



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE  
MANABÍ MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

**DIRECCIÓN DE POSGRADO Y FORMACIÓN CONTINUA**

**INFORME DE INVESTIGACIÓN  
PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAGÍSTER  
EN GESTIÓN AMBIENTAL**

**MODALIDAD:**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**TEMA:**

**EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LOS CULTIVOS  
AGRÍCOLAS SOBRE EL CONSUMO DE AGUA EN LA  
MICROCUENCA DEL RÍO CAÑA**

**AUTORES:**

**ING. MENDOZA VELÁSQUEZ ÁNGEL IVÁN  
ING. MOREIRA ÁLAVA ALEMBERTH ABID**

**TUTOR:**

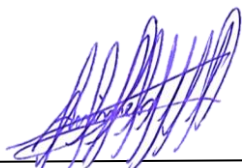
**ING. JOFFRE ALBERTO ANDRADE CANDELL, M. Sc.**

**CALCETA, FEBRERO DE 2023**

## DERECHOS DE AUTORÍA

ÁNGEL IVÁN MENDOZA VELÁSQUEZ Y ALEMBERTH ABID MOREIRA ÁLAVA, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, que se han respetado los derechos de autor de terceros, por lo que asumimos la responsabilidad sobre el contenido del mismo, así como ante la reclamación de terceros, conforme a los artículos 4, 5 y 6 de la Ley de Propiedad Intelectual.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, según lo establecido en el artículo 46 de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.



---

ING. ÁNGEL IVÁN MENDOZA  
VELÁSQUEZ



---

ING. ALEMBERTH ABID  
MOREIRA ÁLAVA

## CERTIFICACIÓN DE TUTOR

**M. Sc. JOFFRE ALBERTO ANDRADE CANDELL**, certifica haber tutelado el trabajo de titulación: **Evaluación de la influencia de los cultivos agrícolas sobre el consumo de agua en la microcuenca del río Caña**, que ha sido desarrollado por **MENDOZA VELÁSQUEZ ÁNGEL IVÁN** y **MOREIRA ÁLAVA ALEMBERTH ABID**, previo la obtención del título de Magíster en Gestión Ambiental, de acuerdo al Reglamento de unidad de titulación de los programas de Posgrado de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

---

**M.Sc. JOFFRE ALBERTO ANDRADE CANDELL**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL**

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el trabajo de titulación: **Evaluación de la influencia de los cultivos agrícolas sobre el consumo de agua en la microcuenca del río Caña**, que ha sido propuesto, desarrollado y sustentado por **MENDOZA VELÁSQUEZ ÁNGEL IVÁN** y **MOREIRA ÁLAVA ALEMBERTH ABID**, previa la obtención del título de Magíster en Gestión Ambiental, de acuerdo al Reglamento de la unidad de titulación de los programas de Posgrado de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

---

M. Sc. LAURA MENDOZA CEDEÑO  
**MIEMBRO**

---

M. Sc. JOSÉ CALDERÓN PINCAY  
**MIEMBRO**

---

D. Sc. FRANCISCO VELÁSQUEZ INTRIAGO  
**PRESIDENTE**

## **AGRADECIMIENTO**

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López que nos dio la oportunidad de crecer como seres humanos a través de una educación superior de calidad y en la cual hemos forjado nuestros conocimientos profesionales día a día;

De manera muy especial agradecemos a Dios por el maravilloso regalo que es la vida.

A nuestro tutor de tesis Joffre Alberto Andrade Candell, quien nos guió durante este proceso de elaboración de nuestro trabajo de titulación y durante el periodo que se cursó en la maestría, fortaleciendo temas con sus conocimientos como persona y profesional que es, así también agradecer a todos los profesionales que nos impartieron sus conocimientos, quienes con su guía, paciencia y constancia desinteresada en la formación de buenos profesionales de cuarto nivel.

A todos nuestros compañeros y amigos que siempre estuvieron allí presente dándonos su apoyo en todo momento.

Son muchas las personas a las que queremos agradecer, pero solo queremos decirles mil gracias a todos.

**AUTORES**

## **DEDICATORIA**

A Dios por darme la vida y permitirme vivir este sueño que día a día se está haciendo realidad, por no dejarme caer en los momentos más difíciles y estar siempre a mi lado dándome salud y fuerzas para seguir adelante en cada paso que doy en la vida.

A mis padres Quiterio Israel Mendoza Moreira y René Magdalena Velásquez Almeida, por ser las personas más importantes en mi vida y pilares fundamentales para que siga luchando en todo momento, por el apoyo brindado, a ellos dedico con orgullo este logro profesional alcanzado.

A mi hermana, Ángela Fabiola Mendoza Velásquez, mi ángel especial aquí en la tierra, convirtiéndose en mi motor para la superación de los momentos difíciles y darme la fuerza necesaria para seguir adelante como ejemplo de perseverancia y motivación.

A mis amigos y compañeros de clases por todos los momentos compartidos y llegar juntos al cumplimiento de esta gran meta, y a todas las personas que forman parte de nuestra vida.

**ÁNGEL IVÁN MENDOZA VELÁSQUEZ**

## **DEDICATORIA**

Este logro se lo dedico al más merecedor de todos los honores y glorias, a nuestro Señor Dios, quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mis padres: Héctor René Moreira Solórzano y Martha Elena Álava Franco, que han sido mis mejores ejemplos de vida, me enseñaron con amor y sabiduría a luchar por lo que se quiere en la vida. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos. Me apoyaron en las buenas y malas. Son los claros merecedores de mi respeto y admiración. Los amo por sobre todo y este mérito es de ellos.

A mi compañera de vida: Gema María Delgado Chávez, por estar siempre presente acompañándome para poderme realizar, y es ella quien a la vez me ha apoyado de todas las maneras posibles, éste es un sueño en conjunto.

**ALEMBERTH ABID MOREIRA ÁLAVA**

## CONTENIDO GENERAL

CARÁTULA.....	i
DERECHOS DE AUTORÍA.....	ii
CERTIFICACIÓN DE TUTOR.....	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
CONTENIDO GENERAL.....	viii
CONTENIDO DE TABLAS, FIGURAS Y ANEXOS.....	xi
RESUMEN.....	xiii
PALABRAS CLAVE.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
KEY WORDS.....	xiv
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.3. OBJETIVOS.....	5
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	5
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
1.4. IDEA A DEFENDER.....	5
CAPÍTULO II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	6
2.1. ACTIVIDADES AGRÍCOLAS.....	6
2.2. USO DEL SUELO PARA ACTIVIDADES AGRÍCOLAS.....	6
2.3. SECTOR AGRÍCOLA.....	7
2.4. COBERTURA Y USO DE SUELO.....	7
2.5. SISTEMA DE CLASIFICACIÓN.....	8



2.5.1. LandSat 8 .....	9
2.5.2. RapidEye .....	10
2.5.3. Requerimientos tecnológicos.....	11
2.5.3.1 ENVI.....	11
2.5.3.2 ArcGIS.....	11
2.6. FUENTES DE AGUA .....	11
2.7. HUELLA HÍDRICA DE LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA .....	11
2.8. IMPORTANCIA DEL AGUA DULCE EN EL MUNDO .....	12
2.9. HUELLA HÍDRICA.....	13
2.10. METODOLOGÍA PARA VALORACIÓN DE SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL MEDIANTE LA HUELLA HÍDRICA THE WATER FOOTPRINT ASSESSMENT .....	13
2.10.1. Huella hídrica de un proceso .....	14
2.10.2. Huella hídrica azul .....	14
2.10.4. La huella de agua gris .....	15
2.10.5. Evaluación de la huella hídrica .....	15
2.10.6. Balance Hídrico .....	16
2.10.7. Demanda hídrica .....	16
2.10.8. Caudal Ecológico.....	16
2.10.9. Impactos ambientales en microcuencas.....	17
2.11. METODOLOGÍA PARA EVALUAR LOS IMPACTOS AMBIENTALES DE LA HUELLA HÍDRICA .....	17
2.12. SOSTENIBILIDAD .....	19
2.12.1. Sostenibilidad Ambiental .....	20
2.13. ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD HUELLA HÍDRICA.....	20
2.14. ESTACIÓN METEOROLÓGICA .....	21
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO .....	22
3.1. UBICACIÓN .....	22

3.2.	DURACIÓN DEL TRABAJO.....	23
3.3.	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	23
3.4.	MÉTODOS Y TÉCNICAS.....	23
3.4.1.	MÉTODO.....	23
3.4.1.1.	Método Cuantitativo No Experimental.....	23
3.4.1.2.	Método Analítico- Sintético.....	24
3.4.2.	TÉCNICAS.....	24
3.4.2.1.	Observación Directa.....	24
3.4.2.2.	Técnicas Estadísticas.....	24
3.5.	VARIABLES DE ESTUDIO.....	24
3.5.1.	Variable Independiente.....	24
3.5.2.	Variable Dependiente.....	24
3.6.	PROCEDIMIENTO.....	25
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		29
4.1.	RESULTADOS.....	29
4.1.1.	Determinación de las actividades agrícolas que se generan en la microcuenca del río Caña para el establecimiento de las acciones dominantes.....	29
4.1.2.	Cuantificación del consumo de agua de las actividades dominantes mediante el cálculo de la huella hídrica en la zona de estudio.....	31
4.1.3.	Aplicación de la herramienta de cálculo de huella hídrica.....	33
4.1.4.	Valoración de la sostenibilidad ambiental mediante la determinación de la huella hídrica de la microcuenca Caña.....	36
4.1.5.	Análisis de sostenibilidad huella hídrica.....	38
4.2.	DISCUSIÓN.....	40
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		42
5.1.	CONCLUSIONES.....	42
5.2.	RECOMENDACIONES.....	42

BIBLIOGRAFÍA .....	44
ANEXOS .....	51

## CONTENIDO DE TABLAS, FIGURAS Y ANEXOS

### Contenido de tablas.

<b>Tabla 2. 1</b> Leyenda Temática Nivel I y II .....	8
<b>Tabla 2. 2</b> Leyenda Temática Nivel II y IV (Tierras Agropecuarias) .....	9
<b>Tabla 2. 3</b> Características Técnicas de Imágenes LandSat 8 .....	10
<b>Tabla 2. 4</b> Características Técnicas de Imágenes RapidEye .....	10
<b>Tabla 2. 5</b> Ponderación de impacto ambiental en cuanto a huella hídrica .....	20
<b>Tabla 2. 6</b> Zonas de cobertura de estación Meteorológicas .....	21
<b>Tabla 3. 1</b> Ubicación de la microcuenca de Caña .....	22
<b>Tabla 4. 1</b> Actividades agrícolas de la microcuenca Caña .....	29
<b>Tabla 4. 2</b> Características gráficas de la microcuenca del río Caña .....	30
<b>Tabla 4. 3</b> Cobertura y uso de suelo de la microcuenca río Caña .....	30
<b>Tabla 4. 4</b> Aportantes hídricos en la microcuenca del río caña .....	32
<b>Tabla 4. 5</b> Requerimiento de Agua Mensual .....	33
<b>Tabla 4. 6</b> Resultados de HH verde por actividad agrícola .....	34
<b>Tabla 4. 7</b> Precipitación registrada por las estaciones meteorológicas .....	36
<b>Tabla 4. 8</b> Resultados de la oferta hídrica de la microcuenca Caña .....	37
<b>Tabla 4. 9</b> Conversión de la huella hídrica verde de $m^3/t$ a $m^3$ .....	38

### Contenido de figuras

<b>Figura 3. 1</b> Microcuenca Caña, Bolívar, Manabí .....	22
<b>Figura 4. 1</b> Actividades agrícolas de la microcuenca Caña .....	29
<b>Figura 4. 2</b> Cobertura y uso de suelo de la microcuenca del río Caña .....	30
<b>Figura 4. 3</b> Cobertura y uso de suelo de la microcuenca del río Caña .....	31
<b>Figura 4. 4</b> Aportantes hídricos en la microcuenca del río caña .....	31
<b>Figura 4. 5</b> Microcuenca caña, subcuenca del Carrizal .....	32
<b>Figura 4. 6</b> Resultado de HH verde por actividad agrícola .....	35
<b>Figura 4. 7</b> Resultados de HH Cultivo verde .....	35
<b>Figura 4. 8</b> Precipitación registrada por las estaciones meteorológicas .....	37
<b>Figura 4. 9</b> Resultados de la oferta hídrica de la microcuenca Caña .....	38

<b>Figura 4. 10</b> Huella hídrica verde de las actividades agropecuarias.....	39
--	----

### **Contenido de anexos**

<b>Anexo 1</b> Actividades agrícolas y producción .....	52
<b>Anexo 2</b> Datos de precipitación en mm del período 2017 al 2021.....	52
<b>Anexo 3</b> Cálculo de evapotranspiración .....	53
<b>Anexo 4</b> Módulo de precipitación CROPWAT 8.0 .....	54
<b>Anexo 5</b> Módulo de cultivo CROPWAT 8.0 .....	54
<b>Anexo 6</b> Módulo suelo CROPWAT 8.0.....	59
<b>Anexo 7</b> Módulo RAC del CROPWAT 8.0 .....	59
<b>Anexo 8</b> Módulo programación del CROPWAT 8.0.....	59
<b>Anexo 9</b> Módulo del patrón de cultivo del CROPWAT 8.0.....	60
<b>Anexo 10</b> Módulo sistema del CROPWAT 8.0 .....	61
<b>Anexo 11</b> Metadata de imagen satelital Landsat .....	62
<b>Anexo 12</b> Tipos y usos de suelos en la zona de estudio. ....	63
<b>Anexo 13</b> Afluentes que forman la microcuenca Caña.....	64
<b>Anexo 14</b> Visita y verificación en campo en la microcuenca .....	64

## RESUMEN

El recurso hídrico presente en la microcuenca Caña, cantón Bolívar, provincia de Manabí es de gran importancia para el desarrollo socio-productivo de la zona, por tanto el objetivo general de esta investigación fue evaluar la influencia de las actividades agrícolas sobre el consumo de agua en la microcuenca del río Caña para la valoración de la sostenibilidad ambiental, la metodología empleada fue tomada del manual *The Water Footprint Assessment* de Hoekstra y colaboradores (2011) donde plantea procedimientos a través de ecuaciones matemáticas con la finalidad de obtener la evaluación de la huella hídrica en la microcuenca investigada, los resultados de las actividades agrícolas mostraron una huella hídrica verde de 739785.90 m<sup>3</sup>, considerando la disponibilidad natural de 275324.7 m<sup>3</sup> anual, el consumo de agua en las actividades agroproductivas, denotan una descompensación, siendo esto un estado de alerta con lo referente a una huella hídrica agrícola alta, con estos valores se llega a resultado final de la investigación, aplicando el procedimiento de la metodología se dividió el consumo de agua de las actividades agrícolas sobre la disponibilidad natural, resultado una sostenibilidad de huella hídrica con un valor anual de 2.69 en la microcuenca del río Caña, este resultado llevado a la metodología de la evaluación de la huella hídrica con un valor > 1; resultado significativo, el cual refleja la descompensación que tiene la microcuenca en cuanto a la disponibilidad natural frente al manejo del recurso hídrico en las actividades agrícolas, denotándose el desequilibrio de la sostenibilidad de la microcuenca Caña.

## PALABRAS CLAVE

Huella hídrica, oferta hídrica, actividades agrícolas, sostenibilidad ambiental, cobertura, productividad, desbalance, disponibilidad natural.

## **ABSTRACT**

The water resource present in the Caña micro-basin, Bolívar canton, Manabí province is of great importance for the socio-productive development in the area, therefore the general objective of this research was to evaluate the influence of agricultural activities on water consumption in the Caña river micro-basin for the assessment of environmental sustainability, the methodology used was taken from the manual The Water Footprint Assessment by Hoekstra and collaborators (2011) where procedures are proposed through mathematical equations in order to obtain the evaluation of the water footprint in the investigated micro-basin, the results of the agricultural activities showed a green water footprint of 739785.90 m<sup>3</sup>, considering the natural availability of 275324.7 m<sup>3</sup> per year, the consumption of water in agro-productive activities, denote an imbalance, this being a state of alert with regarding a high agricultural water footprint, with these values it is possible to obtain results at the end of the investigation, applying the methodology procedure, the water consumption of agricultural activities was divided over the natural availability, resulting in a water footprint sustainability with an annual value of 2.69 in the Caña River micro-basin, this result led to the methodology of the evaluation of the water footprint with a value  $> 1$ ; significant result, which reflects the imbalance that the micro-basin has in terms of natural availability versus the management of water resources in agricultural activities, denoting the imbalance of the sustainability of the Caña micro-basin.

## **KEY WORDS**

Water footprint, water supply, agricultural activities, environmental sustainability, coverage, productivity, imbalance, natural availability.

# CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

## 1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El agua es un elemento fundamental para el desarrollo de la vida en el planeta y representa un recurso esencial para el desarrollo social y económico de un país, haciendo énfasis en la crisis del agua que se presenta como un problema debido al consumo indiscriminado del agua (Álvarez et ál., 2016). El agua disponible para ser usada por el hombre (agua dulce en ríos, lagos y acuíferos) representa apenas el 0.001% del agua estimada del planeta y equivale a entre 9000 y 14000 km<sup>3</sup> al año (Parada, 2012).

A nivel mundial cada ser humano consume una media de 1385 metros cúbicos de agua, lo que equivale a media piscina olímpica de huella hídrica anual, es decir, la cantidad de agua dulce que ha hecho falta para que pueda alimentarse, vestirse, trasladarse de un sitio a otro, un determinado volumen de agua en su proceso de producción y consumo y esto es lo que en términos de sostenibilidad se denomina huella hídrica (Caballero, 2018). Uno de los principales desafíos de la sustentabilidad de los recursos hídricos en el mundo está relacionado con el aumento inexorable de la demanda de agua necesaria para satisfacer las necesidades de la población; se estima que, en el globo, un 70% del agua se destina para uso agrícola, un 22% para uso industrial y un 8% para uso doméstico (Novoa et ál., 2016).

La escasez de los recursos naturales son fuentes potenciales de disputas y cooperación, en el caso del agua, su valor aumenta, no solo por ser indispensable para el ser humano, como fuente de vida, sino que cada vez es más importante en el desarrollo de sus distintas actividades económicas relacionadas con agricultura, ganadería, industria, energía, etc (Blanco y De La Torre, 2015). En la actualidad existen desequilibrios entre la oferta y la demanda del recurso agua y entre sus diversos usos generados por el aumento de la población, lo que activa el interés de instituciones internacionales preocupados por el agotamiento del recurso agua en el planeta, esto a causa de la población humana, que no tiene conciencia del uso que se le está dando al recurso (Delgado et ál., 2013).

Según las estadísticas globales, el territorio latinoamericano tiene cerca de un 10% de la población mundial, en aproximadamente un 15% de la superficie continental, además cuenta con cerca de un 25% del agua dulce disponible en el planeta (Cedeño, 2020). Según EUROCLIMA y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA] (2017) estas estadísticas muestran la abundancia natural del recurso hídrico en Latinoamérica en un mundo globalizado con una población que se encuentra en constante crecimiento, la huella hídrica, adicionalmente está subyugada al cambio climático y cuya sostenibilidad ambiental de largo plazo depende de la conciencia de consumo y producción sostenible.

Según el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA] (2014) la huella hídrica, aumentó 40% entre el 2000 y el 2011 en el sector agrícola, principalmente en el Cono Sur y en menor medida en Mesoamérica y las regiones andina y Caribe, también señala que el sector agrícola es el principal usuario del agua, por encima del volumen consumido en las industrias o los hogares.

El estudio de huella hídrica (HH) de América Latina: retos y oportunidades indica que la huella hídrica per cápita del Ecuador entre 1996 y 2005 fue de 2000 m<sup>3</sup>, cifra que a comparación con el promedio mundial que es de 1400 m<sup>3</sup> es muy alta, dado que la HH total del mundo no puede aumentar más porque ya sería insostenible, se está obligado a disminuir nuestra HH, esto se puede realizar mediante una producción más eficaz, es decir, con una HH menor por producto (El Telégrafo, 2014). En el Ecuador se han realizado estudios para determinar la huella hídrica en diferentes áreas como ciudades, productos y servicios, pero muy pocos estudios existen en la temática de huella hídrica y producción agrícola denotando la importancia de conocer la huella hídrica en una cuenca hidrográfica aplicada a la sostenibilidad.

En la comunidad de Caña la producción agrícola es uno de los principales causantes del deterioro del bien natural hídrico, recalcando que las actividades antropogénicas y las extensiones de cultivos en las franjas de bosques existentes dentro de la microcuenca Caña cada día ganan territorio y desaparecen bosques, esto se ha convertido en la principal causa del



desbalance y pérdida del recurso hídrico dentro de la comunidad, denotando así la importancia de la cuantificación de la huella hídrica, ya que esta permite establecer medidas para prevenir, mitigar y corregir problemas con el uso del agua en sectores productivos (Azuara et ál., 2018). Con los antecedentes antes expuestos permiten formular la siguiente pregunta de investigación.

¿Cómo influyen las actividades agrícolas en el consumo de agua de la microcuenca del río Caña?

## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

El agua es un recurso escaso y en determinadas actividades y zonas del mundo su escasez es una amenaza, por ello hay una concienciación cada vez mayor sobre la necesidad de mejorar su gestión, la cuantificación de la huella hídrica permite calcular con precisión cuánta agua es necesaria para producir un producto o prestar un servicio, (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO], 2006).

La huella hídrica es un indicador global de la apropiación de los recursos de agua dulce, existen distintos esquemas de referencia para el cálculo y gestión de la huella hídrica (ISO 14046, Water Footprint Assessment etc). Mientras el primero se centra en la cuantificación del agua consumida, el segundo de los indicados, de manera adicional, evalúan también los impactos ambientales asociados, todo ello bajo un enfoque de análisis del ciclo de vida, el objetivo de la cuantificación de la huella hídrica es facilitar a las partes interesadas un juicio profesional e independiente acerca de la información y datos aportados respecto a ella y siempre bajo el esquema elegido (Asociación Española de Normalización y Certificación [AENOR-Ecuador], 2015).

La falta de información sobre las bondades de los del recurso hídrico y su importancia en el desarrollo de las actividades antrópicas se reflejan en la huella hídrica y alteran el equilibrio ambiental y ecológico, haciendo caso omiso a lo que se plantea en la Constitución de la República del Ecuador (2008) en el Art. 14; que reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir.

Molden (2007) establece que la huella hídrica es una relación directa entre los sistemas hídricos y el consumo humano, esta vinculación puede determinar factores como la escasez o contaminación del agua, pero también puede permitir la mejora de la gestión de la producción de agua, en este sentido, la huella hídrica hace énfasis en la responsabilidad que tenemos para efectuar una mejor gestión de los recursos del agua para ello, planteando el uso responsable de este recurso natural (Chavarría et ál., 2020).

Las fuentes de agua en la actualidad se encuentran en una situación crítica de la cual no es fácil salir, la situación ambiental del planeta es cada vez peor y cada vez más irreversible, nada parece ser más difícil que cambiar los modos de comportamiento de una sociedad cuando el estilo de desarrollo imperante está muy arraigado (GreenFacts, 2009), a todo esto se busca lograr una solución planteando revalorización de cambios de comportamiento, de actitud de la forma de vida, que se traduce en revisar los valores, símbolos e ideologías, y ello dará nuevas pautas de modos de vida que garanticen la sostenibilidad de las fuentes hídricas (Martínez, 2008).

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2018) manifiesta que las actividades antropogénicas están ligadas directamente al problema de la escasez y contaminación del agua. Los habitantes de estos sitios centran su vida en la producción agrícola en línea de tiempo, estas actividades agudizan y deterioran el recurso hídrico, La producción agrícola requiere gran cantidad de agua para lograr una buena producción, a esto lo acompaña los químicos y productos agrícolas que se utilizan para proteger y mejorar el cultivo. Siendo esto factor primordial para la contaminación y el desgaste del recurso hídrico (MAG, 2020, p. 76).

La importancia de la investigación centra su enfoque en la gestión integral del recurso hídrico, ya que es un tema de gran importancia en la actualidad, pues permite estudiar de manera concreta cómo se debe administrar el recurso hídrico (Fernández et ál., 2015). El manejo adecuado del recurso agua dentro de cualquier actividad de carácter antrópico, es viable con el fin de lograr un uso eficiente del recurso y al mismo tiempo ser una estrategia fundamental en la

búsqueda del desarrollo sostenible en la mayoría de los sectores productivos (Novoa et ál., 2016).

Novoa y colaboradores (2016) plantean que el cálculo de la huella hídrica en la microcuenca Caña nace principalmente del interés personal en aportar conocimientos técnicos y científicos en temas de hidrología, zonificación y sostenibilidad ambiental tanto en situaciones prácticas como en la academia. En la actualidad, cuantificar los diversos usos del agua e identificar los impactos que dicho usos o consumos genera en el ambiente, es fundamental para el desarrollo ecológico de la región o de lugares geográficos con características similares (Álvarez et ál., 2016).

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la influencia de las actividades agrícolas sobre el consumo de agua en la microcuenca del río Caña para la valoración de la sostenibilidad ambiental.

#### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Determinar los cultivos agrícolas que se producen en la microcuenca del río Caña para el establecimiento de las áreas de estudio.

Cuantificar el consumo de agua de los cultivos agrícolas presentes en el área de estudio mediante el cálculo de la huella hídrica en la microcuenca del río Caña.

Valorar la sostenibilidad ambiental mediante la determinación de la huella hídrica de la microcuenca Caña

### **1.4. IDEA A DEFENDER**

Los cultivos agrícolas que se producen en la microcuenca del río Caña generan impactos significativos sobre el consumo de agua.

## **CAPÍTULO II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. ACTIVIDADES AGRÍCOLAS**

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2018) manifiesta que la agricultura tiene una gran importancia en la economía de muchos países en desarrollo debido a su significativa contribución a la producción interna y el empleo, así como por su aporte a la seguridad alimentaria, esencial sobre todo para los países menos industrializados. Las actividades agrícolas, son todas aquellas actividades dedicadas a la agricultura como actividad económica, es decir, al aprovechamiento de los territorios para la siembra, cuidado y recolección de frutos, granos y vegetales para su posterior consumo y venta a diversos sectores. Es una de las actividades económicas más significativas del medio rural en conjunto con el sector ganadero o pecuario (Significados, 2021).

### **2.2. USO DEL SUELO PARA ACTIVIDADES AGRÍCOLAS**

El suelo es una parte fundamental del ambiente para que la vida se desarrolle con total normalidad; es vulnerable, de larga y difícil recuperación, y de extensión finita, por ello es considerado como un recurso natural no renovable (Silva y Correa, 2009). Este recurso se utiliza para diversos fines tales como: agricultura, pastos y montes, extracción de minerales y de materiales para la construcción, eliminación de residuos, entre otros. Se puede decir que el suelo provee funciones indispensables para el medio ambiente, dentro de los cuales resaltan: el sustento de alimento para plantas, almacenar nutrientes y albergar materia orgánica derivada de los restos de seres vivos, entre otros elementos que lo hacen importante para el buen desarrollo de ecosistemas de los cuales forma parte (Dorronsoro, 2007).

La actividad económica, principal es la agricultura, está ejerciendo un uso cada vez más agotador del suelo, sin dejar de lado los insumos como fertilizantes y plaguicidas que lo utilizan con el fin de obtener mejores resultados en sus cosechas, otras actividades productivas también usan de manera exhaustiva este recurso, situación que está guiando a una creciente en la degradación del

suelo, así como a una pérdida irrecuperable del mismo, Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG] (2019). El uso incorrecto de este recurso natural trae graves consecuencias, como la imposibilidad de realizar un uso óptimo del suelo en la agricultura, la recreación, etc. Por ello es indispensable crear políticas públicas y estrategias de regulación, que conlleven a una disminución de los impactos negativos generados que producen las actividades agrícolas sobre el suelo (Silva y Correa, 2009).

### **2.3. SECTOR AGRÍCOLA**

El sector agrícola y su producción depende de los factores climáticos los cuales tienden a generar problemáticas en los cultivos, sin embargo, siempre los agricultores intervienen sobre la tierra ya árida e inundada, donde recuperan niveles de producción perdidos, luego de sequías e inundaciones. Es decir, una población de 597,425 habitantes asentados en el área rural son los que finalmente sostienen las actividades agropecuarias de la provincia. Por eso bien podríamos decir que el 43.61% de la población, del área rural, que se dedican a las actividades agrícolas las cuales sustentan y crean alimentos para ellos y para 772,355 habitantes del área urbana. Esto lo hace la agricultura, no obstante que sufren permanentes problemas de sequías e inundaciones (Mendoza et ál., 2019).

La agricultura y sus cultivos de productos alimentarios directos para el ser humano han perdido espacios, dando cabida a hectáreas de cultivos de pastos, es decir, las áreas destinadas para ganado de toda clase, ocupan prácticamente la mitad de los suelos. Así en el 2011, el 47.76% de los suelos para labores en el campo correspondió a pastos cultivados; le siguen en porcentaje los suelos de pastos naturales, pastos cultivados y cultivos transitorios y barbecho. No obstante, la superficie de labor agropecuaria en el 2011 fue de 7,1 millones de hectáreas Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC] (2011).

### **2.4. COBERTURA Y USO DE SUELO**

La cobertura de la Tierra forma la cubierta biofísica que se observa sobre el plano de la tierra y el uso de esta representa el trabajo que la persona da a los

distintos tipos de cobertura, resultado de la interrelación entre los factores biofísicos y culturales de un espacio geográfico determinado (García y François, 2008). Los sistemas productivos describen cómo se realizan las actividades agras productivas sobre la cobertura del suelo, como, por ejemplo: recursos invertidos, tecnología empleada, destino de la producción y limitaciones en general. Se clasifican en: Empresarial, Combinado, Mercantil y Marginal, la determinación de la cobertura y uso de suelo se basa en la generación de agroinformación temática a partir de sensores remotos de manera técnica, confiable, transparente y precisa (MAG, 2019).

## 2.5. SISTEMA DE CLASIFICACIÓN

La clasificación ha sido construida de forma jerárquica, con un primer nivel general que corresponde a las clases de cobertura/uso definido por el IPCC adaptado para el Ecuador. La clasificación se representa a continuación en dos tablas, la primera con todas las coberturas Nivel I y II y la segunda con los niveles III y IV únicamente de tierras agropecuarias, Ministerio de Ambiente del Ecuador – Ministerio de Agricultura Ganadería Acuacultura y Pesca [MAE-MAGAP] (2015).

*Tabla 2. 1 Leyenda Temática Nivel I y II*

Nivel I	Nivel II
<b>Bosque</b>	Bosque Nativo Plantación Forestal
<b>Tierra Agropecuaria</b>	Cultivo Anual Cultivo Semipermanente Cultivo Permanente Pastizal Mosaico Agropecuario
<b>Vegetación Arbustiva y Herbácea</b>	Vegetación Arbustiva Vegetación Herbácea Páramo
<b>Cuerpo de Agua</b>	Natural Artificial
<b>Zonas Antrópicas</b>	Área Poblada Infraestructura
<b>Otras tierras</b>	Glaciar Área sin cobertura vegetal
<b>Sin información</b>	Sin información

Fuente: MAE-MAGAP (2015)

**Tabla 2. 2** Leyenda Temática Nivel II y IV (Tierras Agropecuarias)

Nivel I	Nivel II	Nivel III	Nivel IV
<b>Tierra Agrop ecuari a</b>	Cultivo Anual	Cereales Leguminosas Raíces y Tubérculos Hortalizas Industriales, en el MAG esto representa específicamente zonas consolidadas de tabaco Medicinales, en el MAG esto representa específicamente zonas consolidadas de chía	Arroz Maíz Duro Maíz Suave Papa
	Cultivo Semi- Permanente	Frutales Industriales, en el MAG esto representa específicamente zonas consolidadas de caña de azúcar industrial o artesanal Tallos Comestibles, en el MAG esto representa específicamente zonas consolidadas de palmito Fibra, en el MAG esto representa específicamente zonas consolidadas de abacá	Banano  Caña de Azúcar Industrial
	Cultivos Permanente	Frutales  Oleaginosas Fibra, en el MAG esto representa específicamente zonas consolidadas de paja toquilla Condimento, en el MAG esto representa específicamente zonas consolidadas de pimienta Tierras de Transición	Cacao Café Palma Africana
	Otras Tierras Agrícolas Pastizal Mosaico Agropecuario	Misceláneo de Cereales Misceláneo de Ciclo Corto Misceláneo de Hortalizas Misceláneo de Flores Misceláneo de Frutales Misceláneo de Plantas Aromáticas Misceláneo Indiferenciado	

Fuente: MAE-MAGAP (2015)

Los principales insumos utilizados para la generación del MAG cobertura y uso del suelo son:

- Imágenes Satelitales LandSat 8
- Imágenes Satelitales RapidEye

### 2.5.1. LandSat 8

Sistema de Observación de la Tierra [EOS] (2013) es un satélite del programa LandSat, el cual es una colaboración entre la NASA y el USGS con el objetivo de capturar información de la cobertura terrestre, las imágenes son de resolución espacial media y tienen las siguientes características técnicas.

**Tabla 2. 3** Características Técnicas de Imágenes LandSat 8

Item	Características técnicas
Nivel de tratamiento	1T (Imágenes Ortorectificadas)
Bandas espectrales	11 (Coastal aerosol, Blue, Green, Red, NIR, SWIR1, SWIR2, Panchromatic, Cirrus, TIRS1, TIRS2)
Sensor	Multiespectral (pushbroom imager)
Resolución espacial	15 metros (Panchromatic) 30 metros (VIS, SWIR) 100 metros (TIRS)
Resolución radiométrica	16 bits
Resolución temporal	16 días
Formato de entrega	GeoTIFF
Sistema de coordenadas	UTM/ WGS-84 / Zona 17
Metadatos	Formato TXT
Tipo de licencia	Gratuito
Tamaño de Escena	180 km * 180 km (path/row)

Fuente: Earth Observing System (2013)

## 2.5.2. RapidEye

RapidEye es una constelación de 5 satélites idénticos que monitorean la tierra permanentemente. Esta constelación de satélites permite capturar información, actualizándose cada 24 horas en cualquier parte del planeta, por lo que se puede contar con gran cantidad de imágenes en todo el territorio. Estas imágenes son de alta resolución espacial y tienen las siguientes características técnicas (Unknown, 2014).

**Tabla 2. 4** Características Técnicas de Imágenes RapidEye

Item	Características técnicas
Nivel de tratamiento	3ª (Imágenes Ortorectificadas)
Bandas espectrales	5 (Rojo, Verde, Azul, RedEdge, Infrarrojo Cercano)
Sensor	Multiespectral (pushbroom imager)
Cobertura de nubes	Hasta 20%
Resolución temporal	1 día
Resolución espacial	5 metros
Resolución radiométrica	16 bits
Formato de entrega	GeoTIFF
Sistema de coordenadas	UTM/WGS-84/Zona 17
Metadatos	Formato XML
Tipo de licencia	FedCiv (licencia de Gobierno)
Tamaño de escena	25 km * 25 km (tile)

Fuente: BlackBridge (2014)



### **2.5.3. Requerimientos tecnológicos**

Las tecnologías para generación de geoinformación para el MAGa de cobertura y uso de la tierra son:

- Software ENVI
- Software ArcGIS

#### **2.5.3.1 ENVI**

ENVI es una plataforma avanzada de software que permite extraer información de cualquier tipo de imagen. Este programa combina el procesamiento de las imágenes espectrales más recientes con la tecnología de análisis de imágenes mediante una interfaz intuitiva y fácil de usar para ayudar a obtener información significativa de las imágenes (GisandBeers, 2017).

#### **2.5.3.2 ArcGIS**

ArcGIS es una completa plataforma de sistema de información geográfica que permite crear, analizar, almacenar y difundir datos agroespaciales, para resolver problemas complejos con fines geográficos (Bermejo, 2014).

## **2.6. FUENTES DE AGUA**

El agua dulce es agua que contiene cantidades mínimas de sales disueltas, distinguiéndose así del agua de mar o agua salobre. Así entonces, dentro del agua dulce se encuentran las siguientes fuentes: ríos, lagunas, lagos, humedales, icebergs, glaciares, agua subterránea, corrientes de agua subterránea, acuíferos, capas de hielo y campos de hielo. Estas fuentes de agua dulce se caracterizan por tener una baja concentración de sales disueltas, menos de 500 partes por millón (ppm) de sales disueltas (GreenFacts, 2009).

## **2.7. HUELLA HÍDRICA DE LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

Las actividades agrícolas generan un consumo aproximado del 70% del agua dulce total disponible en nuestro planeta. Por otro lado, la población humana se encuentra en un constante crecimiento, de tal forma que se especula que la población alcanzará los 9000 millones de personas para el 2050, situación que

va requerir de un aumento de producción de más del 70% y para poder solventar estas necesidades futuras será necesario dejar nuestros malos hábitos de consumo y así no permitir que se genere un estrés hídrico que no permita que los ecosistemas puedan llevar su ciclo natural con normalidad (Molden, 2007).

Tomando en cuenta que el agua es un recurso natural escaso en algunas regiones, se han propuesto diferentes procedimientos para el mejoramiento de su gestión. Para llevar a cabo una eficiente gestión del consumo del agua, es indispensable conocer los volúmenes empleados a lo largo de todo el ciclo de producción de un determinado bien o servicio. A partir de esta idea nace el concepto de huella hídrica como un indicador que permite establecer un consumo de agua directo e indirecto de un individuo, región o el principal implicado en la obtención de un determinado producto (Hoekstra et ál. 2011).

La huella hídrica puede ser considerada como un indicador global de la apropiación del recurso natural agua, también es un indicador multidimensional que muestra la cantidad de agua usada, su origen y da una guía preliminar sobre los volúmenes necesarios para la reducción de la contaminación causada por cada actividad (Fernández et ál., 2015).

## **2.8. IMPORTANCIA DEL AGUA DULCE EN EL MUNDO**

A pesar de que la mayor parte del planeta Tierra es agua (1,386 millones de km<sup>3</sup> de agua), tan solo el 2.5% de esta agua es agua dulce. De este porcentaje solo el 0.01% se encuentra en ríos y lagos y el 0.5% en almacenes subterráneos, de toda esta cantidad de agua que tiene el planeta, tan solo el 0.007% es agua potable y debido a la contaminación del ambiente las reservas disminuyen año tras año (Correa et ál., 2011). Según Unicef, cerca de 768 millones de personas en el mundo no tienen acceso a agua potable. Se calcula que cerca de 3 millones y medio de personas mueren al año a causa de problemas relacionados con la calidad del agua; y al menos 4,500 niños mueren por día debido a la falta de agua potable (ENCOLOMBIA, 2020).

## **2.9. HUELLA HÍDRICA**

Huella hídrica (HH) es un instrumento de valoración de la sostenibilidad de los recursos hídricos, utilizado para cuantificar la cantidad total de agua consumida por los habitantes de una determinada región (Novoa et ál., 2016). Este índice es útil para cuantificar los flujos de agua virtual, de las exportaciones y de las importaciones, y su estudio a niveles geográficos inferiores y específicos permite conocer puntualmente cuánta agua, y en qué condiciones, se utiliza de los sistemas de agua locales, y que cantidad de agua sería necesaria para contrarrestar las corrientes contaminadas (Pengue, sf.). La principal metodología utilizada en la actualidad es la desarrollada por Chapagain y Hoekstra, que ha sido adaptada para estimar la huella hídrica (Tolón et ál., 2013).

La huella hídrica, se considera una herramienta alternativa para optimizar la gestión tradicional del agua, la cual tiene en cuenta las actividades socioeconómicas como factor más importante de presión sobre los recursos naturales, estableciendo una conexión directa entre el hombre y el sistema hídrico, y fortificando los vínculos entre los distintos actores sociales y económicos involucrados (Lala et ál., 2020).

## **2.10. METODOLOGÍA PARA VALORACIÓN DE SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL MEDIANTE LA HUELLA HÍDRICA THE WATER FOOTPRINT ASSESSMENT**

Esta metodología referencial propuesta por Arjen Hoekstra y difundida en el manual Water Footprint Network desde un enfoque sistémico, permite comprobar si el comportamiento de la sostenibilidad ambiental podría estar afectando la huella hídrica de la microcuenca y sus alrededores. El análisis de la sostenibilidad de la microcuenca se basa en la metodología planteada en el manual The Water Footprint Assessment (Hoekstra et ál., 2011). La evaluación de la huella hídrica en una cuenca hidrográfica viene dada por la Ecuación (2.1) (Hoekstra et ál., 2011).

$$HH = \sum i HH \text{ procesos } (i) \text{ [2.1]}$$

**Donde:**

**HH** = huella hídrica.

**i** = número de procesos.

**HH procesos (i)** = huella hídrica de i procesos.

### 2.10.1. Huella hídrica de un proceso

La huella hídrica (HH) de un proceso se define como el volumen total de agua que se usa directa o indirectamente para fabricar un producto. Se calcula teniendo en cuenta el gasto de agua y la contaminación, en todas las fases del ciclo de vida completo de la producción (Canga et ál., 2016). La huella hídrica es un indicador de la apropiación de los recursos de agua dulce y contribuye una valiosa información sobre la negatividad ambiental que ocasiona un bien o servicio, por ello, es indispensable conocer el derroche de agua y los niveles de contaminación detrás de todo proceso productivo (Zambrano et ál., 2018).

### 2.10.2. Huella hídrica azul

Huella hídrica azul es el agua que procede o se capta de fuentes naturales o artificiales, mediante infraestructuras o instalaciones, equivale al consumo directo de agua dulce en los procesos de fabricación de bienes e incluye el agua de riego (Ríos et ál., 2015). Relacionada con el uso consuntivo de agua dulce superficial o subterránea evaporada, incorporada en el producto, devuelta a otra cuenca o devuelta en un periodo distinto del de extracción. Para productos agrícolas se asocia con la necesidad de regadío de los cultivos (Tovar et ál., 2017). La huella hídrica azul es el resultado de la diferencia entre el afluente y el efluente, se calcula usando la ecuación (2.2) (Delgado et ál., 2013).

$$HH \text{ azul} = Afluente - Efluente \text{ [2.2]}$$

**Donde:**

**HH cultivo azul** = huella hídrica azul de un cultivo.

**Afluente** = El afluente es el volumen de agua usada en la actividad evaluada.

**Efluente** = El efluente es el volumen de agua calculada.

### 2.10.3. Huella hídrica verde

La huella hídrica verde es el agua proveniente de las precipitaciones que queda almacenada ya sea en el suelo, raíces y se evapora, transpira o incorpora a las plantas (iAgua, 2016). Cabe recalcar, que el líquido vital, se almacena temporalmente en la parte superior del suelo o de la vegetación, se incorporará a un producto o se evaporará en el propio proceso (Martínez et ál., 2007) para obtener la huella hídrica verde se utiliza la siguiente ecuación.

$$\text{Huella hídrica verde} = \frac{CWU \text{ verde}}{Y} \text{ [2.3]}$$

**Donde:**

**HH cultivo verde** = huella hídrica verde de un cultivo en m<sup>3</sup>/t.

**CWU verde** = agua verde utilizada por el cultivo en m<sup>3</sup>/ha.

**Y** = rendimiento de los cultivos en t/ha.

### 2.10.4. La huella de agua gris

La huella de agua gris es el volumen de agua contaminada que se asocia con la producción de los bienes y servicios (iAgua, 2016). La huella hídrica gris se calcula midiendo el volumen de agua requerida para diluir los contaminantes hasta el punto en que la calidad del agua esté sobre los estándares aceptables. Se toma como referencia las normas de calidad ambiental, asociando los límites establecidos a una calidad buena para el ambiente y los humanos (Ríos et ál., 2015).

### 2.10.5. Evaluación de la huella hídrica

La evaluación de la huella hídrica (HH), es un indicador multisectorial, geográfica y temporalmente explícito, resultante de la evolución del concepto de agua virtual y de los requerimientos de agua para el consumo humano, especialmente en el caso de un Estado, su huella hídrica “es el volumen de agua usada de los recursos hídricos nacionales para producir los bienes y servicios consumidos por los habitantes del país”, para una buena evaluación se deben tomar en cuenta 3 factores importante que son el ambiental, económico y social (Hernández y Picón, 2013).

### 2.10.6. Balance Hídrico

El balance hídrico directo (BHD) es un método empírico que estima, el balance de todo el sistema, utilizando el cálculo de la precipitación para el año hidrológico en análisis, y la estimación de la evapotranspiración potencial, el método supone que el agua del suelo se va perdiendo conforme pasa el tiempo hasta agotar su reserva y así cubrir las necesidades hídricas del sistema (Del Toro, Kretzschmar, y Hinojosa, 2014).

$$Ve = P - ET_o \text{ [2.4]}$$

**Donde:**

**Ve** = volumen escurrido en mm/día.

**ET<sub>o</sub>** = evapotranspiración calculada en el CROPWAT en mm/día.

**P** = precipitación en mm/día.

### 2.10.7. Demanda hídrica

La demanda hídrica se define como la extracción hídrica del sistema natural empleada para suplir los requerimientos o necesidades del consumo de las personas, la producción sectorial y las demandas esenciales de los ecosistemas no antrópicos. Esta demanda corresponde a la sumatoria de las demandas sectoriales (actividades antrópicas sociales y económicas) expresado en millones de metros cúbicos (Coela y Tarqui, 2017).

### 2.10.8. Caudal Ecológico

El caudal ecológico es una herramienta de gestión que determina la calidad, cantidad y régimen de la circulación de agua necesario para conservar los componentes, funciones, procesos y la resiliencia de los ecosistemas acuáticos que suministran bienes y servicios a la sociedad (Izquierdo y Madroñero, 2014). En la práctica el caudal ecológico busca reproducir en alguna medida el régimen hidrológico natural, manteniendo los patrones estacionales de caudales máximos y mínimos en las temporadas de escasez y de lluvias respectivamente (Brown et ál., 2016).

### **2.10.9. Impactos ambientales en microcuencas**

La intervención del hombre dentro de la microcuenca, constituye la causa principal de su deterioro ambiental, que altera sus recursos naturales principales como el agua, suelo, flora y fauna, generando una descompensación natural que incide en el desmedro de las condiciones y calidad de vida de la población inmersa en un territorio (Puentestar, 2015).

La contaminación de las cuencas hidrográficas deteriora al medio ambiente, daña el hábitat de la flora y las faunas silvestres, altera la economía y los empleos, causa impuestos y cuotas más altas, y finalmente también incide a la salud de los seres humanos (Manrique et ál., 2007).

Los contaminantes como el aceite automotriz, los productos de pintura, los desechos de animales, la basura, y las sustancias químicas como fertilizantes y pesticidas son llevados por la lluvia y por los prados y jardines regados en exceso, hacia los lugares del vecindario y los pluviales, en las actividades diarias, la gente puede provocar que una parte de estos contaminantes entre a los desagües pluviales y a riachuelos sin saber que están causando daño al medio ambiente, ciertos contaminantes, incluyendo los pesticidas, son encontrados en nuestros arroyos a niveles lo suficientemente altos como para ser tóxicos para la vida acuática (Flores, 2009).

El mejoramiento de las prácticas productivas dotándolos de un enfoque responsable, acompañado de un proceso de gestión, manejo y conservación ambiental, contribuye a garantizar la recuperación de los recursos naturales renovables y mejora la calidad ambiental de la microcuenca hidrográfica intervenida (Guerrero, 2016).

## **2.11. METODOLOGÍA PARA EVALUAR LOS IMPACTOS AMBIENTALES DE LA HUELLA HÍDRICA**

La metodología de cálculo más utilizada para el análisis de la huella hídrica es la propuesta por la Water Footprint Network. En dicho manual se establece el procedimiento de cálculo para la huella azul, verde y gris para un producto, como metodología, el estándar global de huella hídrica comprende 4 fases de análisis:

Definición de objetivos y alcance del estudio, contabilidad de la huella hídrica, Análisis de sostenibilidad y Formulación de Respuestas. Mediante estas fases, el estándar nos permite: Cálculo de huella hídrica. Desarrollo metodológico y aplicación al Centro Universitario de Los Altos [CUALTOS] (2017).

- Evaluar nuestra presión sobre los recursos hídricos.
- Comprender la distribución geográfica y temporal de los recursos hídricos en las actividades estudiadas.
- Evaluar la sostenibilidad ambiental, eficiencia y equidad del uso y contaminación del agua.
- Identificar las acciones estratégicas para tomar a nivel local, regional, nacional y global, a nivel individual de una organización o colectivo.

A continuación, se detallan las fases necesarias para la evaluación de la huella hídrica:

- Para evaluar la huella hídrica de un producto u organización, en primer lugar, es necesario definir el propósito y alcance de la evaluación, de manera que se identifiquen los puntos críticos. La determinación del alcance del estudio condiciona el nivel de detalle necesario en su análisis.
- La siguiente etapa es la de recogida de datos. La huella hídrica de un producto se puede cuantificar a través de la determinación de la cantidad de agua utilizada, la tipología de ésta, y el momento y lugar en el que se realiza su consumo (dimensión temporal y geográfica). Se considera asimismo la calidad de las aguas residuales.
- A continuación, se llevará a cabo el cálculo de la huella hídrica total del producto, diferenciando sus tres colores: verde, azul y gris. Además, se puede realizar un análisis complementario mediante la evaluación de impactos ambientales, sociales y económicos, lo cual se conoce como análisis de sostenibilidad.
- Finalmente, se formularán recomendaciones para reducir los diferentes componentes de la huella hídrica, así como elaborar una guía de comunicación.



- Una vez realizado el cálculo, cabe la posibilidad de realizar una validación del resultado de la huella hídrica mediante la evaluación independiente por parte de una entidad certificadora (EsAgua, 2009).

## **2.12. SOSTENIBILIDAD**

El Desarrollo Sustentable (DS) se ha convertido en un concepto aceptado a nivel mundial para guiar las interacciones entre la naturaleza y la sociedad la cual se define como la permanencia en el tiempo de las capacidades biofísica, socio-espacial, económica y político institucional de un territorio para albergar una población de manera confortable (Cortés y Peña, 2015); del mismo modo el desarrollo sustentable tiene la finalidad de organizar poblaciones, y entornos rurales diversos, con potencialidades y restricciones ambientales específicas, en función de las complejas interacciones que emergen entre hombre y naturaleza que, interrelacionadas con las diferentes fuerzas ejercidas sobre él, permiten que éste persista y sea apto para el desarrollo de diversas funciones y de su viabilidad en el tiempo (Pinzón, 2012).

La sostenibilidad funciona siguiendo el principio de que no se pueden agotar los recursos disponibles de forma indiscriminada, hay que proteger los medios naturales y todas las personas deben tener acceso a las mismas oportunidades (Conte y D'Elia, 2018). Los problemas ambientales han acarreado problemas graves para la sostenibilidad ambiental, todo esto conlleva a realizar acciones conjuntas de todas las naciones para que mediante acuerdos multilaterales encontrar soluciones para revertir los problemas medioambientales (Alaña et ál., 2017).

En términos generales, la sostenibilidad se refiere a la capacidad de satisfacer las necesidades del presente sin poner en riesgo la capacidad de las nuevas generaciones de satisfacer las suyas en el futuro. El concepto hace énfasis en la búsqueda del equilibrio entre el respeto al medio ambiente, el crecimiento económico y el bienestar social.

### 2.12.1. Sostenibilidad Ambiental

La sostenibilidad ambiental es la gestión eficaz de recursos naturales en la actividad antrópica, permitiendo su conservación para las necesidades futuras, también hace referencia, al equilibrio social, económico y medioambiental, de manera que se garantice, una continuidad en el futuro (Cortés y Peña, 2015).

El desarrollo económico es una cadena que tiene varios eslabones y uno de ellos es el medio ambiente ya que los recursos naturales son limitados y su mal manejo puede ocasionar a mediano o largo plazo que no existan fuentes importantes de abastecimiento de elementos esenciales; como el agua, la energía eléctrica, la tierra, los árboles, etc (Pérez et ál., 2016).

### 2.13. ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD HUELLA HÍDRICA

Para obtener la huella hídrica total de la microcuenca se realiza a través de la suma de las huellas hídricas cuantificadas de los sectores evaluados, la sostenibilidad se cuantificará comparando la disponibilidad de agua verde mensual (agua disponible real) de la cuenca, de la que se extrae agua para el uso y consumo en las diferentes actividades antropogénicas (Lala, 2017).

Para Hoekstra y Mekonnen, determinar la sostenibilidad del agua, se debe dividir la HH verde cuantificada del área de estudio por el volumen de agua disponible. Si la división es menor a 1, entonces se puede concluir que el impacto ambiental en cuanto al consumo de agua no es significativo. Cuanto mayor sea a 1, la situación es significativa (2011).

$$\text{sostenibilidad HH} = \frac{\Sigma \text{Huella Hídrica verde}}{\text{Disponibilidad Natural}} [2.5]$$

**Tabla 2. 5** Ponderación de impacto ambiental en cuanto a huella hídrica

> = 1	Significativo
= 1	Medianamente Significativo
< 1	Nada Significativo

Fuente: Hoekstra y Mekonnen (2011)

## 2.14. ESTACIÓN METEOROLÓGICA

Una estación meteorológica es un conjunto de dispositivos o instrumentos que recoge los datos de distintas variables atmosféricas que son de interés para la meteorología y la climatología, pueden estar instaladas en cualquier terreno y parte del mundo y como veremos posteriormente existen varios tipos, los instrumentos de los que está compuesta una estación meteorológica pueden recoger la información de manera electrónica o bien debe ser recogida de manera visual y manual (Alzate, 2013).

La utilidad principal es recoger y registrar datos meteorológicos, Las variables de una estación meteorológica son las siguientes: temperatura en aire, humedad, presión barométrica, velocidad del viento, dirección del viento, precipitaciones, nivel de UV, grosor de nieve, temperatura en suelo, humedad del suelo, radiación solar, visibilidad, análisis de contaminación, medición de horas luz y medición de la altura de las nubes (Abio, 2019).

Según el Manual World Meteorological Organization, (OMM) la red de estaciones climatológicas deben dar una representación satisfactoria de las características del clima en todo los tipos de terreno, costa, regiones montañas y llanuras, cada estación debe ubicarse en un lugar y con determinadas especificaciones de manera que garantice el funcionamiento continuo, del mismo modo el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología ( INAMHI) considera que para tener un cobertura exitosa, se debe considerar el relieve y la ubicación, en la siguiente table se puede observar la zona de cobertura de una estación meteorológica (Villacrés, 2010).

*Tabla 2. 6 Zonas de cobertura de estación Meteorológicas*

<b>Zonas de cobertura de estación Meteorológicas</b>		
<b>Fuente</b>	<b>Radio de influencia</b>	<b>Km</b>
<b>OMM</b>	Zonas de Montaña	8.9
	Zonas de llanura	16.9
<b>INAMHI</b>	Zonas de Montaña	20
	Zonas de llanura	50

## CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

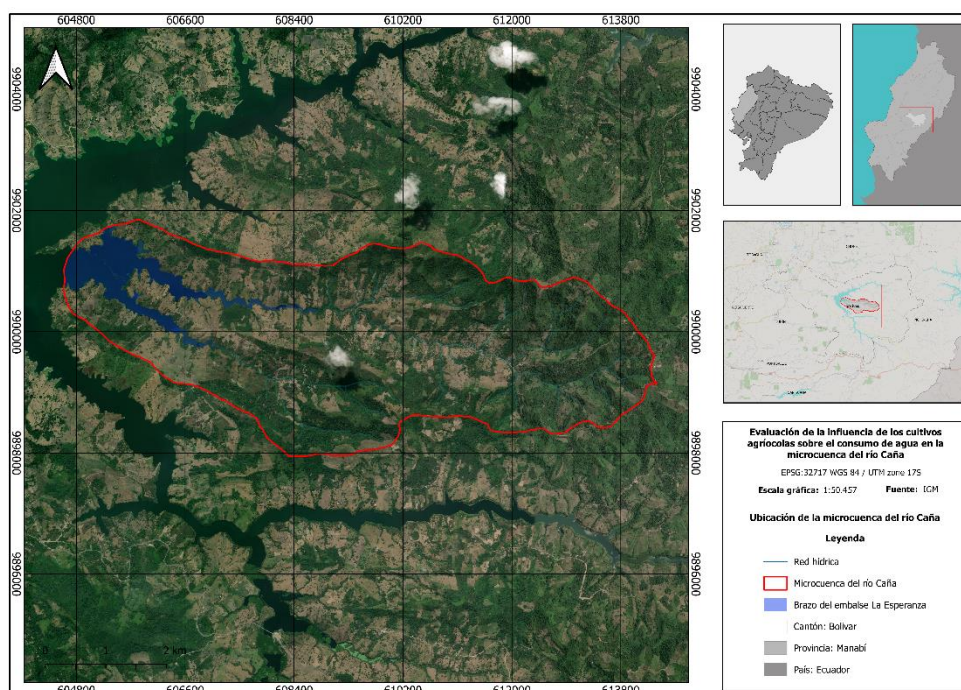
### 3.1. UBICACIÓN

La investigación se realizó en la microcuenca Caña, cantón Bolívar provincia de Manabí, esta microcuenca se caracteriza por ser un territorio montañoso el cual está dividida en tres sectores, Caña Chica, Caña Grande y Caña en Medio, sus habitantes, en su gran mayoría se dedican a la agricultura, ganadería y a la pesca, el acceso a la microcuenca se hace a través de transporte acuático y terrestre, la cuenca tiene un bosque mixto; su clima es subtropical con lluvias en invierno, la microcuenca Caña está formada por el río del mismo nombre y algunos esteros, siendo fuente de abastecimiento para las familias que habitan en la microcuenca (Borrero y Mendoza, 2017).

**Tabla 3. 1** Ubicación de la microcuenca de Caña

Ubicación	Microcuenca Caña, cantón Bolívar, provincia de Manabí, ubicada a 2,5 Km del puerto la Esperanza					
Área de estudio	23.93 Km <sup>2</sup>					
coordenadas UTM	Caña Chica		Caña en Medio		Caña Grande	
	X	Y	X	Y	X	Y
	0608427	9899376	0607403	9899967	0609258	9900429
Altura	157 m.s.n.m.		121 m.s.n.m.		240 m.s.n.m.	

Fuente: Borrero y Mendoza (2017)



**Figura 3. 1** Microcuenca Caña, Bolívar, Manabí

## **3.2. DURACIÓN DEL TRABAJO**

La investigación tuvo una duración de 9 meses a partir del mes de julio de 2021 a abril de 2022.

## **3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

La investigación fue de tipo descriptiva, no experimental la cual basa sus características en estudios anteriores, los cuales fueron analizados posteriormente para el desarrollo de la investigación, denotando que este tipo de investigación no se realizan experimentos controlados, por razón no se crean muestras de estudio, al contrario las muestras o participantes ya existen y se desenvuelven en su medio, recalcando que el investigador no interviene directamente en el entorno de la muestra, la investigación se realiza sin manipular deliberadamente variables. Se basa fundamentalmente en la observación de fenómenos tal y como se dan en su contexto natural para después analizarlos (Bernal, 2010).

## **3.4. MÉTODOS Y TÉCNICAS**

### **3.4.1. MÉTODO**

#### **3.4.1.1. Método Cuantitativo No Experimental**

Cadena et ál. (2017) establecen que el método cuantitativo no experimental se centra en analizar cuál es el nivel o estado de una o diversas variables en un momento dado, o bien en cuál es la relación entre un conjunto de variables en un punto en el tiempo, en estos casos el diseño apropiado (bajo un enfoque no experimental) es el transversal o transeccional. Sin embargo, otras veces la investigación se centra en estudiar cómo evoluciona o cambia una o más variables o las relaciones entre éstas, en situaciones como ésta el diseño apropiado bajo un enfoque no experimental es el longitudinal, en la investigación se utilizó el método cuantitativo no experimental para estudiar las variables de sostenibilidad frente a las actividades agrícolas comprobando si la oferta satisface a la demanda resultado de las actividades agroproductivas (Bernal, 2010).

#### **3.4.1.2. Método Analítico- Sintético**

Estudia los hechos, partiendo de la descomposición del objeto de estudio en cada una de sus partes para estudiarlas en forma individual (análisis), y luego se integran esas partes para estudiarlas de manera holística e integral (síntesis). Esto nos permitió establecer en un inicio las características fisiográficas y los usos de los bosques y suelos de la zona, que al final se sintetizó en los mapas potencializadores (Eliseo, 2009).

#### **3.4.2. TÉCNICAS**

##### **3.4.2.1. Observación Directa**

La observación se hizo para el reconocimiento de las actividades antropogénicas que se realizan en la microcuenca Caña y las consecuencias que estas causan a los recursos hídricos, obteniendo información relevante acompañado de documentación y apuntes sobre cada detalle que se generó (Rekalde et ál., 2014).

##### **3.4.2.2. Técnicas Estadísticas**

Para procesar los datos y expresar los resultados se utilizó la estadística descriptiva con la distribución de frecuencias como tablas, histogramas o gráficos (Barreto, 2012).

### **3.5. VARIABLES DE ESTUDIO**

#### **3.5.1. Variable Independiente**

Actividades agrícolas

#### **3.5.2. Variable Dependiente**

Consumo de agua

### **3.6. PROCEDIMIENTO**

#### **Fase 1.- Determinación de las actividades agrícolas que se generan en la microcuenca del río Caña para el establecimiento de las acciones dominantes**

**Actividad 1.1.** Identificación de las actividades agrícolas que se generan en la microcuenca del río Caña

Para identificar las actividades agrícolas que se generaron en la microcuenca del río Caña y conocer las acciones dominantes, se recurrió a los archivos del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) cantonal, mismos que fueron comparados con los datos del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), así se obtuvieron los datos correspondientes, validando esto a través de visita de campo para corroborar los datos registrados en la información obtenida del MAG cantonal.

**Actividad 1.2.** Determinación de la cobertura y uso de suelo en la microcuenca del río Caña

A través del S.I.G., y su herramienta ArcGIS (10.4.0) partiendo con la búsqueda de información con respecto a la microcuenca investigada; se realizó el mapa base de cobertura y uso de suelo. A la par se georreferenció el área muestreada, desde el inicio de la microcuenca de Caña, la cual se subdivide en Caña Chica, Caña en Medio y Caña Grande, (Liria, 2008).

#### **Fase 2.- Cuantificación del consumo de agua de las actividades dominantes mediante el cálculo de la huella hídrica verde en la zona de estudio**

**Actividad 2.1.** Identificación de las fuentes de agua

La identificación de las fuentes de agua se realizó partiendo del mapa base hidrológico del Ecuador, obteniendo un mapa hídrico de toda la microcuenca Caña a través del S.I.G., y su herramienta ArcGIS (10.4.0) (Liria, 2008), con la finalidad de obtener todas las fuentes hídricas afluentes a la microcuenca. Una vez obtenida todas las fuentes hídricas se realizó la verificación en campo con la finalidad de conocer las características de cada uno de los afluentes.

**Actividad 2.2.** Aplicación de la herramienta de cálculo de huella hídrica verde

Para la evaluación de la huella hídrica verde de las actividades agrícola, se tomó en cuenta lo expresado en unidades de volumen de agua por unidad de masa, el componente verde de la huella hídrica de un cultivo o plantación forestal se calcula como el agua utilizada por el cultivo dividido por el rendimiento de los diferentes tipos de cultivos, para ello se utilizó la ecuación 2.3.

Para la cuantificación de la huella hídrica verde se necesita los siguientes datos:

Superficie de cobertura del área de estudio

Tipos de cobertura (vegetación densa, vegetación clara y cuerpos de agua)

La huella hídrica verde fue cuantificada con el programa CROPWAT 8.0, el cual requiere datos específicos para su correcto desarrollo, de no estar disponibles dichos datos, pueden ser considerados los parámetros establecidos por la FAO ya existentes dentro del programa, denotando que para obtener el valor de huella hídrica verde agrícola se utilizó el requerimiento de agua sobre el rendimiento por cultivo.

Al correr el programa CROPWAT 8.0, en su ventana inicial se encontró con diversos módulos de estudios:

Clima Eto (evapotranspiración) donde se ingresaron los datos obtenidos de las estaciones meteorológicas (temp. min, temp. máx., humedad, viento, horas sol) (anexo 3) denotando que en la hoja de cálculo se introdujeron los datos de ubicación de las estaciones meteorológicas tales como el país, altitud, latitud y longitud.

Prec. (precipitación) se introdujeron los datos promedios dados por las estaciones meteorológicas en un periodo de 5 años (2017 - 2021) (anexo 2) el cual se obtuvo como resultado la precipitación efectiva (anexo 4) que fue calculada por medio del método propuesto por la FAO que ya viene predeterminada dentro del programa.

Cultivo, dentro de este módulo se ubicaron los diferentes cultivos ya establecidos en las actividades anteriores, donde se tomaron en cuenta datos como kc



(coeficiente de cultivo), etapas del cultivo (inicial, desarrollo, medio y fin de temporada), profundidad radicular, agotamiento crítico, respuesta de rendimiento de los cultivos al agua y altura de cultivo (anexo 5), cabe recalcar que dichos datos varían según el cultivo estudiado.

Suelo, en este módulo se trabajó utilizando los archivos registrados dentro del programa, donde se ubicó el tipo de suelo del área de estudio, la humedad del suelo disponible total, tasa máxima de infiltración de la precipitación, profundidad radicular máxima y agotamiento inicial de humedad del suelo resultando la humedad de suelo inicialmente disponible (anexo 6).

RAC (requerimiento de agua del cultivo), en este apartado se encontró datos calculados por el programa de kc, Etc (evapotranspiración cuantificada por cultivo), precipitación efectiva y requerimiento de riego de cada uno de los cultivos registrados, este requerimiento se usará para el cálculo de la huella hídrica verde y este dato vendrá dado en unidades de mm/dec mismo que será dividido para 10 para llevarlo a mm/día y luego será multiplicado por 10 para llevarlo a m<sup>3</sup>/t. (anexo 7).

### **Fase 3.- Valoración de la sostenibilidad ambiental mediante la determinación de la huella hídrica en la microcuenca Caña**

#### **Actividad 3.1.** Evaluación de la oferta hídrica de agua

La oferta hídrica en la microcuenca Caña se obtuvo utilizando el cálculo de la precipitación mensual y anual para el año hidrológico en análisis, y la estimación de la evapotranspiración potencial mensual y anual, (ecuación 2.4).

Para conseguir la evaluación de la precipitación media, fue necesario obtener las precipitaciones registradas, de la estación meteorológica del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología - INAMHI, ubicada en la Escuela superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López y de las estaciones de los embalses de la provincia de la Manabí (La Esperanza, Multipropósito Chone y Poza Honda) a partir de estos registros se realizó el cálculo de la lluvia media ponderada. El método que se utilizó para determinar la precipitación media fue el "Método Aritmético", en el cual se calculó el promedio numérico de las alturas

de precipitación, registrado en el año, para aplicar este procedimiento, fue necesario contar con un compendio de datos de al menos 5 años.

### **Actividad 3.2.** Análisis de sostenibilidad ambiental de la huella hídrica

Para obtener la huella hídrica total de la microcuenca Caña, se realizó a través de la suma de las huellas hídricas cuantificadas de los sectores evaluados, la sostenibilidad se obtuvo dividiendo el consumo de agua de las actividades antropogénicas sobre la disponibilidad de agua de la cuenca, para obtener la sostenibilidad ambiental del agua (ecuación 2.5.), Si la división es menor a 1, entonces se puede concluir que el impacto ambiental en cuanto al consumo de agua no es significativo, igual a 1 medianamente significativo, cuanto mayor sea a 1, la situación es significativa (tabla 2.5), (Hoekstra y Mekonnen, 2011).

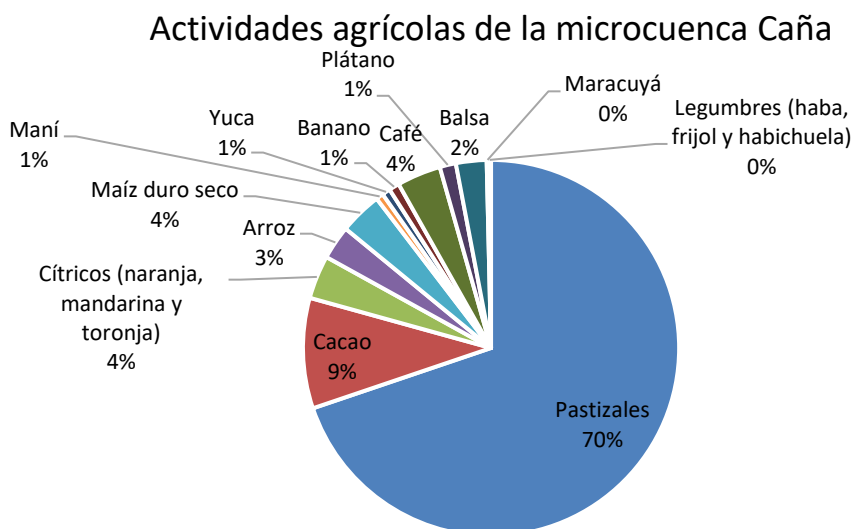
## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. RESULTADOS

#### 4.1.1. Determinación de las actividades agrícolas que se generan en la microcuenca del río Caña para el establecimiento de las acciones dominantes

*Tabla 4. 1 Actividades agrícolas de la microcuenca Caña*

Actividad agrícola	Extensión ha.	%
Pastizales	750.59	69.81
Cacao	102.09	9.49
Cítricos (naranja, mandarina y toronja)	40.16	3.73
Arroz	31.19	2.9
Maíz duro seco	39.36	3.66
Maní	6.8	0.63
Yuca	7.59	0.71
Banano	9.63	0.9
Café	40.63	3.78
Plátano	14.93	1.39
Balsa	28.29	2.63
Maracuyá	1.69	0.16
Legumbres (haba, frijol y habichuela)	2.3	0.21
<b>Total</b>	<b>1075.25</b>	<b>100</b>



*Figura 4. 1 Actividades agrícolas de la microcuenca Caña*

Como se observa en la tabla 4.1 y figura 4.1 son 13 las principales actividades agrícolas en la microcuenca Caña, datos obtenidos a través de la información en

base de los shapefile del MAG del cantón Bolívar, existiendo 1075.25 ha utilizadas en las principales actividades agrícolas, representadas en un 44.93% de la cobertura y uso de suelo de la microcuenca y el restante que es 55.07% corresponde a bosque y cuerpo de agua, siendo el bosque el de mayor extensión con 1195.2 ha, datos que se corroboraron en las visitas in situ y las entrevistas realizadas a los agricultores en la microcuenca Caña.

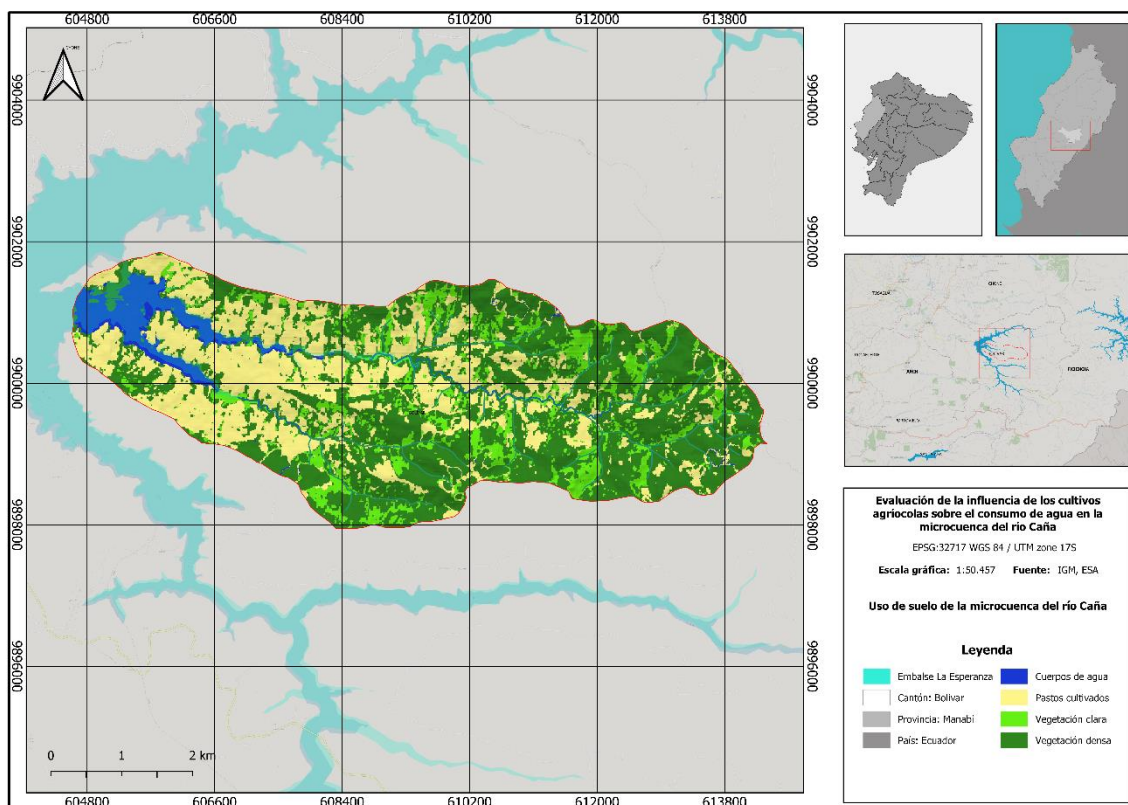


Figura 4. 2 Cobertura y uso de suelo de la microcuenca del río Caña

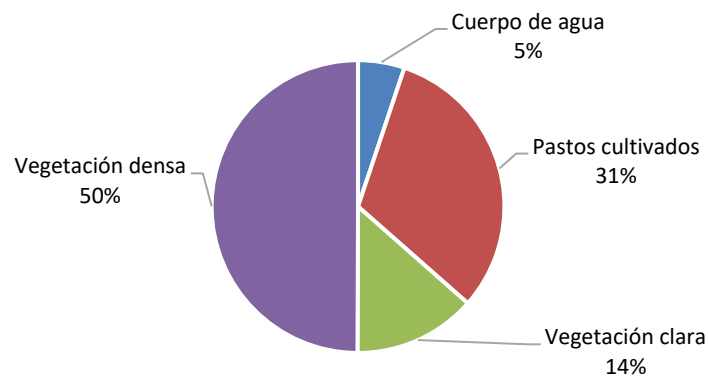
Tabla 4. 2 Características gráficas de la microcuenca del río Caña

Área (km <sup>2</sup> )	23.933
Perímetro (km)	24.02
Pendiente media (%)	36.04
Altura máxima (msnm)	222.74
Coordenada centroide "Lat. Lon."	0°54'36" S, 80°01'21" W
Coordenada centroide "UTM"	X 608763 Y 9899402.8

Tabla 4. 3 Cobertura y uso de suelo de la microcuenca río Caña

Cobertura	Área (km <sup>2</sup> )	%
Cuerpo de agua	1.23	5.13
Pastos cultivados	7.51	31.36
Vegetación clara	3.25	13.57
Vegetación densa	11.94	49.94
<b>Total</b>	<b>23.93</b>	<b>100</b>

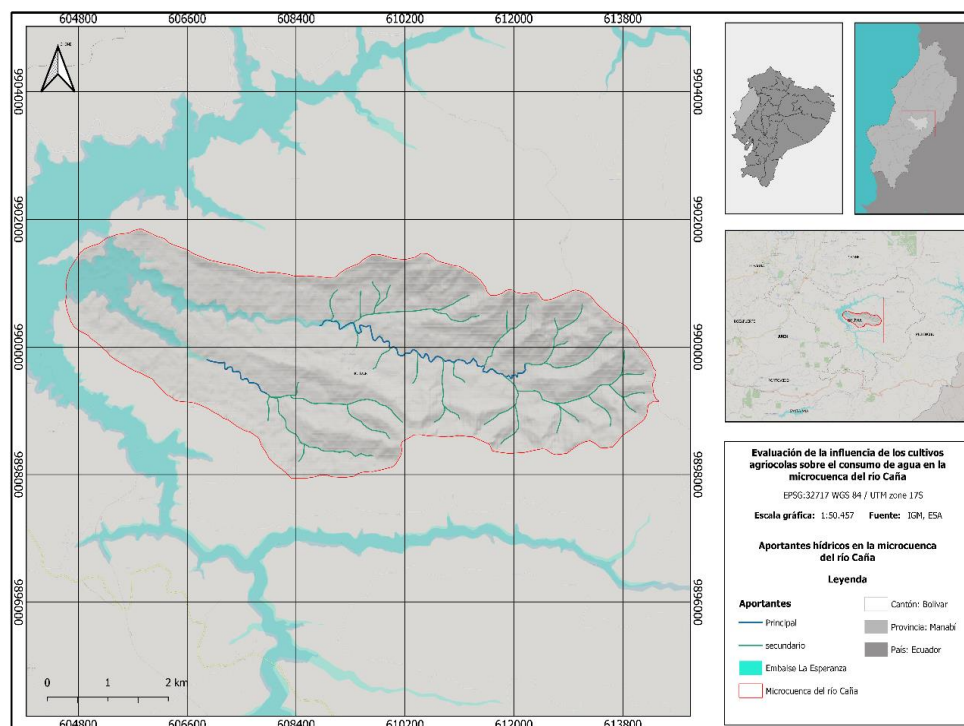
### Cobertura y uso de suelo de la microcuenca del río Caña



**Figura 4. 3** Cobertura y uso de suelo de la microcuenca del río Caña

Como se observa en el figura 4.3 la cobertura y uso de suelo en la microcuenca del río Caña, está dividido en cuatro sectores de importancia dentro de la misma, siendo la vegetación densa la de mayor representatividad con 11.95 ha equivalente al 50% del uso del suelo, seguido de pasto de cultivo con 7.5 ha equivalente al 31%, vegetación clara con 3.24 ha correspondiente al 14% y por último cuerpo de agua con 1.22 ha que representa el 5%.

#### 4.1.2. Cuantificación del consumo de agua de las actividades dominantes mediante el cálculo de la huella hídrica en la zona de estudio



**Figura 4. 4** Aportantes hídricos en la microcuenca del río caña

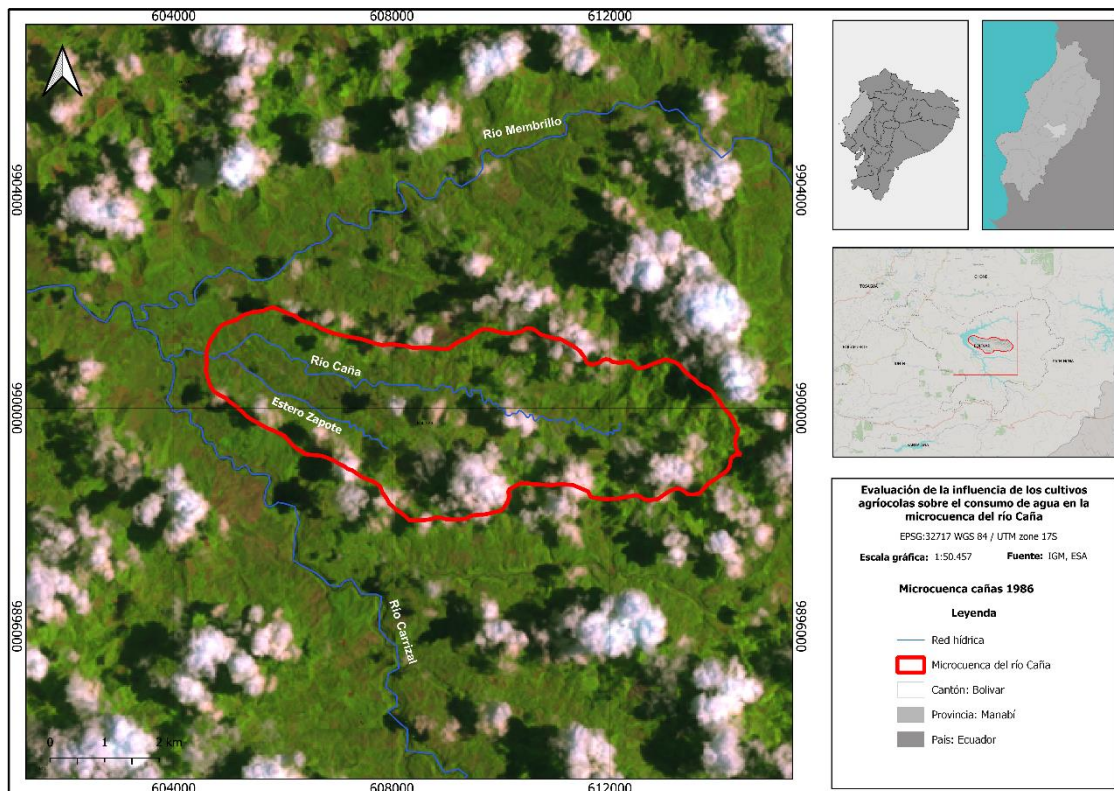


Figura 4. 5 Microcuenca caña, subcuenca del Carrizal

En la figura 4.6 donde se aprecian los afluentes del río Caña y estero Zapote en el año 1986, se observa el lugar donde convergen estos 2 ríos en la altura del sirio Barro que en la actualidad está cubierto por el espejo de agua de la represa La Esperanza, esta microcuenca es aportante a la subcuenca El Carrizal.

Tabla 4. 4 Aportantes hídricos en la microcuenca del río caña

	Río principal	Río secundario	Aportantes
	1	10	22
	1	3	5
<b>Total</b>	<b>2</b>	<b>13</b>	<b>27</b>

La microcuenca Caña tiene una longitud de 9.98 km, los aportantes hídricos de la microcuenca Caña se establecen en 2 ríos principales uno de ellos naciendo en Caña Chica con 3 ríos secundarios y 5 aportantes, el otro río nace en las montañas de Caña Grande con 10 ríos secundarios y 22 aportantes convirtiéndolo en el mayor afluente dentro de la microcuenca. El aporte hídrico de la microcuenca se establece con 40 aportantes en diferentes niveles del relieve de la microcuenca.

### 4.1.3. Aplicación de la herramienta de cálculo de huella hídrica

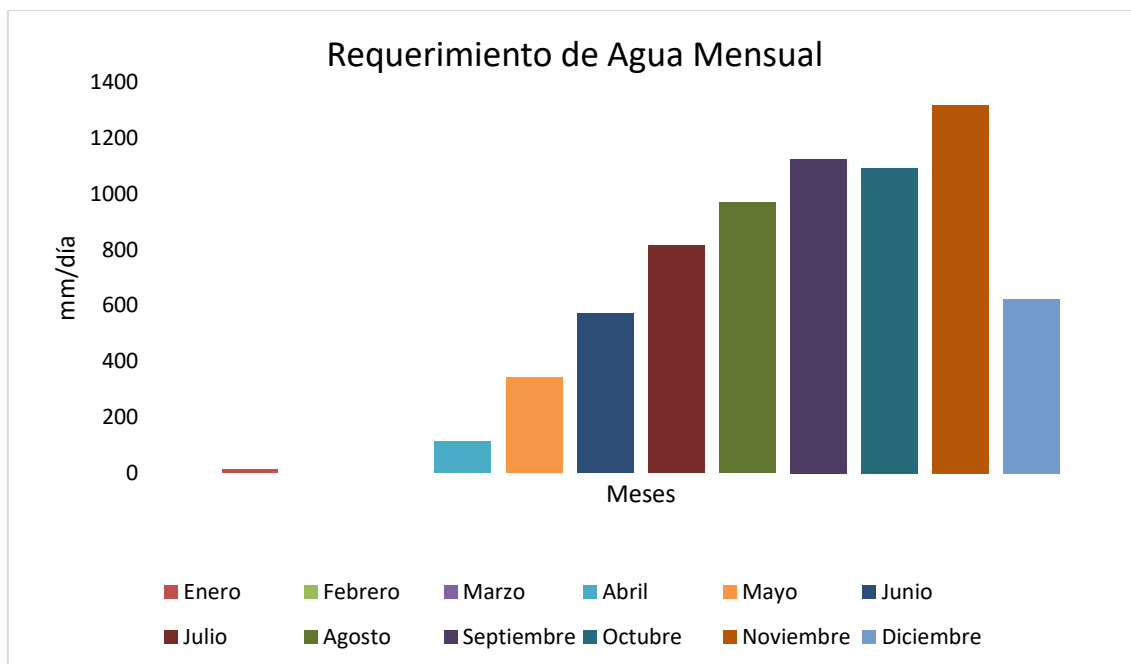
*Tabla 4. 5 Requerimiento de Agua Mensual*

Actividades	Requerimiento de Agua Mensual (mm/día)												Sumatoria
	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	
1. Yuca	0	0	0	0.7	23.2	31.5	9.5	0	0	0	0	0	64.9
2. Plátano	0	0	0	19.9	46.5	82.2	124.3	153.3	158.9	164.8	154.7	9.7	914.3
3. Pasto	0	0	0	2.8	36.1	67.7	93.7	113.1	117.9	123	120.2	65.3	739.8
4. Maracuyá	0	0	0	0	0	0	0	16.4	139	167.4	41.7	0	364.5
5. Maní	0	0	0	4.7	0	0	0	0	0	0	0	4	8.7
6. Maíz	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7. Habas-Frijol	0	0	0	0	0	12.1	65.6	137.7	126.6	10.9	0	0	352.9
8. Cítricos	0	0	0	0	20	54.5	77	87.3	90.4	98.3	98.2	45.5	571.2
9. Café	1.1	0	0	0	0	0	39.2	121.3	133.4	145.9	142.9	85.8	669.6
10. Cacao	0	0	0	16.6	57.2	87.4	101.4	0	0	0	121.4	70.2	454.2
11. Banana	0	0	0	0	5.5	30.5	50.7	59	73.2	91.3	103.6	63.5	477.3
12. Balsa	9.8	0	0	60.8	153	206.2	254.4	282	285.6	291.4	277.7	143.8	1964.7
13. Arroz	0.5	0	0	7.9	0	0	0	0	0	0	258.5	136.2	403.1
<b>TOTAL</b>	11.4	0	0	113.4	341.5	572.1	815.8	970.1	1125	1093	1318.9	624	6985.2

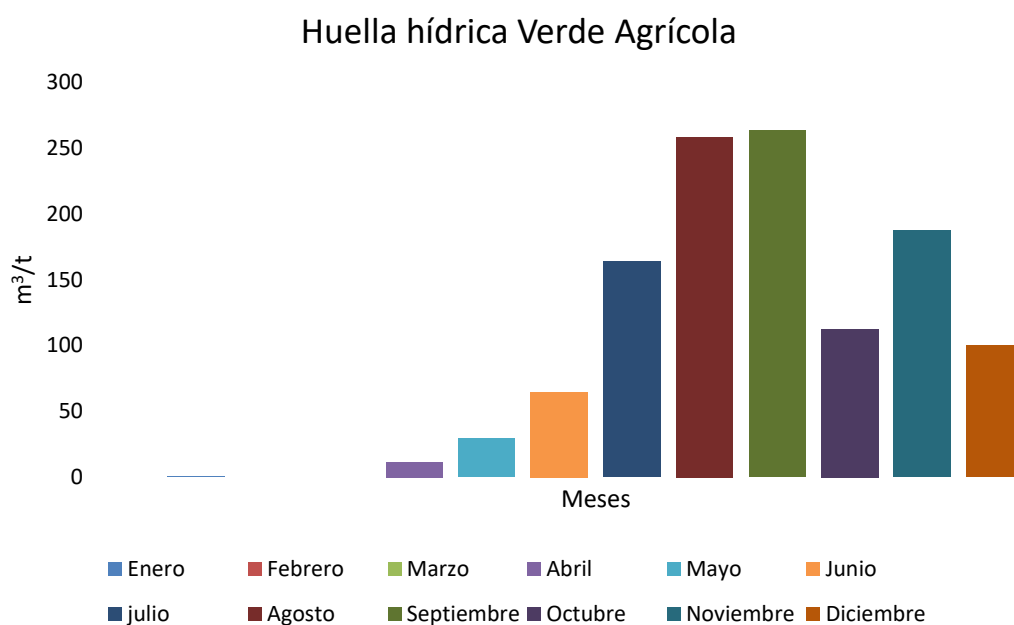
**Tabla 4. 6** Resultados de HH verde por actividad agrícola

Rendimiento t/ha	Actividades	HH Verde (m <sup>3</sup> /t)												Sumatoria
		enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	
21.3	1. Yuca	0	0	0	0.03	1.09	1.48	0.45	0	0	0	0	0	3.05
15	2. Plátano	0	0	0	1.33	3.1	5.48	8.29	10.22	10.59	10.99	10.31	0.65	60.96
30	3. Pasto	0	0	0	0.09	1.2	2.26	3.12	3.77	3.93	4.1	4.01	2.18	24.66
8.6	4. Maracuyá	0	0	0	0	0	0	0	1.91	16.16	19.47	4.85	0	42.39
5	5. Maní	0	0	0	0.94	0	0	0	0	0	0	0	0.8	1.74
7.5	6. Maíz	0	0	0	0.63	0	0	0	0	0	0	0	0.53	1.16
0.72	7. Habas-Frijol	0	0	0	0	0	16.81	91.11	191.25	175.83	15.14	0	0	490.14
38	8. Cítricos	0	0	0	0	0.53	1.43	2.03	2.3	2.38	2.59	2.58	1.2	15.04
2.7	9. Café	0.41	0	0	0	0	0	14.52	44.93	49.41	54.04	52.93	31.78	248.02
2.5	10. Cacao	0	0	0	6.64	22.88	34.96	40.56	0	0	0	48.56	28.08	181.68
15	11. Banana	0	0	0	0	0.37	2.03	3.38	3.93	4.88	6.09	6.91	4.23	31.82
2850	12. Balsa	0	0	0	0.02	0.05	0.07	0.09	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05	0.68
4.5	13. Arroz	0.11	0	0	1.76	0	0	0	0	0	0	57.44	30.27	89.58
	<b>TOTAL</b>	0.52	0	0	11.44	29.22	64.52	163.55	258.41	263.28	112.52	187.69	99.77	1190.92





**Figura 4. 6** Requerimiento de agua mensual



**Figura 4. 7** Resultados de HH Cultivo verde

En la tabla 4.5 y el figura 4.6 los datos de requerimiento de agua por cultivo, obtenidos del software CROTWAP 8.0 (anexo 7), en el primer trimestre del año el requerimiento de agua es un valor casi despreciable por el motivo de que existe mayor precipitación dentro de los primeros meses del año, en los siguientes 8 meses ya se comienza a apreciar que el requerimiento de agua va

en aumento de a 113.4 en abril hasta 1318.9 en noviembre, debido a que las precipitaciones comienzan a disminuir hasta casi volverse nulas, y en el último mes del año el requerimiento comienza a descender debido a que se empieza a ver presencia de precipitación.

En la tabla 4.6 y figura 4.7 se pueden apreciar los resultados de huella hídrica de cultivo verde mensual por actividad agrícola en la microcuenca Caña, los cultivos estudiados permiten conocer los valores de consumo que implica el proceso de producción, los cultivos en el área de estudio poseen una huella hídrica que va desde 0.52 m<sup>3</sup>/t hasta 263.28 m<sup>3</sup>/t, obtenido como huella hídrica verde total un valor de 1190.92 m<sup>3</sup>/t.

Con estos valores como indicadores de huella hídrica en la agricultura, se generan líneas de acción para plantear proyectos futuros donde se establezcan políticas y acciones concretas para garantizar la sostenibilidad del agua y el manejo tecnificado de la producción agrícola de la zona.

#### 4.1.4. Valoración de la sostenibilidad ambiental mediante la determinación de la huella hídrica de la microcuenca Caña

*Tabla 4. 7 Precipitación registrada por las estaciones meteorológicas*

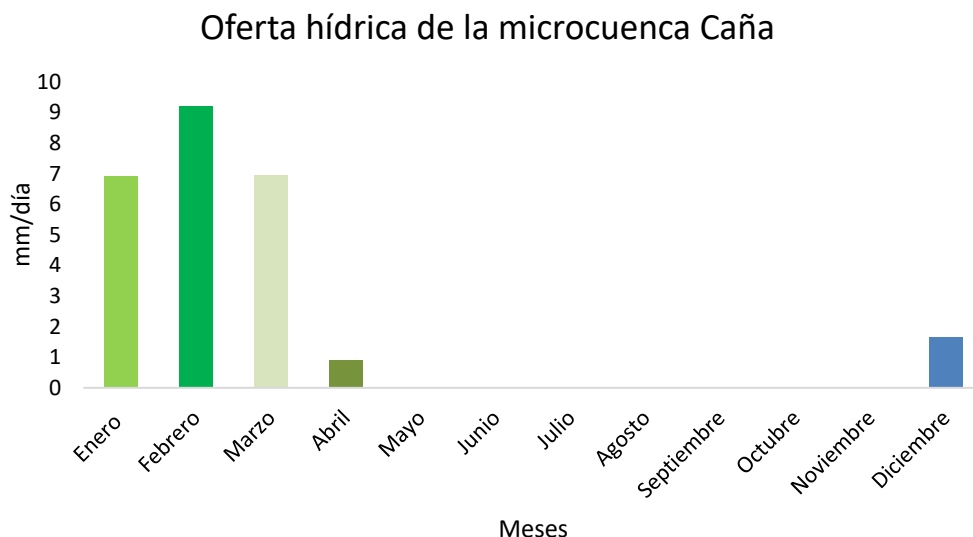
Año	Precipitaciones (mm)				
	2017	2018	2019	2020	2021
Enero	350.70	166.83	182.78	146.60	358.83
Febrero	418.30	401.47	383.65	331.93	288.78
Marzo	441.20	273.70	371.90	186.18	425.68
Abril	302.73	90.17	197.28	162.65	195.78
Mayo	231.33	48.37	141.53	53.60	76.90
Junio	195.33	3.50	51.95	7.43	7.15
Julio	0.17	3.93	10.05	7.23	3.05
Agosto	5.93	0.37	0.85	0.00	3.58
Septiembre	0.87	1.10	2.95	0.03	15.60
Octubre	21.13	1.40	6.25	5.90	5.25
Noviembre	30.70	3.33	8.03	0.00	3.63
Diciembre	162.60	118.83	65.83	47.00	65.44
Sumatoria	2161.00	1113.00	1423.03	948.53	1449.64



**Figura 4. 8** Precipitación registrada por las estaciones meteorológicas

**Tabla 4. 8** Resultados de la oferta hídrica de la microcuenca Caña

Meses	P (mm/mes)	P Prom. (mm/día)	ETo (mm/día)	Ve (mm/día)		
Enero	219	10.31	3.38	6.93		
Febrero	324	12.52	3.32	9.20		
Marzo	304	10.41	3.46	6.95		
Abril	170	4.63	3.74	0.89		
Mayo	100	1.97	3.29	0.00		
Junio	43	0.63	3.05	0.00		
Julio	5	0.17	3.23	0.00		
Agosto	2	0.13	3.72	0.00		
Septiembre	4	0.15	3.99	0.00		
Octubre	7	0.25	3.98	0.00		
Noviembre	8	0.69	4.13	0.00		
Diciembre	84	5.10	3.46	1.64		
Sumatoria	1270	46.96		25.61	256.12	m <sup>3</sup> /ha
		504837.20	m <sup>3</sup>		275324.7	m <sup>3</sup>
Área (ha)	1075					



**Figura 4. 9** Resultados de la oferta hídrica de la microcuenca Caña

En la tabla 4.8 y figura 4.9 se establecen los resultados de precipitación para el año 2017 cuyo valor fue de 2161 mm, para el 2018 fue de 1113 mm, para el 2019 de 1423 mm, para el 2020 de 948.53 mm y para el 2021 de 1449.64 mm y un volumen escurrido de 275324.7 m<sup>3</sup> (tabla 8), como promedio equivalente a los registros de los últimos 5 años de las estaciones meteorológicas de la ESPAM MFL, La Esperanza, Multipropósito Chone y Poza Honda.

Así mismo se reflejan los datos de oferta hídrica siendo los cuatros primeros meses del año los de mayor oferta hídrica, enero con 6.93 mm/día, febrero con 9.20 mm/día, marzo con un registro de 6.95 mm/día y abril con 0.89 mm/día a esto se le suma la oferta hídrica del mes de diciembre con 1.64 mm/día. Cabe mencionar que los demás meses del año la oferta hídrica tiene valores menores a 0 por tal razón los procesos agrícolas en su gran mayoría lo hacen los agricultores en los meses de lluvia, donde se aprovecha las precipitaciones.

#### 4.1.5. Análisis de sostenibilidad huella hídrica

**Tabla 4. 9** Conversión de la huella hídrica verde de m<sup>3</sup>/t a m<sup>3</sup>

Actividades agrícolas	Extensión ha.	Rendimiento t/ha	HH VERDE (m3/t)	Rendimiento (t)	HH verde m3
1. Yuca	7.59	21.3	3.05	161.667	493.08
2. Plátano	14.93	15	60.96	223.95	13651.99
3. Pasto	750.59	30	24.66	22517.7	555286.48
4. Maracuyá	1.69	8.6	42.39	14.534	616.10
5. Maní	6.8	5	1.74	34	59.16

6. Maíz	39.36	7.5	1.16	295.2	342.43
7. Habas-frijol	2.3	0.72	490.14	1.656	811.67
8. Cítricos	40.16	38	15.04	1526.08	22952.24
9. Café	40.63	2.7	248.02	109.701	27208.04
10. Cacao	102.09	2.5	181.68	255.225	46369.28
11. Banana	9.63	15	31.82	144.45	4596.40
12. Balsa	28.29	2850	0.68	80626.5	54826.02
13. Arroz	31.19	4.5	89.58	140.355	12573.00
<b>Total</b>	<b>1075.25</b>		<b>1190.92</b>		<b>739785.90</b>

Huella hídrica verde de las actividades agropecuarias en la microcuenca Caña

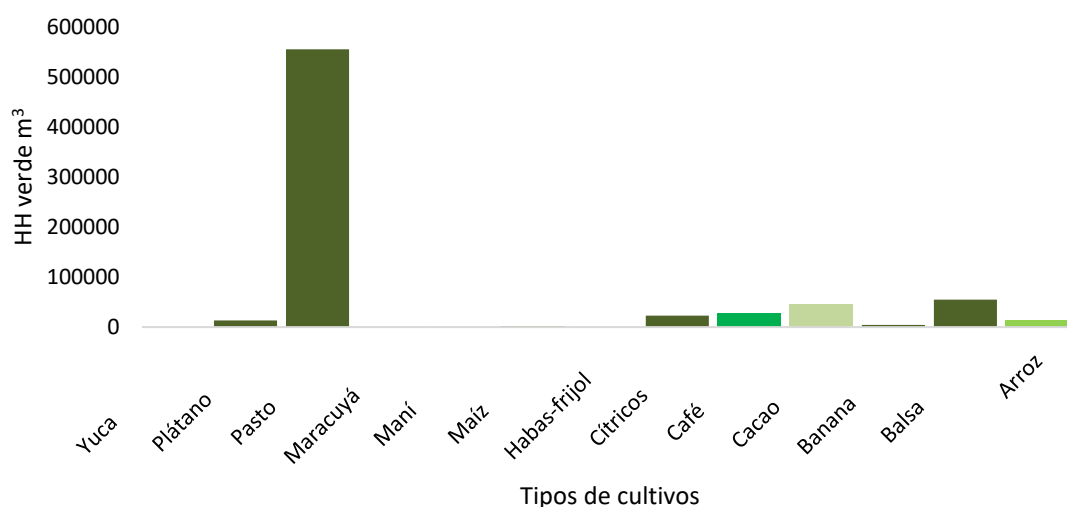


Figura 4. 10 Huella hídrica verde de las actividades agropecuarias

En la tabla 4.9 y figura 4.10 se puede contemplar la huella hídrica verde de las actividades agropecuarias en la microcuenca Caña de los cultivos agrícolas en estudio, el pasto presenta una huella hídrica de 552864.48 m<sup>3</sup>, seguido de la balsa con 548260.296 m<sup>3</sup> y el cacao con 463692.28 m<sup>3</sup>, siendo estos 3 cultivos los de mayor huella hídrica, denotando que los volúmenes de agua consumida a lo largo de la producción agrícola, son significativos con respecto a la disponibilidad natural, todo esto debido a las malas prácticas y la no tecnificación de la agricultura.

$$\text{sostenibilidad HH} = \frac{\Sigma \text{HH verde}}{\text{Disponibilidad Natural}} [2.5]$$

$$\text{sostenibilidad HH} = \frac{739785.90 \text{ m}^3}{275324.7 \text{ m}^3}$$

$$\text{sostenibilidad HH} = 2.69$$

Una vez obtenida la sostenibilidad huella hídrica verde con un valor de 2.69 y comparándolo con la tabla propuesta en la metodología de Hoekstra y colaboradores donde se pondera los impactos ambientales en cuanto a la huella hídrica de la microcuenca, como el valor es  $> 1$ , siendo esto significativo y mostrando el desbalance entre la disponibilidad natural y el consumo en las actividades agrícolas en la microcuenca Caña.

## 4.2. DISCUSIÓN

En la investigación desarrollada en la microcuenca Caña, se parte de la metodología de Hoekstra et ál., (2011), la cual fue adaptada para estimar la huella hídrica de la microcuenca Caña, los resultados de las actividades agrícolas mostraron trece actividades principales, destacando pastizales y cacao con mayor productividad, existiendo 1075.25 ha, las cuales son utilizadas para actividades agrícolas, representadas en un 44.93% de la cobertura y uso de suelo de la microcuenca.

La cobertura de la microcuenca Cañas, está dividida en cuatro sectores de importancia dentro de la misma, siendo la vegetación densa la de mayor representatividad con 11.95 ha equivalente al 50% del uso del suelo, seguido de pasto de cultivo con 7.5 ha equivalente al 31%, vegetación clara con 3.24 ha correspondiente al 14% y por último cuerpo de agua con 1.22 ha que representa el 5%.

Realizando la discusión con la investigación desarrollada por Tolón, Lastra y Fernández (2013). El consumo de agua en los cultivos invernados del Poniente se ha reflejado, con un total de aproximadamente 112 Hm<sup>3</sup>, según el consumo medio de agua de cada cultivo, o de 155 Hm<sup>3</sup>, Este consumo, permiten calcular la HH de la agricultura intensiva del Poniente Almeriense, denotando que los resultados de huella hídrica verde agrícola en la microcuenca cañas es de 739785,90 m<sup>3</sup>, llegando a visualizar una huella hídrica agrícola alta.

También se obtuvo la oferta hídrica, la cual es de 275324.7 m<sup>3</sup> anual. Culminando la investigación con un resultado de sostenibilidad de huella hídrica

de 2.69 en la microcuenca caña, con este valor  $> 1$ , el resultado es significativo el cual muestra el desbalance entre microcuenca Caña.

Sin embargo se debe considerar las condiciones de reguios y las condiciones de la ubicación de la microcuenca, ya que en la zona los agricultores utilizan el agua de los afluentes superficiales para regar los cultivos, ninguno de los productores utiliza agua se los acuíferos subterráneos, también se recalca que esta investigación partió dividiendo la microcuenca en tres zonas alta, media y baja para la cual dentro de la zona la producción agrícola se da en la zona media y alta, por tal motivo los resultados están dados en virtud de las zonas media y alta de la microcuenca Cañas.

En la zona baja existe casi nula actividad agrícola, sin embargo, existe el recurso agua para su producción, dentro del vaso de la represa Sixto Durán Ballén (La Esperanza) cabe mencionar que no se realizó investigación en la zona baja porque no solo la microcuenca Caña es aportante al embalse La Esperanza, ya que en la zona existe 3 microcuencas más de gran importancia y sus descargas la hacen en el embalse.

En la investigación realizada por González K. (2018) sobre la cuantificación de la huella hídrica de la microcuenca del río Sunuba del municipio de Guayatá Boyacá, donde también se usó como base la metodología desarrollada por Hoekstra y la “Guía de lineamientos conceptuales y metodológicos para la evaluación regional del agua ERA – 2013” desarrollado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Colombia IDEAM.

Discutiendo los resultados de la investigación de González con los obtenidos de la microcuenca Caña se observa que el resultado de sostenibilidad de huella hídrica es de 2.69 en la microcuenca Caña, con este valor  $> 1$ , el resultado es significativo el cual muestra un desbalance. Destacando que las dos investigaciones utilizan la misma metodología, pero los resultados son diferentes probablemente por los factores climáticos y geográficos.

# **CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## **5.1. CONCLUSIONES**

La microcuenca Caña tiene una extensión de 23.93 km<sup>2</sup> equivalente a 2393 ha de las cuales 1075.25 ha son utilizadas para actividades agrícolas entre ellas (yuca, plátano, pasto, maracuyá, maní, maíz, habas-frijoles, cítricos, café, cacao, banano, balsa, arroz) representando un 44.93% de la cobertura y uso de suelo, el restante que es 50.07% corresponde a bosque y cuerpo de agua con 5%, siendo el bosque el de mayor extensión con 1195.2 ha, los pastizales han ganado territorio desplazando superficie de bosques, las cuales son utilizadas en el cultivo de pasto para alimentos de ganado vacuno y equino siendo este un contribuyente directo a la pérdida de especies vegetales.

El resultado de la huella hídrica verde agrícola en la microcuenca Caña fue de 739785.90 m<sup>3</sup>, considerando que existe un alto consumo de agua en comparación a la oferta hídrica que es de 275324.7 m<sup>3</sup>, denotando así que existe un desbalance hídrico en la zona.

El valor de la sostenibilidad de la huella hídrica verde fue de 2.69, ponderándose en la escala de impactos ambientales significativos, puesto que el valor es > 1, evidenciando que la microcuenca Caña se encuentra en un desbalance hídrico.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

Desarrollar estrategias de producción agrícola, con la finalidad de mejorar los mecanismos y tecnologías en las actividades agroproductivas, encabezado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería, donde se destaque la asociación y rotación de cultivos con el objetivo de garantizar la sostenibilidad y productividad de los suelos.

Establecer programas por parte de Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica en conjunto con la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, con la finalidad del cuidado y protección de los recursos hídricos y sostenibilidad de las microcuencas dentro del cantón,



ampliando los conocimientos en los agricultores para el uso del recurso agua, con técnicas adecuadas para el riego y consumo en actividades agrícolas.

Sociabilizar los resultados de esta investigación y capacitar a los habitantes de la microcuenca Caña, en temas de protección ambiental y cuidado de los recursos naturales por parte de los programas de vinculación de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, con la finalidad de proteger el recurso agua en las microcuencas y subcuencas dentro del cantón.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abio, G. (26 de febrero de 2019). ¿Qué es una estación meteorológica? Obtenido de Meteo Marketing: <https://estaciondemeteorologia.com/que-es-una-estacion-meteorologica/>
- Alaña, T., Capa, L. y Sotomayor, J. (2017). Desarrollo sostenible y evolución de la legislación ambiental en las Mipymes del Ecuador. *Universidad y Sociedad*, 9(1).
- Álvarez, A., Morábito, J. y Schilardi, C. (2016). Huellas hídricas verde y azul del cultivo de maíz (*Zea mays*) en provincias del centro y noreste argentino. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 48(1), 161-177.
- Alzate, D. (4 de Julio de 2013). Instalación de estaciones meteorológicas. Obtenido de [es.slideshare.net: https://es.slideshare.net/danagirando/instalacin-de-estacines-meteorolgicas-diego-f-alzate#:~:text=Los%20valores%20meteorol%C3%B3gicos%20se%20en%20un%20punto%20de%20distancia%20m%C3%A1xima%20de%20100%20metros.](https://es.slideshare.net/danagirando/instalacin-de-estacines-meteorolgicas-diego-f-alzate#:~:text=Los%20valores%20meteorol%C3%B3gicos%20se%20en%20un%20punto%20de%20distancia%20m%C3%A1xima%20de%20100%20metros.)
- Asamblea Nacional Constituyente del Ecuador (20 de octubre del 2008) Constitución de la república del Ecuador. Art. 14
- Asociación Española de Normalización y Certificación [AENOR-Ecuador] (18 de 03 de 2015). Huella hídrica. Obtenido de <https://www.aenorecuador.com/certificacion/medio-ambiente/huella-hidrica>
- Barreto, A. (2012). El progreso de la Estadística y su utilidad en la evaluación del desarrollo. *Papeles de población*, 18(73)
- Bernal, C. 2010. Metodología de la Investigación. Tercera edición Colombia 320p, Consultado el 03 de Feb. 2021. Formato PDF. Disponible en: [http://www.academia.edu/7058761/10022014Metodologia\\_de\\_la\\_Investigacion\\_3edi\\_Bernal](http://www.academia.edu/7058761/10022014Metodologia_de_la_Investigacion_3edi_Bernal)
- Bermejo, E. (5 de mayo de 2014). [geoinnova.org](https://geoinnova.org). Obtenido de <https://geoinnova.org/blog-territorio/que-es-la-tecnologia-arccgis/>

- Blanco, F. y De La Torre. (2015). Los recursos hídricos en el mundo: cuantificación y distribución. Dialnet, 21-69.
- Borrero, C. y Mendoza, I. (2017). Zonificación para Captación de CO<sup>2</sup> en Bosques Mediante Uso De S.I.G. como Aporte para la Sostenibilidad Ambiental de la Microcuenca Caña. Calceta-Ecuador: Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí.
- Brown, O., Gallardo, Y., Williams, P. y Torres, Y. (2016). Caudal ecológico del río Chambas en la provincia Ciego de Ávila. Ingeniería Hidráulica y Ambiental.
- Caballero, A. (18 de diciembre de 2018). ¿Qué es la huella hídrica y por qué es importante? Obtenido de <https://planetainteligente.elmundo.es/https://planetainteligente.elmundo.es/2019/eco/que-es-la-huella-hidrica-y-por-que-es-importante.html>
- Cadena, P., Rendón, R., Aguilar, J., Salinas, E., de la Cruz, F. y Sangerman, D. (2017). Métodos cuantitativos, métodos cualitativos o su combinación en la investigación: un acercamiento en las ciencias sociales. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas., 8(7), 1603-1617.
- Canga, J. (31 de marzo de 2016). iagua.es. Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/jose-luis-canga/claves-calcular-huella-hidrica-producto-industrial>
- Cedeño, H. (2020). Calidad de la descarga de aguas servidas de las lagunas de tratamiento de aguas residuales al río Carrizal. Polo del Conocimiento, 232-256.
- Chavarría, F., Gamboa, R., Rodríguez, J., Chinchilla, D. y Herra, A. (2020). Medición de la huella hídrica azul de la Universidad Nacional en Costa Rica, del 2012 al 2016. Uniciencia, 34(1).
- Metodologías para la Estimación del Coeficiente de Escorrentía en Áreas Urbanizadas Mediante Teledetección Eugenia Chiarito; Erik Zimmermann y Soledad Méndez Zacarías. Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario, Rosario, Santa Fe, Argentina. CONICET Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Argentina. Revista Cuadernos del CURIHAM. Vol. 24. Año 2018. Páginas 25 a 36.

- Coela, R. y Tarqui, M. (2017). Evaluación de la demanda de los recursos hídricos en el riego tradicional de la cuenca Azanaques. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 19-30.
- Conte, M. y D'Elia, V. (2017). Desarrollo sostenible y conceptos "verdes". *Problemas del Desarrollo*, 61-84.
- Cortés, H. y Peña, J. (2015). De la sostenibilidad a la sustentabilidad. Modelo de desarrollo sustentable para su implementación en políticas y proyectos. *Revista Escuela de Administración de Negocios*, 40-54.
- Correa, F., Urrutia, J. y Figueroa, R. (2011). Estado del conocimiento y principales amenazas de los humedales boscosos de agua dulce de Chile. *Revista chilena de historia natural*, 325-340.
- Delgado, S., Trujillo, J. y Torres, M. (2013). La huella hídrica como una estrategia de educación ambiental enfocada a la gestión del recurso hídrico: ejercicio con comunidades rurales de Villavicencio. *Revista Luna Azul*, (36), 70-77.
- Desarrollo metodológico y aplicación al Centro Universitario de Los Altos [CUALTOS] (2017). Cálculo de huella hídrica. Desarrollo metodológico y aplicación al Centro Universitario de Los Altos (CUALTOS) de la Universidad de Guadalajara. Guadalajara: Guadalajara.
- Del Toro, F., Kretschmar, T. y Hinojosa, A. (2014). Estimación del balance hídrico en una cuenca semiárida, El Mogor, Baja California, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, V (6), 68-81.
- Dixon, J. y Pagiola, S. (1998). *Análisis Económico y Evaluación Ambiental. Environmental Assessment Sourcebook*.
- Dorronsor, C. (2007). Edafología y química agrícola. Obtenido de: <http://edafologia.ugr.es/conta/tema10/import.htm>
- El Telégrafo. (16 de junio de 2014). La huella hídrica. El Telégrafo. Eliseo, R. (30 de 06 de 2009). Técnicas de investigación de campo. Obtenido de <http://niveldostic.blogspot.com/>:  
<http://niveldostic.blogspot.com/2009/06/metodo-analitico-sintetico.html>

EUROCLIMA - IICA. (2017). Evaluación de la huella hídrica en cuencas hidrográficas: experiencias piloto en Latinoamérica. Costa Rica: Imprenta del IICA.

EsAgua. (2009). esagua.es. Obtenido de <http://www.esagua.es/metodologia-de-calculo/>

ENCOLOMBIA. (2020). encolombia.com. Obtenido de <https://encolombia.com/educacion-cultura/geografia-universal/fuentes-agua-dulce-mundo/>

Fernández, I., García, J., González, R., Camacho, E., Rodríguez, J. y Montesinos, P. (2015). La huella hídrica de los productos agrícolas como herramienta de gestión del agua de riego. EsAgua campus, 57-72

Flores, H. (2009). Monitoreo ambiental de la microcuenca del río Vascún para la identificación del impacto ambiental. Ambato.

García, T. y François, J. (2008). Comparación de metodologías para el mapeo de la cobertura y uso del suelo en el sureste de México. Investigaciones geográficas.

GisandBeers. (17 de octubre de 2017). gisandbeers.com. Obtenido de <http://www.gisandbeers.com/envi-procesado-imagenes-satelite/>

Guerrero, M. (2016). Gestión ambiental de la microcuenca del río Margarita, cantón el Guabo, provincia El Oro. Guayaquil.

Hernández, A. y Picón, J. (2013). Huella hídrica en tierras secas: el caso del turismo de sol y playa en Guanacaste (Costa Rica). Ciencias Ambientales, 41-50.

Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldaya, M. y Mekonnen, M. (2011). The Water Footprint Assessment Manual. Febrero 2011. <https://doi.org/978-1-84971-279-8>

IAgua. (06 de mayo de 2016). iagua.es. Obtenido de <https://www.iagua.es/noticias/espana/aquafides/16/04/28/que-es-huella-hidricapara-que-sirve>.

- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA]. (2014). El agua de América Latina y el Caribe es vital para la alimentación del mundo. San José, Costa Rica
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC] (2011). Datos Estadísticos Agropecuarios. Quito, Ecuador.
- Izquierdo, M. y Madroñero, S. (2014). Régimen de caudal ecológico, herramienta de gestión para conservar la biota acuática. Ciencia E Ingeniería Neogranadina, 77-94.
- Lala, H. (2017). Análisis de la sostenibilidad de la producción de agua en la microcuenca del río pita mediante la determinación de la huella hídrica y disponibilidad de agua. Sangolquí: ESPE.
- Liria, J. (2008). Sistemas de información geográfica y análisis espaciales: un método combinado para realizar estudios panbiogeográficos. Revista mexicana de biodiversidad, 79(1).
- Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador [MAG] (2020). Plan Estratégico Institucional 2017-2021. Quito-Ecuador.
- Manrique, F., Manrique, D., Manrique, R. y Tejedor, M. (2007). Contaminación de la cuenca alta del río Chicamocha y algunas aproximaciones sobre la salud humana. Salud. hist. sanid. Online, 3-13.
- Martínez, R. (2007). Algunos aspectos de la Huella Ecológica. Revista de las Sedes Regionales, VIII (14), 11-25.
- Martínez, R. (2008). Educación y huella ecológica. Revista Electrónica "Actualidades Investigativas en Educación", 8(1), 1-28.
- Mendoza, M., García, K., Salazar, R. y Vivanco, I. (2019). La Economía de Manabí (Ecuador) entre las sequías y las inundaciones. Espacios, 40(16), 10.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG] (09 de septiembre de 2019). Agricultura, la base de la economía y la alimentación <https://www.agricultura.gob.ec/agricultura-la-base-de-la-economia-y-la->

alimentacion/#:~:text=En%20Ecuador%2C%20este%20sector%20aporta ,la%20pobreza%20en%20el%20campo.

Molden D. (2007). Agua para la Alimentación, Agua para la Vida. EE.UU.: Londres: Earthscan y Colombo: Instituto Internacional del agua.

Novoa, V., Rojas, O., Arumí, J., Ulloa, C., Urrutia, R. y Rudolph, A. (2016). Variabilidad de la huella hídrica del cultivo de cereales, río Cachapoal, Chile. Tecnología y Ciencias del Agua, VII (2), 35-50.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (16 de 02 de 2018). Importancia de la Agricultura. Obtenido de <https://www.fao.org/3/a0493s/a0493s02.htm>

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO] (2006). El Agua: una responsabilidad compartida, 2º informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo, resumen ejecutivo. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.

Parada, G. (2012). El agua virtual: conceptos e implicaciones. Orinoquia, 16(1), 69-76.

Pérez, M., Espinoza, C. y Peralta, B. (2016). La responsabilidad social empresarial y su enfoque ambiental: una visión sostenible a futuro. Universidad y Sociedad.

Pinzón, M. (2012). La sostenibilidad ambiental regional: una propuesta metodológica para su estudio más allá de la ecología urbana. Luna Azul (34).

Puentestar, W. (2015). La problemática ambiental y el deterioro de los recursos naturales en el ecuador. Una perspectiva desde la geografía. Guayaquil: Pontificia Universidad Católica Del Ecuador.

Rekalde, I., Vizcarra, M. y Macazaga, A. (2014). La Observación Como Estrategia De Investigación Para Construir Contextos De Aprendizaje Y Fomentar Procesos Participativos. Educación XX1, 17(1), 201-220

- Ríos, M., Castro, R., Torres, M. y Ruiz, J. (2015). Determinación de la huella hídrica azul en los cultivos forrajeros del DR-017, Comarca Lagunera, México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 47(1), 93-107.
- Sandoval, W. y Aguilera, E. (2014). Determinación de Caudales en cuencas con poca información Hidrológica. *Ciencia UNEMI*, 100 - 110.
- Significados. (23 de noviembre de 2021). Significados.com. Obtenido de <https://www.significados.com/agricola/>
- Silva, M. y Correa, J. (2009). Análisis de la contaminación del suelo: revisión de la normativa y posibilidades de la regulación económica. *Semestre Económico*, 13-34.
- Sistema de Observación de la Tierra [EOS] (2013). eos.com. Obtenido de <https://eos.com/es/find-satellite/landsat-8/>
- Tovar, N., Trujillo, J., Muñoz, S. T. y Zárate, E. (2017). Evaluación de la sostenibilidad de los cultivos de arroz y palma de aceite en la cuenca del río Guayuriba (Meta, Colombia), a través de la evaluación de huella hídrica. *Orinoquia*, 21(1), 52-63.
- Unknown. (04 de noviembre de 2014). eomaticaysig.blogspot.com. Obtenido de <https://geomaticaysig.blogspot.com/2014/11/la-constelacion-rapideye.html>
- USGS. (2022) Servicio Geológico de Estados Unidos. Imagen Satelital Landsat 5 del servidor de la USGS, combinación de bandas 543 para poder observar los cuerpos de agua. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Villacrés, C. (2010). Estudio de la Evaluación de la Red Hidrometeorológica en la Región Nor-Oriental del Ecuador y Propuesta de su Optimización como Parte de la Red Hidrometeorológica Básica del Ecuador. Quito-Ecuador: Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiente.
- Zambrano, M., Montenegro, J. y Reyes, H. (2018). Estimación de la huella hídrica asociada al proceso de beneficio bovino de la cadena cárnica en los frigoríficos Vijagual y Jongovito (Colombia). *Med Vet Zoot*, 235-251.



## **ANEXOS**

## Anexo 1 Actividades agrícolas y producción

Actividad agrícola	Clasificación del cultivo	Ciclo	Consumo de agua para producción por hectárea (m <sup>3</sup> / ha.)	Producción t./ha.
Arroz	Cereales	Corto	7.650	4,5
Maíz duro seco	Cereales	Corto	3002	7,5
Maní	Legumbre	Corto	500	5
Yuca	Tubérculo	Largo	1800	21,3
Banano	Frutales		1.350	15
Cacao	Cultivos tropicales tradicionales	Largo	1000	2,5
Café	Cultivos tropicales tradicionales	Largo	7386,5	2,7
Plátano	Frutales	Corto	2520	15
Pasto	Pasto		6400	30
Balsa	Forestales-Maderable	Largo	7630	2850
Maracuyá	Frutales	Corto	1.50	8.6
naranja, mandarina y toronja	Cítricos	Largo	7900	38
Haba, frijol, habichuelas	Legumbre	Corto	2400	0.72

Fuente: MAG (2022), cantón Bolívar, Manabí

## Anexo 2 Datos de precipitación en mm del período 2017 al 2021

Esperanza	2017	2018	2019	2020	2021
Enero	441.9	374.7	215.00	163.1	351.5
Febrero	233.6	487.8	433.1	409.8	314.1
Marzo	148.3	374.7	311.2	25.2	475.8
Abril	33.8	125.9	114.7	206.5	213.4
Mayo	0,1	45.1	105.7	46.9	97.7
Junio	4.5	3.5	79.5	3.3	3.8
Julio	0.3	6.8	7.9	7.9	2.8
Agosto	13.2	0.1	3.3	0	2.5
Septiembre	0.9	3.1	10	0	7.8
Octubre	26.5	0.2	2.4	1,9	7.2
Noviembre	92.1	6.2	4.6	0	0.7
Diciembre	487.8	116.3	79.1	27.6	54.04
<b>TOTAL</b>	<b>123.58</b>	<b>128.7</b>	<b>113.88</b>	<b>93.25</b>	<b>127.61</b>

Poza Honda	2017	2018	2019	2020	2021
Enero	241.8	53.9	168.2	228.8	380
Febrero	448.3	346.3	462.8	381.2	378.3
Marzo	563.2	284.6	460.5	201.2	331.7
Abril	325.9	79.8	475.3	200.4	278.3
Mayo	85.1	72.1	287.2	73	60.1
Junio	48.3	5.7	20	14.9	3.6
Julio	0.2	2.1	14	5.3	0.7
Agosto	4.6	1	0	0	7.7
Septiembre	1.7	0	0.6	0	20.4
Octubre	36.9	0	18.2	0.4	5.4
Noviembre	0	1.1	14.9	0	4.8

Diciembre	0	165.4	71.8	44.2	50.5
<b>TOTAL</b>	146.33	84.33	166.13	95.78	126.79

ESPAM	2017	2018	2019	2020	2021
Enero	368.4	71.9	199.9	80.5	296.9
Febrero	573	370.3	299.7	238	169
Marzo	612.1	161.8	298.9	110.6	500.9
Abril	548.5	64.8	75.1	100.6	79
Mayo	608.8	27.9	94.2	30.6	32
Junio	533.2	1.3	43.3	4.7	9.6
Julio	0	2.9	16.3	8.8	2.2
Agosto	0	0	0.1	0	1.3
Septiembre	0	0.2	1.2	0.1	8.6
Octubre	0	4	0.2	9.1	6.5
Noviembre	0	2.7	6.6	0	0.3
Diciembre	0	74.8	44.4	46.2	38.8
<b>TOTAL</b>	270.33	65.22	89.99	52.43	95.43

Multipropósito Chone	2017	2018	2019	2020	2021
Enero	0	75	148	114	406.9
Febrero	0	0	339	298.7	293.7
Marzo	0	0	417	180.9	394.3
Abril	0	0	124	143.1	212.4
Mayo	0	75	79	63.9	117.8
Junio	0	2	65	6.8	11.6
Julio	0	3	2	6.9	6.5
Agosto	0	1	0	0	2.8
Septiembre	0	0	0	0	25.6
Octubre	0	1	4.2	12.2	1.9
Noviembre	0	3	6	0	8.7
Diciembre	0	119	68	70	118.4
<b>TOTAL</b>	0	23.25	104.35	74.71	133.38

### Anexo 3 Cálculo de evapotranspiración

Mes	Temp Min	Temp Máx	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ETo
	°C	°C	%	m/s	%	MJ/m <sup>2</sup> /día	mm/día
Enero	21.7	30.8	83	4.7	10	10.9	3.38
Febrero	22.3	31.2	86	4.8	13	11.9	3.32
Marzo	23.1	31.5	85	4.7	14	12.1	3.46

<b>Abril</b>	21.8	32.3	83	4.5	18	12.5	3.74
<b>Mayo</b>	21.8	31.0	84	4.7	11	10.5	3.29
<b>Junio</b>	21.0	29.7	84	4.7	8	9.7	3.05
<b>Julio</b>	20.0	29.8	83	5.0	10	10.1	3.23
<b>Agosto</b>	19.9	30.9	82	5.7	14	11.4	3.72
<b>Septiembre</b>	21.2	31.0	81	6.3	14	11.9	3.99
<b>Octubre</b>	20.5	31.0	81	6.1	13	11.8	3.98
<b>Noviembre</b>	20.5	30.9	79	6.2	13	11.5	4.13
<b>Diciembre</b>	20.6	30.5	82	5.0	9	10.6	3.46
<b>Promedio</b>	21.2	30.9	83	5.2	12	11.3	3.56

**Nota:** Un milímetro por día es igual a 10m<sup>3</sup> por día en un área de una hectárea.

#### Anexo 4 Módulo de precipitación CROPWAT 8.0

	<b>Precipit.</b>	<b>Prec. efec</b>
	<b>mm</b>	<b>mm</b>
<b>Enero</b>	219.0	151.2
<b>Febrero</b>	324.0	235.2
<b>Marzo</b>	304.0	219.2
<b>Abril</b>	170.0	112.0
<b>Mayo</b>	100.0	56.0
<b>Junio</b>	43.0	15.8
<b>Julio</b>	5.0	0.0
<b>Agosto</b>	2.0	0.0
<b>Septiembre</b>	4.0	0.0
<b>Octubre</b>	7.0	0.0
<b>Noviembre</b>	8.0	0.0
<b>Diciembre</b>	84.0	43.2
<b>Total</b>	1270.0	832.6

#### Anexo 5 Módulo de cultivo CROPWAT 8.0

<b>Nombre del Cul.</b>	Yuca	<b>Siembra</b>	12-dic	<b>Cosecha</b>	09-jul
<b>Kc</b>	0.3		0.8	0.3	
<b>Etapas</b>	<b>Inicial</b>	<b>Desarrollo</b>	<b>Media</b>	<b>Fin de temporada</b>	<b>Total</b>
<b>Días</b>	20	40	90	60	210

<b>Profundidad Radicular</b>	0.22		1.2		
<b>Agotamiento crítico fracción</b>	<b>Inicial</b>	<b>Siembra</b>	<b>Cosecha</b>		
	0.55	0.45	0.45		
<b>F. Respuesta de rendimiento</b>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
<b>Altura del cultivo</b>		1.00			

<b>Nombre del Cul.</b>	Platano	<b>Siembra</b>	08-abr	<b>Cosecha</b>	03-dic
<b>Kc</b>	1.00		1.20	1.10	
<b>Etapas</b>	<b>Inicial</b>	<b>Desarrollo</b>	<b>Media</b>	<b>Fin de temporada</b>	<b>Total</b>
<b>Días</b>	60	60	75	45	240
<b>Profundidad Radicular</b>	0.90		0.90		
<b>Agotamiento crítico fracción</b>	<b>Inicial</b>	<b>Siembra</b>	<b>Cosecha</b>		
	0.55	0.45	0.45		
<b>F. Respuesta de rendimiento</b>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
<b>Altura del cultivo</b>		4.00			

<b>Nombre del Cul.</b>	Pasto	<b>Siembra</b>	07-feb	<b>Cosecha</b>	06-feb
<b>Kc</b>	0.90		0.95	0.95	
<b>Etapas</b>	<b>Inicial</b>	<b>Desarrollo</b>	<b>Media</b>	<b>Fin de temporada</b>	<b>Total</b>
<b>Días</b>	150	40	130	45	365
<b>Profundidad Radicular</b>	0.50		0.50		
<b>Agotamiento crítico fracción</b>	<b>Inicial</b>	<b>Siembra</b>	<b>Cosecha</b>		
	0.40	0.40	0.40		
<b>F. Respuesta de rendimiento</b>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
<b>Altura del cultivo</b>		0.10			

<b>Nombre del Cul.</b>	Maracuyá	<b>Siembra</b>	28-ago	<b>Cosecha</b>	10-nov
<b>Kc</b>	1.05		120.00	0.75	
<b>Etapas</b>	<b>Inicial</b>	<b>Desarrollo</b>	<b>Media</b>	<b>Fin de temporada</b>	<b>Total</b>
<b>Días</b>	10	30	25	10	75

<b>Profundidad Radicular</b>	0.15		0.45		
<b>Agotamiento crítico fracción</b>	<b>Inicial</b>	<b>Siembra</b>	<b>Cosecha</b>		
	0.55	0.45	0.45		
<b>F. Respuesta de rendimiento</b>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
<b>Altura del cultivo</b>		5.00			

<b>Nombre del Cul.</b>	Maní	<b>Siembra</b>	14-dic	<b>Cosecha</b>	22-abr
<b>Kc</b>	0.40		1.15	0.60	
<b>Etapas</b>	<b>Inicial</b>	<b>Desarrollo</b>	<b>Media</b>	<b>Fin de temporada</b>	<b>Total</b>
<b>Días</b>	25	35	45	25	130
<b>Profundidad Radicular</b>	0.30		0.80		
<b>Agotamiento crítico fracción</b>	<b>Inicial</b>	<b>Siembra</b>	<b>Cosecha</b>		
	0.45	0.45	0.50		
<b>F. Respuesta de rendimiento</b>	0.20	0.80	0.60	0.20	0.70
<b>Altura del cultivo</b>		0.40			

<b>Nombre del Cul.</b>	Maíz	<b>Siembra</b>	16-dic	<b>Cosecha</b>	19-abr
<b>Kc</b>	0.30		1.20	0.35	
<b>Etapas</b>	<b>Inicial</b>	<b>Desarrollo</b>	<b>Media</b>	<b>Fin de temporada</b>	<b>Total</b>
<b>Días</b>	20	35	40	30	125
<b>Profundidad Radicular</b>	0.30		1.00		
<b>Agotamiento crítico fracción</b>	<b>Inicial</b>	<b>Siembra</b>	<b>Cosecha</b>		
	0.55	0.55	0.80		
<b>F. Respuesta de rendimiento</b>	0.20	0.80	0.60	0.20	0.70
<b>Altura del cultivo</b>		0.40			

<b>Nombre del Cul.</b>	Habas y Frijoles	<b>Siembra</b>	19-jun	<b>Cosecha</b>	06-oct
<b>Kc</b>	0.40		1.15	0.35	
<b>Etapas</b>	<b>Inicial</b>	<b>Desarrollo</b>	<b>Media</b>	<b>Fin de temporada</b>	<b>Total</b>
<b>Días</b>	20	30	40	20	110

<b>Profundidad Radicular</b>	0.30		0.90		
<b>Agotamiento crítico fracción</b>	<b>Inicial</b>	<b>Siembra</b>	<b>Cosecha</b>		
	0.45	0.45	0.60		
<b>F. Respuesta de rendimiento</b>	0.20	0.60	1.00	0.20	1.15
<b>Altura del cultivo</b>		0.40			

<b>Nombre del Cul.</b>	Cítricos	<b>Siembra</b>	15-ene	<b>Cosecha</b>	14-ene
<b>Kc</b>	0.70		0.65	0.70	
<b>Etapas</b>	<b>Inicial</b>	<b>Desarrollo</b>	<b>Media</b>	<b>Fin de temporada</b>	<b>Total</b>
<b>Días</b>	60	90	120	95	365
<b>Profundidad Radicular</b>	1.40		1.40		
<b>Agotamiento crítico fracción</b>	<b>Inicial</b>	<b>Siembra</b>	<b>Cosecha</b>		
	0.45	0.45	0.60		
<b>F. Respuesta de rendimiento</b>	0.20	0.60	1.00	0.20	1.15
<b>Altura del cultivo</b>		0.40			

<b>Nombre del Cul.</b>	Café	<b>Siembra</b>	21-jul	<b>Cosecha</b>	17-mar
<b>Kc</b>	1.05		1.10	1.10	
<b>Etapas</b>	<b>Inicial</b>	<b>Desarrollo</b>	<b>Media</b>	<b>Fin de temporada</b>	<b>Total</b>
<b>Días</b>	30	50	130	30	240
<b>Profundidad Radicular</b>	0.25		0.60		
<b>Agotamiento crítico fracción</b>	<b>Inicial</b>	<b>Siembra</b>	<b>Cosecha</b>		
	0.55	0.45	0.45		
<b>F. Respuesta de rendimiento</b>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
<b>Altura del cultivo</b>		2.00			

<b>Nombre del Cul.</b>	Cacao	<b>Siembra</b>	05-feb	<b>Cosecha</b>	01-nov
<b>Kc</b>	1.00		1.05	1.05	
<b>Etapas</b>	<b>Inicial</b>	<b>Desarrollo</b>	<b>Media</b>	<b>Fin de temporada</b>	<b>Total</b>
<b>Días</b>	20	70	120	60	270
<b>Profundidad Radicular</b>	0.30		1.50		
<b>Agotamiento crítico fracción</b>	<b>Inicial</b>	<b>Siembra</b>	<b>Cosecha</b>		
	0.55	0.45	0.45		

<b>F. Respuesta de rendimiento</b>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
<b>Altura del cultivo</b>	3.00				

<b>Nombre del Cul.</b>	Banano	<b>Siembra</b>	20-may	<b>Cosecha</b>	14-abr
<b>Kc</b>	0.50		1.10	1.00	
<b>Etapas</b>	<b>Inicial</b>	<b>Desarrollo</b>	<b>Media</b>	<b>Fin de temporada</b>	<b>Total</b>
<b>Días</b>	90	165	45	30	330
<b>Profundidad Radicular</b>	0.30		0.90		
<b>Agotamiento crítico fracción</b>	<b>Inicial</b>	<b>Siembra</b>	<b>Cosecha</b>		
	0.55	0.45	0.45		
<b>F. Respuesta de rendimiento</b>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
<b>Altura del cultivo</b>	3.00				

<b>Nombre del Cul.</b>	Balsa	<b>Siembra</b>	09-ene	<b>Cosecha</b>	29-dic
<b>Kc</b>	1.00		1.20	1.00	
<b>Etapas</b>	<b>Inicial</b>	<b>Desarrollo</b>	<b>Media</b>	<b>Fin de temporada</b>	<b>Total</b>
<b>Días</b>	35	145	330	210	720
<b>Profundidad Radicular</b>	0.30		2.00		
<b>Agotamiento crítico fracción</b>	<b>Inicial</b>	<b>Siembra</b>	<b>Cosecha</b>		
	0.55	0.45	0.45		
<b>F. Respuesta de rendimiento</b>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
<b>Altura del cultivo</b>	4.00				

<b>Nombre del Cul.</b>	Arroz	<b>Siembra</b>	04-dic	<b>Cosecha</b>	02-abr
<b>Kc Seco</b>	0.7	0.3	0.50	1.05	0.7
<b>Kc húmedo</b>	1.20	1.05	1.10	1.20	1.05
<b>Etapas</b>	<b>Inicial</b>	<b>Desarrollo</b>	<b>Media</b>	<b>Fin de temporada</b>	<b>Total</b>
<b>Días</b>	10	50	55	35	150
<b>Profundidad Radicular</b>	0.10		0.60		
<b>Agotamiento crítico fracción</b>	<b>Inicial</b>	<b>Siembra</b>	<b>Cosecha</b>		
	20	20	20.00	20	
<b>F. Respuesta de rendimiento</b>	1.00	1.09	1.32	0.50	1.10
<b>Altura del cultivo</b>	1.00				



## Anexo 6 Módulo suelo CROPWAT 8.0

Nombre del Suelo	Suelo Arcilloso	
<b>Datos generales</b>		
Humedad de suelo disponible total (CC-PMP)	200	mm/m
Tasa máxima de infiltración de la precipitación	30	mm/día
Profundidad radicular máxima	12	cm
Agotamiento inicial de hum. de suelo (como %ADT)	50	%
<b>Humedad de suelo inicialmente disponible</b>	<b>100</b>	<b>mm/m</b>

## Anexo 7 Módulo RAC del CROPWAT 8.0

Módulo RAC Resumen			
Actividades	ETc	Prec. efec	Req.Riego
	mm/dec	mm/dec	mm/dec
1. Yuca	470.5	824.1	64.9
2. Plátano	1054.8	153.3	914.3
3. Pasto	1238	832.9	739.8
4. Maracuyá	364.5	0	364.5
5. Maní	391.2	726	8.7
6. Maíz	366.4	714.4	0
7. Habas-frijol	355.8	3.7	352.9
8. Cítricos	988.3	832.9	571.2
9. Café	1012.9	561.4	669.6
10. Cacao	1010.6	832.9	454.2
11. Banana	951.2	741.8	477.3
12. Balsa	3173.3	1630.1	1964.7
13. Arroz	573.8	658.2	403.1

## Anexo 8 Módulo programación del CROPWAT 8.0

Módulo Programación Resumen	
Actividades	Uso Real de Agua del Cultivo
	mm/día
1. Yuca	466.5
2. Plátano	1042.7
3. Pasto	1227
4. Maracuyá	365.6
5. Maní	391.8
6. Maíz	369.6
7. Habas-frijol	361.9
8. Cítricos	974.1
9. Café	1011.3
10. Cacao	1064.4
11. Banana	944.5

12. Balsa	3151.4
13. Arroz	509.5

**Nota:** Programación (programación de riego de cultivo), dentro de este apartado se conoció un formato en tabla de programa de riego y balance diario de agua por cultivo.

#### Anexo 9 Módulo del patrón de cultivo del CROPWAT 8.0

N°	Nombre del cult.	Siembra fecha	Cosecha Fecha	Área %
1	Yuca	12-dic	9-jul	1
2	Plátano	8-abr	3-dic	1
3	Pasto	7-feb	6-feb	67
4	Maracuyá	28-ago	10-nov	1
5	Maní	14-dic	22-abr	1
6	Maíz	16-dic	19-abr	4
7	Habas-frijol	19-jun	6-oct	1
8	Cítricos	15-ene	14-ene	4
9	Café	21-jul	17-mar	4
10	Cacao	5-feb	1-nov	9
11	Banana	20-may	14-abr	1
12	Balsa	9-ene	29-dic	3
13	Arroz	4-dic	2-abr	3

**Nota:** Patrón de cultivo, dentro de este módulo se introdujeron los datos ya registrados en el apartado cultivo (13 actividades agrícolas), fecha de la siembra y área por cultivo en porcentaje.

### Anexo 10 Módulo sistema del CROPWAT 8.0

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
	<b>Déficit de Precipitación</b>											
1. YUCA	0	0	0	0.6	23.2	31.5	9.5	0	0	0	0	0
2. PLÁTANO	0	0	0	19.9	46.4	81	119.2	144.8	150	155.8	146.4	9.2
3. PASTO	0	0	0	2.8	36.2	67.7	93.6	112.5	117.2	122.2	119.5	64.8
4. MARACUYÁ	0	0	0	0	0	0	0	16	133.2	156.1	41.4	0
5. MANÍ	0	0	0	4.6	0	0	0	0	0	0	0	4
6. MAÍZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7. HABAS-FRIJOL	0	0	0	0	0	12.1	64.5	133.4	122.8	10.8	0	0
8. CÍTRICOS	0	0	0	0	18	52	74.2	84.1	87	99.3	101.6	48.5
9. CAFÉ	0	0	0	0	0	0	39.2	121.1	131.1	141.9	138.9	82.1
10. CACAO	0	0	0	14.9	57	86.6	111.8	126.7	136.1	142.3	4.7	0
11. BANANA	0	0	0	0	5.6	30.5	50.6	59.2	74.8	94.6	108.6	69.3
12. BALSA	4.9	0	0	30.4	76.5	103	127	140.7	142.4	145.1	138.5	71.2
13. ARROZ	0.5	0	0	7.9	0	0	0	0	0	0	258.5	136.1
	<b>Req. Netos sistema</b>											
en mm/día	0	0	0	0.2	1.1	2	2.7	3.3	3.6	3.6	3.5	1.8
en mm/mes	0.2	0	0	4.6	33.1	59.8	83.5	102.7	108.6	112.9	105	55.7
en l/s/h	0	0	0	0.02	0.12	0.23	0.31	0.38	0.42	0.42	0.4	0.21
<b>Área Irrigada (% del área total)</b>	6	0	0	85	86	87	91	91	91	91	93	84
<b>Req.de riego área real (l/s/h)</b>	0.01	0	0	0.02	0.14	0.27	0.34	0.42	0.46	0.46	0.44	0.25

**Nota:** Sistema (aprovisionamiento del sistema), dentro de este apartado se visualizó datos de déficit de precipitación por cultivo, requerimientos netos del sistema y área irrigada.

**Anexo 11** Metadata de imagen satelital Landsat

```
ORIGIN = "Image courtesy of the U.S. Geological Survey"
DIGITAL_OBJECT_IDENTIFIER = "https://doi.org/10.5066/P918ROHC"
LANDSAT_PRODUCT_ID = "LT05_L1TP_011061_19860314_20200917_02_T1"
PROCESSING_LEVEL = "L1TP"
COLLECTION_NUMBER = 02
COLLECTION_CATEGORY = "T1"
OUTPUT_FORMAT = "GEOTIFF"
SPACECRAFT_ID = "LANDSAT_5"
SENSOR_ID = "TM"
WRS_TYPE = 2
WRS_PATH = 011
WRS_ROW = 061
DATE_ACQUIRED = 1986-03-14
SCENE_CENTER_TIME = "14:58:58.5070630Z"
STATION_ID = "AAA"
CLOUD_COVER = 36.00
CLOUD_COVER_LAND = 44.00
IMAGE_QUALITY = 9
SUN_AZIMUTH = 92.18775516
SUN_ELEVATION = 52.07782497
EARTH_SUN_DISTANCE = 0.9943099
SENSOR_MODE = "SAM"
SENSOR_MODE_SLC = "ON"
SENSOR_ANOMALIES = "NONE"
END_GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES
GROUP = PROJECTION_ATTRIBUTES
MAP_PROJECTION = "UTM"
DATUM = "WGS84"
ELLIPSOID = "WGS84"
UTM_ZONE = 17
```

**Anexo 12** Tipos y usos de suelos en la zona de estudio.



Cultivo de cacao, yuca y plátano



Remesa de bosque, cultivo de balsa, pastizales y maíz



Cultivo de balsa



Cultivo de cacao



Cultivo de maíz



Remesas de bosque, pastizales, cultivos y microcuencas Caña





Bosque y pastos



Cultivo de balsa y plátano

**Anexo 13** Afluentes que forman la microcuenca Caña.



Cauce del río Caña y el estero Zapote

**Anexo 14** Visita y verificación en campo en la microcuenca





