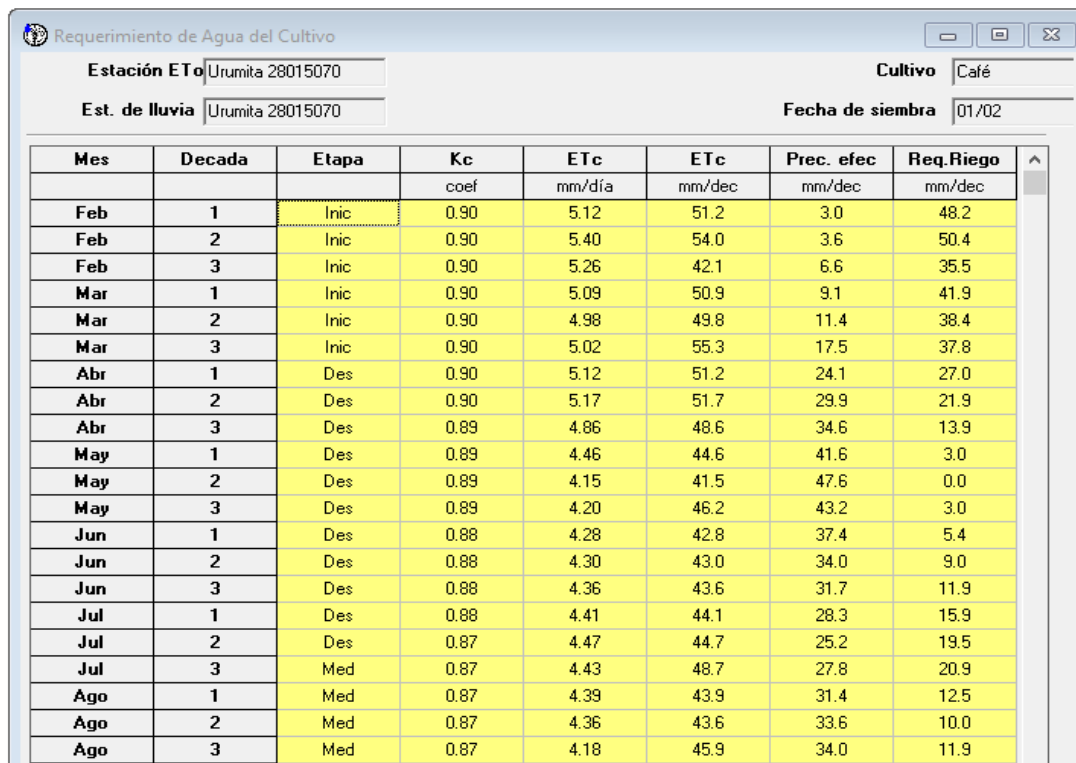
Descripción	Valor
Coefficiente único del cultivo Kc	0,9
Profundidad radicular máxima	0,9-1,5
Agotamiento crítico máximo	0,4
Factor de respuesta al rendimiento	1,10

Fuente: FAO, 2006

Una vez diligenciado el campo anterior, a través del software CROPWAT 8.0 se realizó el cálculo del requerimiento hídrico del cultivo en la Finca La Libertad, tal información se presenta a continuación:

Figura 26

Requerimiento hídrico del cultivo de café febrero- agosto del 2021



Mes	Decada	Etapa	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req.Riego
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Feb	1	Inic	0.90	5.12	51.2	3.0	48.2
Feb	2	Inic	0.90	5.40	54.0	3.6	50.4
Feb	3	Inic	0.90	5.26	42.1	6.6	35.5
Mar	1	Inic	0.90	5.09	50.9	9.1	41.9
Mar	2	Inic	0.90	4.98	49.8	11.4	38.4
Mar	3	Inic	0.90	5.02	55.3	17.5	37.8
Abr	1	Des	0.90	5.12	51.2	24.1	27.0
Abr	2	Des	0.90	5.17	51.7	29.9	21.9
Abr	3	Des	0.89	4.86	48.6	34.6	13.9
May	1	Des	0.89	4.46	44.6	41.6	3.0
May	2	Des	0.89	4.15	41.5	47.6	0.0
May	3	Des	0.89	4.20	46.2	43.2	3.0
Jun	1	Des	0.88	4.28	42.8	37.4	5.4
Jun	2	Des	0.88	4.30	43.0	34.0	9.0
Jun	3	Des	0.88	4.36	43.6	31.7	11.9
Jul	1	Des	0.88	4.41	44.1	28.3	15.9
Jul	2	Des	0.87	4.47	44.7	25.2	19.5
Jul	3	Med	0.87	4.43	48.7	27.8	20.9
Ago	1	Med	0.87	4.39	43.9	31.4	12.5
Ago	2	Med	0.87	4.36	43.6	33.6	10.0
Ago	3	Med	0.87	4.18	45.9	34.0	11.9

Fuente: Autores, 2021 basado en CROPWAT 8.0

Figura 27

Requerimiento hídrico del cultivo de café septiembre- enero del 2021

Requerimiento de Agua del Cultivo

Estación ETo: Urumita 28015070 Cultivo: Café

Est. de lluvia: Urumita 28015070 Fecha de siembra: 01/02

Mes	Decada	Etapas	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req.Riego
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Jul	2	Des	0.87	4.47	44.7	25.2	19.5
Jul	3	Med	0.87	4.43	48.7	27.8	20.9
Ago	1	Med	0.87	4.39	43.9	31.4	12.5
Ago	2	Med	0.87	4.36	43.6	33.6	10.0
Ago	3	Med	0.87	4.18	45.9	34.0	11.9
Sep	1	Med	0.87	3.99	39.9	33.5	6.4
Sep	2	Med	0.87	3.80	38.0	33.7	4.3
Sep	3	Med	0.87	3.77	37.7	37.6	0.1
Oct	1	Med	0.87	3.74	37.4	43.9	0.0
Oct	2	Med	0.87	3.71	37.1	48.4	0.0
Oct	3	Med	0.87	3.78	41.6	43.9	0.0
Nov	1	Med	0.87	3.86	38.6	39.0	0.0
Nov	2	Med	0.87	3.93	39.3	35.8	3.5
Nov	3	Med	0.87	4.05	40.5	29.8	10.7
Dic	1	Fin	0.88	4.20	42.0	23.3	18.7
Dic	2	Fin	0.89	4.39	43.9	17.4	26.4
Dic	3	Fin	0.89	4.43	48.7	12.2	36.5
Ene	1	Fin	0.89	4.46	44.6	4.1	40.5
Ene	2	Fin	0.89	4.50	45.0	0.0	45.0
Ene	3	Fin	0.89	4.76	52.3	1.0	51.3
					1613.8	959.2	681.4

Fuente: Autores, 2021 basado en CROPWAT 8.0

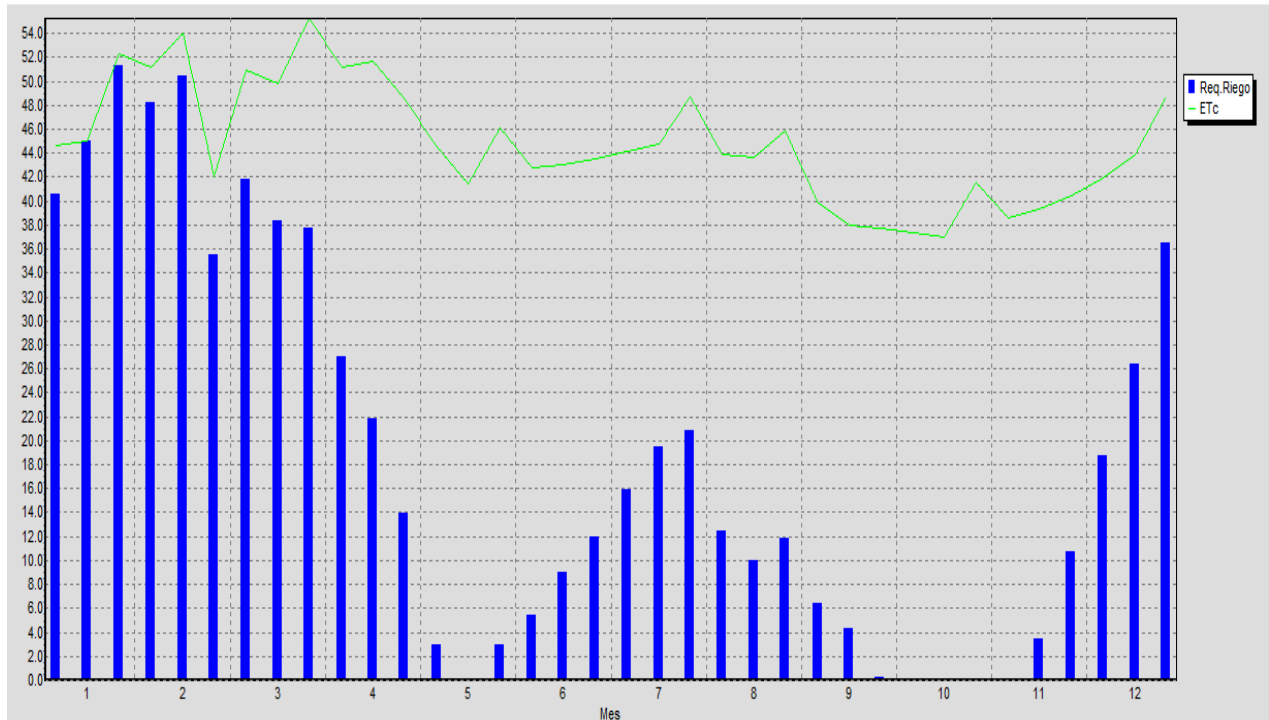
A partir de los datos obtenidos en las tablas anteriores es posible indicar que los meses con mayor requerimiento hídrico corresponden a febrero, marzo y diciembre, mientras que para los meses de mayo y octubre debido a las altas precipitaciones no se requiere riego en el cultivo de café.

La importancia de este análisis es que permite establecer un cronograma de los requerimientos hídricos del cultivo, lo que ayuda a la planificación agrícola, contribuyendo directamente en el aumento de la productividad y eficiencia del cultivo de café.



Figura 28

Gráfico requerimiento hídrico del cultivo de café febrero- agosto del 2021



Fuente: Autores, 2021 basado en CROPWAT 8.0

Del anterior gráfico podemos indicar, respecto al requerimiento hídrico del cultivo de café en la Finca Libertad que los meses en los cuales se necesita una mayor disponibilidad del recurso hídrico son enero y febrero ya que la precipitación efectiva se encuentra por debajo de 10 mm/día, no obstante, también se puede concluir que en los meses de agosto, septiembre y octubre el caudal de riego necesario es mínimo, este último asociado a la presencia de lluvias.





7.2 Etapa 2. Determinar La Huella Hídrica Del Cultivo De Café En La Finca La Libertad Ubicada En La Vereda Tierra Nueva Del Municipio De Urumita, La Guajira Mediante Sus Tres Componentes Básicos: Cálculo De La Huella Hídrica Verde, Azul Y Gris.

Estimación de la huella hídrica del cultivo de café en la Finca La Libertad en el año 2021

La huella hídrica total del proceso de los cultivos (HH proc), expresada en unidades de volumen de agua por unidad de masa (m³ /ton), y se determina a partir de la suma de los componentes verde, azul y gris:

$$HH \text{ cultivo} = HH \text{ azul} + HH \text{ verde} + HH \text{ gris} \quad (\text{Ec. 2})$$

Cálculo de la huella azul del cultivo de café

La huella hídrica azul, corresponde al cociente entre el agua aprovechada por el cultivo proveniente de riego (CWU riego), y, Y el rendimiento del cultivo (Ton/m). (Hoekstra et; al, 2010)

Para la determinación de la huella hídrica azul del cultivo de café (HH azul, m³ /ton) se tuvo en cuenta la siguiente fórmula:

$$HH_{\text{azul}} = \frac{CWU_{\text{riego}}}{y} \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

CWU riego = requerimiento de riego del cultivo (m)

Y= rendimiento del cultivo (ton/m²)



La determinación del requerimiento de agua del cultivo se realizó a través del programa CROPWAT 8.0, donde se obtuvo un valor de (0,6814 m); El valor del rendimiento del cultivo del café en la Finca La Libertad, se calculó teniendo en cuenta la producción del cultivo 2800 kg (2,8 Ton), dividido en la extensión del cultivo (30.000 m²), lo cual arrojó un valor de 0,000093 Ton/m².

$$HH_{azul} = \frac{0,6814 \text{ m}}{0,000093 \text{ Ton/m}^2} \text{ (Ec. 3)}$$

$$HH_{azul} = 7326,88 \text{ m}^3/\text{ton}$$

De acuerdo al valor arrojado en la huella hídrica azul 7326,88 m³/ton, es decir, que para la producción de 2,8 Ton que es la producción total de café en la Finca La Libertad se requiere aproximadamente 20515,26 m³ de agua para riego proveniente de la captación superficial del arroyo Chorro Frio.

De igual manera, es importante señalar que el volumen de agua de entrada al cultivo de café durante el proceso productivo es de 15,9 l/s, lo que indica que se está realizando un riego apropiado respecto al requerimiento hídrico del cultivo.

Actividad 2.1. Cálculo de la huella verde del cultivo

La huella hídrica verde corresponde al cociente entre el agua utilizada por el cultivo proveniente de precipitación y el rendimiento del cultivo (Hoekstra, et; al, 2010). La cantidad de agua que es aprovechada por el cultivo proveniente de precipitación es equivalente a la precipitación efectiva, por lo cual la huella hídrica verde puede entenderse como la relación entre la precipitación efectiva del lugar donde se ubica el cultivo y el rendimiento del mismo.

$$HH_{verde} = \frac{ppef}{y} \text{ Ec (3)}$$

Donde;

Ppef = Precipitación efectiva en metros (m)

y = Rendimiento (ton/m²)

El cálculo de la precipitación efectiva se realizó a través del programa CROPWAT 8.0 el cual utiliza la fórmula del AGLW (Servicio de Recursos, Fomento y aprovechamiento de Aguas de la FAO), en la cual se considera la estimación de la precipitación efectiva como un efecto combinado de la precipitación confiable (80% probabilidad de excedencia) con las pérdidas por escorrentía superficial y percolación profunda (FAO, 2010), cuyo valor es de 0,959 m.

Respecto al rendimiento, este valor, se calculó teniendo en cuenta la producción del cultivo de café en la Finca La Libertad el cual es de 2800 kg (2,8 Ton), dividido en la extensión del cultivo (30.000 m²), lo cual arrojó un valor de 0,000093 Ton/m².

$$HH_{verde} = \frac{0,959 \text{ m}}{0,000093 \text{ Ton/m}^2}$$

$$HH_{verde} = 10311,82 \text{ m}^3/\text{Ton}$$

A partir de los resultados obtenidos en la huella hídrica verde 10311,82 m³/Ton, es decir, que para la producción de 2,8 Ton que es la producción total de café en la Finca La Libertad se requiere al año aproximadamente 28873,09 m³ de agua; aunque este consumo de agua es alto respecto a la huella azul, debe tenerse en cuenta que de acuerdo a la precipitación efectiva este cultivo aprovecha el 77,89% del agua proveniente de las precipitaciones, lo cual implica una disminución en el impacto del consumo hídrico proveniente de la fuente hídrica superficial de abastecimiento (Arroyo Chorro Frio).



Actividad 2.3. Cálculo de la huella gris del cultivo de café

La huella hídrica gris es el volumen de agua contaminada que se relaciona con la producción de bienes y servicios. Este volumen se suele estimar como la cantidad de agua que es necesaria para diluir los contaminantes de forma que se mantengan o superen los niveles de calidad del agua, de acuerdo a los requisitos legales vigentes. (Hoekstra et; al, 2010), y se determina a través de la siguiente expresión matemática:

$$HH_{gris} = \frac{L \cdot \beta}{c_{max} - c_{nat}} Ec \quad (4)$$

Donde; HH gris: Huella hídrica gris de un producto agrícola específico (m³/ha).

L: Cantidad de fertilizante aplicado (Kg/ha).

β: Tasa de lixiviación (10%)

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

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

Y: Rendimiento del cultivo (Ton/ha)

De acuerdo a lo manifestado por el agricultor, el fertilizante utilizado en el cultivo de café es el DAP (fosfato diamónico), donde la cantidad de aplicación es de aproximadamente 125 gramos de fertilizante por planta, cabe señalar que solo se realiza una vez al año. A continuación, se relaciona la ficha técnica del producto, en la cual se presentan los porcentajes de sus componentes:

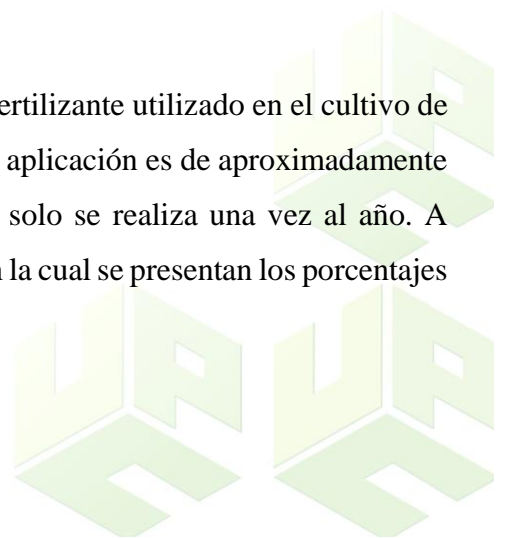


Tabla 10

Ficha técnica del fertilizante DAP (fosfato diamónico)

Elemento	Porcentaje
Nitrógeno	18%
Fosforo	20%

Fuente: Profertil S.A, 2022

Teniendo en cuenta la información anterior, se procede al cálculo de la cantidad de fertilizante aplicado en (Kg/año), tal como se relaciona en la siguiente tabla:

Tabla 11

Cantidad de fertilizante aplicado en (Kg/año)

Elemento	Porcentaje	Cantidad aplicada	Número de plantas	Cantidad de agroquímicos (g)	Cantidad de agroquímicos (Kg/ha)
Nitrógeno	18%	125	14000	315000	105
Fosforo	20%	125	14000	210000	70

Fuente: Autores, 2022

Respecto a la concentración máxima permisible (Kg/m³), se tuvo en cuenta los valores máximos permisibles establecidos en el Decreto 3930 de 2010 “*Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones*” y deroga en Decreto 1594 de 1984, tal información se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 12

Valores máximos permisibles Decreto 3930 de 2010

Parámetro	Valor máximo permisible (mg/l)	Valor máximo permisible (Kg/m3)
Nitratos + nitritos	≤100	≤0,1
Fosforo	No especificado	-----

Fuente: Decreto 3930 de 2010

Teniendo en cuenta que la norma no establece un valor máximo permisible del fosforo, para el cálculo de la huella gris del cultivo de café solo se empleará el Nitrógeno como parámetro analizado.

Es importante señalar que no fue posible determinar la concentración natural del Nitrógeno en el agua (Kg/m3), por lo que se realizó la revisión bibliográfica donde (Hoekstra, et; al 2010), menciona que la concentración natural del Nitrógeno en fuentes hídricas superficiales posee rangos muy bajos que varían entre 0.002 Kg/m3 y 0,001 Kg/m3, para el presente proyecto se trabajó con un valor de 0,001 Kg/m3.

$$HH_{gris} = \frac{105 \text{ kg/ha} * 0,1}{\frac{0,1 \text{ kg/m}^3 - 0,001 \text{ kg/m}^3}{0,93 \text{ ton/ha}}}$$

$$HH_{gris} = 114,04 \text{ m}^3/\text{ton}$$

La huella hídrica gris (114,04 m3/ton) presentó un valor menor en contraste con la huella hídrica azul y verde, cuyo valor se asocia al bajo requerimiento de nutrientes que tiene este cultivo por hectárea para alcanzar un excelente rendimiento, del anterior resultado

podemos indicar que se necesitan 342,12 m³ de agua para para asimilar la concentración de nitrógeno producida por la tasa de aplicación del fertilizante DPA (Fosforo diamónico) al cultivo de café.

Actividad 2.3. Cálculo de la huella hídrica del cultivo de café

La huella hídrica total del cultivo de café en la Finca La Libertad (HH proc), expresada en unidades de volumen de agua por unidad de masa (m³ /ton), y se determinó a partir de la suma de los componentes verde, azul y gris:

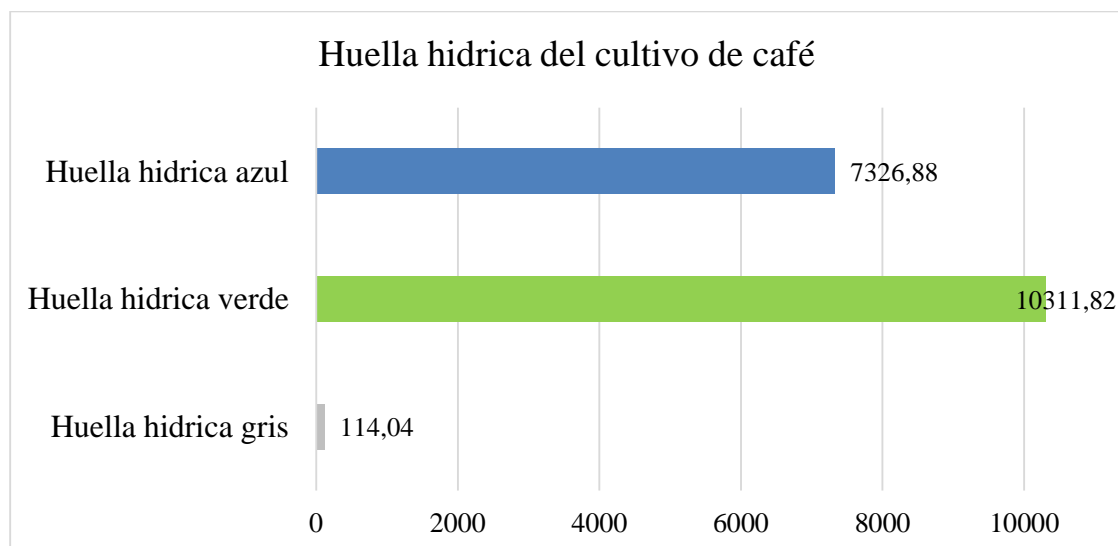
$$\text{HH cultivo} = \text{HH azul} + \text{HH verde} + \text{HH gris} \quad (\text{Ec. 2})$$

$$\text{HH cultivo} = 7326,88 \text{ m}^3/\text{ton} + 10311,82 \text{ m}^3/\text{Ton} + 114,04 \text{ m}^3/\text{ton}$$

$$\text{HH cultivo} = 17752,74 \text{ m}^3/\text{ton}$$

Figura 29

Gráfico huella hídrica del cultivo de café año 2021, Finca La Libertad



Fuente: Autores, 2022

En síntesis, los resultados obtenidos de la huella hídrica total del cultivo café en la Finca La Libertad que se presentan en el gráfico anterior, indican que la huella hídrica azul posee un porcentaje del 41,27%, la huella hídrica verde el 58,08%, y la huella hídrica gris el 0,65% lo que permite concluir que de manera general el cultivo requiere un bajo volumen de riego proveniente del arroyo Chorro Frio, ya que el mayor porcentaje de abastecimiento hídrico es suplido por las precipitaciones presentadas en la zona, no obstante respecto, a la huella hídrica gris es posible señalar que se requiere un volumen de agua de 114,04 m³/ton, para asimilar la concentración de nitrógeno producida por la aplicación de fertilizante en el proceso de producción del café.

De lo anterior es posible concluir que la huella hídrica total del cultivo de café en la Finca La Libertad es de 17752,74 m³/ton, es decir, que para producir 2,8 Ton de café, que es la producción total anual de la Finca La Libertad se requieren alrededor de 49707,67 m³ de agua.

7.3 Etapa 3. Formular Estrategias Enmarcadas En La Sostenibilidad Del Recurso Hídrico En El Cultivo De Café En La Finca La Libertad Ubicada En La Vereda Tierra Nueva Del Municipio De Urumita, La Guajira.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en campo y el Manual de huella hídrica (Hoekstra et; al, 2010) en el cual se realiza el análisis de la sostenibilidad a través de la perspectivas ambientales, sociales, económicas y de gobernanza del recurso hídrico, se llevó a cabo la formulación de estrategias enmarcadas en la sostenibilidad hídrica del cultivo de café en la finca la Libertad ubicada en la Vereda Tierra Nueva del municipio de Urumita, La Guajira, tal como se detalla a continuación:

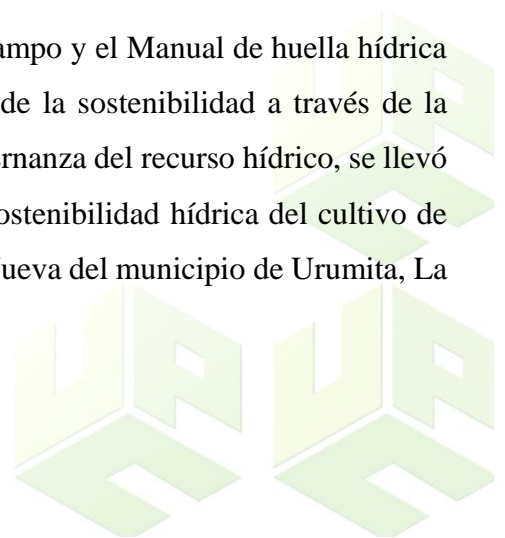


Tabla 13

Estrategia 1. Reducción del agua post- cosecha

Nombre	Estrategia 1. Reducción del agua post- cosecha
Objetivo	Reducir el consumo de agua en la etapa postcosecha del cultivo de café en la Finca La Libertad
Meta	Implementación del despulpado del café en seco y la desmieladora en la Finca La Libertad
Descripción	<p>Teniendo en cuenta que el cultivo de café, requiere altas cantidades de agua para su beneficio y considerando la escases hídrica presentadas en períodos del año, surge la necesidad de implementar una estrategia enfocada en la disminución del consumo de agua durante el proceso de postcosecha; cuya finalidad es el establecimiento de sistemas de bajo consumo de agua en las actividades del procesamiento postcosecha del café, con el objetivo de utilizar el volumen mínimo de agua requerido para el desarrollo de esta actividad, minimizando de esta manera el desperdicio y las pérdidas generadas, contribuyendo así directamente a la preservación y conservación de la fuente hídrica de abastecimiento.</p> <p>En esta estrategia se plantea la adopción del despulpado del café en seco para el procesamiento del café pergamino y para la reducción del agua de lavado, la implementación de una desmieladora para reducir el uso de agua, lo que se traduce en el ahorro y disponibilidad de agua para otros fines, y adaptación del cultivo a la variabilidad de la oferta de agua lluvia, específicamente a los periodos de sequía (escases de agua).</p>



Responsable Agricultores

Fuente: Autores, 2022

Tabla 14

Estrategia 2. Captación, almacenamiento y aprovechamiento de aguas lluvias

Nombre	Estrategia 2. Captación, almacenamiento y aprovechamiento de aguas lluvias
Objetivo	Realizar la captación de aguas lluvias para abastecer el riego del cultivo de café en la Finca La Libertad
Meta	Que se realice el 45% del riego del cultivo de café a través de la captación de aguas lluvias implementada.
Descripción	De acuerdo a los datos hidrometeorológicos de la zona de estudio expedidos por el IDEAM, es posible indicar que el área donde se encuentra ubicado el cultivo presenta un alto potencial de precipitaciones, en la cual a través del presente estudio se determinó una precipitación efectiva del 76%, lo que indica de manera general que la precipitación anual y el patrón de lluvias a lo largo de los meses del año, es suficiente para poder alimentar el cultivo y producir buenas cosechas, por tanto, el agua que se precipita en la temporada lluviosa o en tormentas intensas, pueda ser captada con el propósito de mantener la disponibilidad de agua en otros períodos del año en que se necesite.
Responsable	Agricultores

Fuente: Autores, 2022

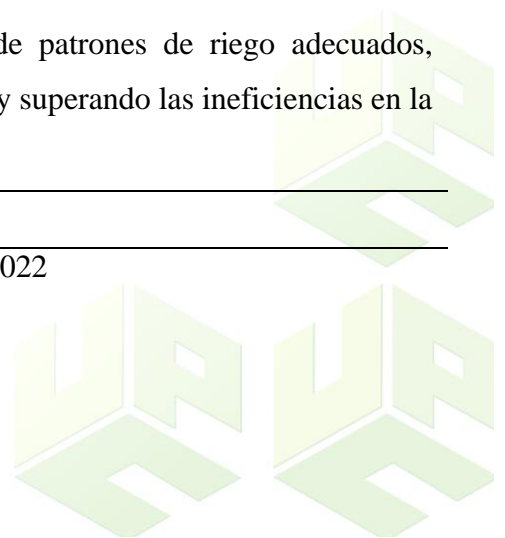


Tabla 15

Estrategia 3. Optimización del sistema de riego

Nombre	Estrategia 3. Optimización del sistema de riego
Objetivo	Optimizar el sistema de riego actual del cultivo de café en la Finca La Libertad.
Meta	Sistema de riego del cultivo de café en la Finca La Libertad optimizado
Descripción	Teniendo en cuenta que en el cultivo de café en la finca la libertad, se requieren aproximadamente 7326,88 m ³ /ton de agua, es necesario la implementación de una estrategia enmarcada en la optimización del agua utilizada en el riego del cultivo de café en la Finca La Libertad, con el fin de hacer buen uso de las técnicas de irrigación, que permitan el sostenimiento del cultivo de café durante todo su ciclo y garanticen alto rendimiento en la producción; a través del uso de patrones de riego adecuados, evitando pérdidas, desperdicios y superando las ineficiencias en la distribución del agua de riego.
Responsable	Agricultores

Fuente: Autores, 2022



8 Conclusiones

Mediante la ejecución del presente proyecto de investigación podemos concluir que el cultivo del café en la Finca La Libertad posee una extensión aproximada de 3 hectáreas, caracterizado por ser un cultivo asociado donde se alterna con la siembra de otras plantas como el aguacate, plátano, frijoles y yuca, con una producción promedio anual de 2800 kg, el cual se abastece de agua a través de una bocatoma instalada en el arroyo chorro frío que se desprende del río Marquesote, este cultivo posee un sistema de riego a través de aspersores con desplazamientos radiales.

Respecto al desarrollo de la segunda etapa, la cual consistió en la determinación de la huella hídrica del cultivo (huella hídrica azul, verde y gris), en primera instancia, se analizaron los datos hidrometeorológicos y climatológicos correspondientes al año 2021 de la estación ubicada en el Municipio de Urumita con código 28015070, los cuales fueron el insumo principal para la determinación de la evapotranspiración (ET_o) del cultivo de café que se calculó a través del software CROPWAT 8.0, donde arrojó un resultado de 5 mm, a partir de lo cual es posible señalar que el valor obtenido se enmarca dentro del rango establecido por la (FAO, 2018), el cual señala que para regiones templadas con temperatura promedio diaria moderadas entre los 20°C y 30 °C, un rango entre 2 y 7 mm/día durante todos los meses del año.

Posteriormente se realizó la determinación del requerimiento hídrico del cultivo del café a través del software CROPWAT 8.0 donde se estableció que los meses en los cuales se necesita una mayor disponibilidad del recurso hídrico son enero y febrero ya que la precipitación efectiva se encuentra por debajo de 10 mm/día, no obstante, también se puede concluir que en los meses de agosto, septiembre y octubre el caudal de riego necesario es mínimo, este último asociado a la presencia de lluvias.

De acuerdo al valor arrojado en la huella hídrica azul $7326,88 \text{ m}^3/\text{ton}$, es decir, que para la producción de 2,8 Ton que es la producción total de café en la Finca La Libertad se requiere aproximadamente $20515,26 \text{ m}^3$ de agua para riego proveniente de la captación superficial del arroyo Chorro Frio; De igual manera, es importante señalar que el volumen de agua de entrada al cultivo de café durante el proceso productivo es de $15,9 \text{ l/s}$, lo que indica que se está realizando un riego apropiado respecto al requerimiento hídrico del cultivo.

A partir de los resultados obtenidos en la huella hídrica verde $10311,82 \text{ m}^3/\text{Ton}$, es decir, que para la producción de 2,8 Ton que es la producción total de café en la Finca La Libertad se requiere al año aproximadamente $28873,09 \text{ m}^3$ de agua; aunque este consumo de agua es alto respecto a la huella azul, debe tenerse en cuenta que de acuerdo a la precipitación efectiva este cultivo aprovecha el $77,89\%$ del agua proveniente de las precipitaciones, lo cual implica una disminución en el impacto del consumo hídrico proveniente de la fuente hídrica superficial de abastecimiento (Arroyo Chorro Frio).

La huella hídrica gris ($114,04 \text{ m}^3/\text{ton}$) presentó un valor menor en contraste con la huella hídrica azul y verde, cuyo valor se asocia al bajo requerimiento de nutrientes que tiene este cultivo por hectárea para alcanzar un excelente rendimiento, del anterior resultado podemos indicar que se necesitan $342,12 \text{ m}^3$ de agua para para asimilar la concentración de nitrógeno producida por la tasa de aplicación del fertilizante DPA (Fosforo diamónico) al cultivo de café.

En síntesis, los resultados obtenidos de la huella hídrica total del cultivo café en la Finca La Libertad que se presentan en el gráfico anterior, indican que la huella hídrica azul posee un porcentaje del $41,27\%$, la huella hídrica verde el $58,08\%$, y la huella hídrica gris el $0,65\%$ lo que permite concluir que de manera general el cultivo requiere un bajo volumen de riego proveniente del arroyo Chorro Frio, ya que el mayor porcentaje de abastecimiento hídrico es suplido por las precipitaciones presentadas en la zona, no obstante respecto, a la



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



huella hídrica gris es posible señalar que se requiere un volumen de agua de 114,04 m³/ton, para asimilar la concentración de nitrógeno producida por la aplicación de fertilizante en el proceso de producción del café.

Por último, se realizó la formulación de 3 estrategias enmarcadas en la sostenibilidad, las cuales fueron Estrategia 1. Reducción del agua post- cosecha cuya finalidad es el establecimiento de sistemas de bajo consumo de agua en las actividades del procesamiento postcosecha del café, Estrategia 2. Captación de agua lluvia cuyo objetivo es realizar es el aprovechamiento del potencial hídrico por precipitaciones a través de la captación y finalmente la Estrategia 3. Optimización del sistema de riego cuya finalidad es implementar el buen uso de las técnicas de irrigación, que permitan el sostenimiento del cultivo de café durante todo su ciclo y garanticen alto rendimiento en la producción.





9 Recomendaciones

* Con el fin de determinar una dosis adecuada de fertilizantes y otros productos químicos empleados en el cultivo de café se recomienda a los agricultores la realización de la caracterización física y química del suelo a fin de reducir los impactos ambientales negativos por la dosificación y manejo inadecuado, al igual que garantizar el mayor rendimiento y productividad del cultivo.

* Teniendo en cuenta que la huella hídrica del cultivo de café calculada presentó un alto nivel se recomienda a los agricultores implementar cada una de las estrategias formuladas en este documento.



10 Bibliografía

Alcaldía de Urumita (2022), Esquema de Ordenamiento Territorial- EOT, Recuperado de:
<http://www.urumita-guajira.gov.co/>

Agencia Nacional de Minería- ANM, 2021, Ficha de caracterización del Municipio de Urumita, Recuperado:
https://mineriaencolombia.anm.gov.co/sites/default/files/docupromocion/2021%203%2029%20Ficha%20Urumita%20VF_compressed.pdf

Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo. Roma: ESTUDIO FAO. Obtenido de <ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/idp56s.pdf>

Arcila, P., J.; Jaramillo, R., A. 2003. Relación entre la humedad del suelo y la floración y el desarrollo del fruto del café. Avances Técnicos No. 311. CENICAFÉ, Colombia. 6 p.

Arévalo, D., Lozano, J. y Sabogal, J. (2011). Estudio nacional de huella hídrica Colombia Sector Agrícola. Revista Internacional Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo. 7, pp.101-126. Recuperado de: <http://upcommons.upc.edu/handle/2099/11915>

Arrien, M. (2019). Huella hídrica del cultivo de maíz en los partidos de Tandil y Balcarce. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.

Builes, E. (2013). Cuantificación y análisis de sostenibilidad ambiental de la huella hídrica agrícola y pecuaria de la cuenca del río Porce. (Tesis de posgrado). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.



CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN DE CAFE . CENICAFE. (2004). Densidad de siembra y productividad de los cafetales. Junio 12, 2014, de Sitio web: <http://www.cenicafe.org/es/documents/LibroSistemasProduccionCapitulo6.pdf>

Centro Nacional De Investigación Del Café, Cenicafe (2011) Construyendo el modelo para la gestión integrada del recurso hídrico en la caficultura colombiana. recuperado de: http://www.cenicafe.org/es/documents/PROPUESTA_P_A_CENICAFE_ABRIL13.pdf

Cerpa, N. (2018). Determinación de la huella hídrica del cultivo de cebolla, de la comisión de usuarios Pucchun del distrito de mariscal CÁCERES-2018. (Tesis de pregrado). Universidad de San Agustín de Arequipa.

Ercin, A. E; Aldaya, M. & Hoekstra, A.Y. 2011. The water footprint of soy milk and soy burger and equivalent animal products. Value of Water: Research Report Series N. 49. UNESCO – IHE. Paris, France. 2011.

FAO, 2003. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. El cambio climático y los recursos hídricos, por sistemas y sectores. [en línea]. [https://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/ccw/ccw%20sp/chapter_4_sp.pdf]. [Consulta: 16 de abril 2015].

FAO. (2006). Evapotranspiración del cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio de riego y drenaje 56. Marzo 25, 2014, Sitio web: <ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/idp56s.pdf>

Federación Nacional de Cafeteros y Cenicafe (2011) Construyendo el modelo para la gestión integrada dl recurso hídrico en la caficultura Colombiana. Chinchiná.



Herrera Pinilla, J.C y Cortina Guerrero, H.A. (2013). Taxonomía y clasificación del café. In: Manual del Cafetero Colombiano. Tomo I. CENICAFE, Colombia. pp 124-169.

Hilbert J. A. y Schein, L. 2018. Las huellas ambientales de la generación de valor. 1 a edición. Edit. INTA. Hurlingham, Buenos Aires.

Hoekstra, A Y, Booij M.J. &Hunink J.C., M. K. S. 2012. Blue water footprint of agriculture, industry, house holds and water magemente in the Netherlands. (UNESCO-IHE, Ed.) (p. 48). Delft.

Leroy, J.F. 1980. Les grandes lignées de caféiers. In IX Colloque Scientifique International sur le café. pp 473-477. Londres, Inglaterra.

MATUK V., V.; PUERTA Q., G.I.; RODRÍGUEZ V., N. Impacto biológico de los efluentes del beneficio húmedo del café. Cenicafé 48(4): 234-252. 1997. , junio 17 de 2014, sitio Web : [http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/67/1/arc048\(04\)234-252.pdf](http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/67/1/arc048(04)234-252.pdf)

Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. 2010a. The green , Blue and Grey Water Footprint of Crops and Derived Crops Products Value of Water Research Report Series No.47, UNESCO-IHE, Delft.

Meza, F. 2009. Variabilidad y cambio climático (en línea). Desafíos para incrementar laresiliencia de los sistemas agrícolas. (Diapositiva). Centro de Cambio Global. Perú. Recuperado de: <http://www.met.igp.gob.pe/ccmantaro/presentaciones/meza.pdf>

Murcia Rojas, A. V., & Casadiego Hernández, D. (2018). Cálculo comparativo de la huella hídrica del sistema productivo de arroz de riego en cuatro zonas arroceras de Colombia por medio del software cropwat 8.0. recuperado de:



https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1812&context=ing_ambiental_sanitaria

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACION Y LA AGRICULTURA. FAO. (2006). Evapotranspiración del cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio de riego y drenaje 56. Marzo 25,2014, Sitio web: <ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/idp56s.pdf>

Quiroga R. (2013) Diagnóstico del tratamiento de aguas residuales mediante el Sistema de Cenicafé y Majavita del beneficio ecológico del café con modulo Belcosub en la hacienda Majavita.

Sabogal Ángel, J. S. (2015). Evaluación de la huella hídrica para el cultivo de naranja (valencia) en un predio del municipio de puerto López – Meta. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/290

Vazquéz, R., & Buenfil, M. (2012). Huella hídrica de América Latina: Retos y oportunidades. Aqua-LAC. recuperado de: <https://aqua-lac.org/index.php/Aqua-LAC/article/view/86>

Velázquez, E. (2007) Water trade in Andalusia. Virtual water: An alternative way to manage water use. Ecological Economics 63(1): 201-208.

World Bank Group. 2016. A water -Secure world for all (PDF). Washington, Estados Unidos. World Bank. 26 p.

World Bank. 2015. A Water-Secure World for All. Water for Development: Responding to the Challenges (PDF). Washington, Estados Unidos, World Bank. 40 p.

WWF (November 2004) Una mirada a la agricultura de Colombia desde su Huella Hídrica. Water footprints of Nations.

Zeng, Z., Liu, J., Koeneman, P. H., Zarate, E., & Hoekstra, a. Y. (2012). Assessing water footprint at river basin level: a case study for the Heihe River Basin in northwest China. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(8), 2771–2781

Anexos

Anexo 1

Inspección del crecimiento y desarrollo de la planta de café



Fuente: Autores, 2022



Anexo 2

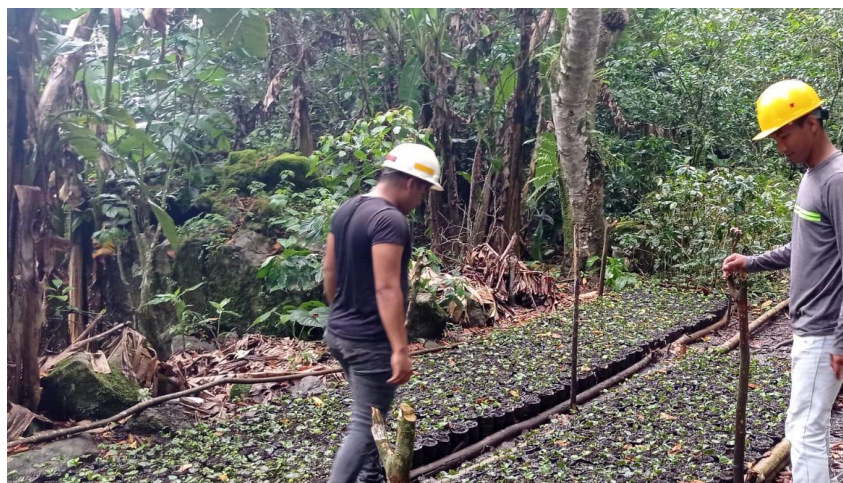
Medición del caudal de entrada al cultivo



Fuente: Autores, 2022

Anexo 3

Inspección del germinador



Fuente: Autores, 2022

Anexo 4

Recorrido del área del cultivo



Fuente: Autores, 2022

Anexo 5

Ubicación geográfica de la Finca La Libertad



Fuente: Google Maps, 2022