

**EVALUACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA MULTISECTORIAL DE LA CUENCA DEL
RÍO COMBEIMA (DEPARTAMENTO DEL TOLIMA).**

PERLA TATIANA VARÓN VARGAS

**Trabajo de grado como requisito parcial para optar al título de
Magister en Gestión Ambiental y Evaluación del Impacto Ambiental.**

Director

ANTONIO JOSÉ GUÍO DUQUE
Magister en Ciencias Ambientales

Codirector

JADER MUÑOZ RAMOS
Doctor en Ciencias Agrícolas

UNIVERSIDAD DEL TOLIMA
FACULTAD DE INGENIERÍA FORESTAL
MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL Y EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL
IBAGUÉ – TOLIMA

2018

**MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL Y EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL
 FORMATO EVALUACIÓN INFORME FINAL DE TESIS**

Título del Informe Final de Tesis:
EVALUACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA MULTISECTORIAL DE LA CUENCA DEL RÍO COMBEIMA (DEPARTAMENTO DEL TOLIMA).

Respetado señor Jurado: luego de que usted haya revisado el informe final de Tesis, por favor emita el respectivo concepto de evaluación, marcando con una X en la casilla correspondiente, de la tabla 1. Si su concepto es **Aprobado**, califique de 4,0 a 5,0 cada uno de los parámetros de evaluación que aparecen en la tabla 2, posteriormente ponde los con el factor recomendado para generar el subtotal de cada parámetro. Sume los subtotales para obtener la calificación total. Si el concepto es **Aplazado**, absténgase de diligenciar la tabla 2 y presente en anexo las observaciones y sugerencias que soportan esta decisión. Este formato debe ser devuelto con el informe final después de su evaluación. Gracias.

Tabla 1. Concepto de Evaluación.

Aprobado: el informe final de Tesis está en condiciones de ser sometido a sustentación pública, sin necesidad de hacer ajustes previos.	X
Aplazado: el informe final de Tesis debe ser ajustado antes de ser sometido a sustentación pública.	

Tabla 2. Parámetros de Evaluación.

PARÁMETROS	CALIFICACIÓN 4,0 – 5,0	FACTOR DE PONDERACIÓN	SUBTOTAL
PRELIMINARES: Claridad y correspondencia entre el Título, Resumen, Introducción, Objetivos y el contenido del documento. Documento sujeto a la normatividad vigente.	4,7	0,05	0,235
MARCO TEÓRICO: Apropiaada fundamentación teórica y revisión de literatura. Antecedentes pertinentes.	4,8	0,15	0,72
MARCO METODOLÓGICO: Claridad, pertinencia, consistencia, validez y confiabilidad de los métodos de captura de la información y el procesamiento de datos.	5,0	0,20	1,0
RESULTADOS Y ANÁLISIS: Claridad y consistencia con los objetivos del proyecto. Análisis, interpretación y contraste con apoyo de citas bibliográficas. Relevancia y pertinencia de productos logrados.	4,8	0,30	1,44
CONCLUSIONES: Claridad y pertinencia de las conclusiones. Concluye en función de los objetivos.	5,0	0,30	1,5
CALIFICACIÓN TOTAL		1,00	4,895

Florencia, junio 18 de 2018
LUGAR Y FECHA DE EVALUACIÓN

José Alfredo Orjuela Chaves 
NOMBRE Y FIRMA DEL JURADO

Anexo: Observaciones del Jurado (0 folio(s)).

AGRADECIMIENTOS

El autor manifiesta su sincero agradecimiento a:

La asesoría constante de Antonio José Guio Duque, en calidad de Director, y Jader Muñoz Ramos, como co-director, los dos adscritos al grupo de Investigación en Producción Ecoamigable de Cultivos Tropicales – PROECUT.

El apoyo económico otorgado por el Comité de Investigaciones de la Universidad del Tolima.

La asesoría y revisión metodológica del profesor Diddier Moreira, del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura – IICA.

El apoyo logístico de los productores y gremios que hacen presencia en la cuenca del río Combeima.

Los señores Abel Sánchez, Gerente de la Asociación de Copropietarios de los Canales de Riego del río Combeima, Juan Arcos, líder del proyecto Aftosa del Comité Ganadero del Tolima, y Christian Trujillo, administrador de fincas arroceras, y el ingeniero Alejandro Correa, Gerente de Hidrotolima S.A.S E.S.P, por la información y asesoría durante el desarrollo de la presente investigación.

El ingeniero Daniel Guauque Mellado, por el apoyo en el desarrollo de la fase de georeferenciación del presente proyecto, así como a los estudiantes Stella Barreto Sánchez, Raúl Siachoque García y Mayra Alejandra Barragán Machado, y la señora Adriana Valencia, por el apoyo en la fase de recolección de datos.

El Grupo de Investigación PROECUT y el Laboratorio LASEREX, por el apoyo brindado en las fases de recolección y análisis de muestras y datos.

Todas las instituciones de orden gubernamental que dieron repuesta a las solicitudes presentadas durante el desarrollo de la presente investigación, como la Corporación Autónoma Regional del Tolima – CORTOLIMA, Empresa Ibaguereña de Acueducto y Alcantarillado – IBAL S.A. E.S.P. OFICIAL , Secretaría de Salud Municipal, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentacion y la Agricultura – FAO, la Secretaria Municipal de Desarrollo Rural y Medio Ambiente, y la Agencia Nacional de Minería.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. OBJETIVOS	16
1.1 OBJETIVO GENERAL	16
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
2. MARCO REFERENCIAL	17
2.1 MARCO TEÓRICO	17
2.1.1 Huella Hídrica de Cuenca (HH)	17
2.1.2 Evaluación ambiental	17
2.1.3 Análisis de sostenibilidad	18
2.1.4 Formulación de estrategia de respuesta	18
2.2 SECTORES ECONÓMICOS	19
2.2.1 Sector primario o agropecuario	19
2.2.2 Sector secundario o industrial	19
2.2.3 Sector terciario o de servicios.	19
2.2.4 Sector minero y energético.	19
2.3 MARCO LEGAL	20
2.4 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	22
3. METODOLOGÍA	24
3.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA	24
3.2 FASES DE LA EVALUACIÓN DE LA HH DE LA CUENCA DEL RÍO COMBEIMA.	27
3.2.1 Fase 1: Alcance general de la evaluación de la HH.	27
3.2.2 Fase 2. Cuantificación de la HH multisectorial.	29
3.2.3 Fase 3: análisis de sostenibilidad.	39
3.2.4 Fase 4. Estrategias de respuesta.	45

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
4.1 DESCRIPCIÓN DE LOS SECTORES EN EL ÁREA DE ESTUDIO	46
4.1.1 Sector primario.	46
4.1.2 Sector secundario	51
4.1.3 Sector terciario.	53
4.2 CUANTIFICACIÓN DE LA HUELLA HIDRICA	55
4.2.1 Cuantificación de la HA	55
4.2.2 Cuantificación de la HV	57
4.2.3 Cuantificación de la HG	59
4.2.4 Georefenciación de los resultados de la cuantificación	60
4.2.5 Cuantificación por sectores de la economía	64
4.3 ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD	73
4.3.1 Sostenibilidad ambiental	73
4.3.2 Sostenibilidad económica	74
4.3.3 Sostenibilidad social	77
4.4 ESTRATEGIA DE RESPUESTA	78
4.4.1 Condicionantes de la cuenca	78
4.4.2 Punto crítico o <i>hotspot</i> ambiental	79
4.4.3 Plan para la Gestión Integral del Recurso Hídrico en la Cuenca del río Combeima – PGIRHCC.	79
5. CONCLUSIONES	87
RECOMENDACIONES	88
REFERENCIAS	89

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Principales normas colombianas que reglamentan el uso sostenible del recurso hídrico.	20
Tabla 2. Instrumentos de gestión pública en Colombia que enmarcan la presente investigación.	21
Tabla 3. Valores de los parámetros solicitados por el programa CROPWAT 8.0 (FAO 2010) para obtener los valores de huellas hídricas verde y azul (HV y HA) de los cultivos a) Café (<i>Coffea arabica</i> L). b) Frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.), c) Hortalizas, d) Caña panelera (<i>Saccharum officinarum</i> L.), e) Arroz (<i>Oryza sativa</i> L.) y f) Sorgo (<i>Sorghum vulgare</i> Pers).....	31
Tabla 4. Valores de los parámetros solicitados por el programa CROPWAT 8.0 (FAO 2010) para obtener los valores de huellas hídricas verde y azul (HV y HA) de los cultivos de la parte alta (kikuyo (<i>Pennisetum clandestinum</i> L.)) y la parte media y baja (Estrella (<i>Cynodon nlemfuensis</i> Vanderyst), India (<i>Panicum máximum</i> Jacq.) y Angletón (<i>Dichanthium aristatum</i> Poir)).....	35
Tabla 5. Rendimiento y tipo de especies de pastos según la ubicación en la cuenca. .	36
Tabla 6. Categorías de valores usados para estimar el Índice de Escasez de Agua azul en la cuenca del río Combeima (Tolima, Colombia).....	40
Tabla 7. Categorías de valores usados para estimar el IEAV, en la cuenca del río Combeima (Tolima, Colombia).....	42
Tabla 8. Criterios usados para evaluar la sostenibilidad social de la cuenca del río Combeima (Tolima, Colombia).....	44
Tabla 9. Valores de las cargas vertidas por tipo de vertimiento doméstico, de los usuarios que cuentan con permiso de vertimiento al río Combeima.	53
Tabla 10. Volumen de la concesión de agua ($L \cdot s^{-1}$) para ser tratada en las plantas de tratamiento de agua potable de la Empresa Ibaguereña de Acueducto y Alcantarillado – IBAL S.A. E.S.P. OFICIAL (Tolima, Colombia).	54
Tabla 11. Volumen captado por PTAP administradas por el IBAL S.A. E.S.P. OFICIAL.	54

Tabla 12. Número de usuarios con conexión a las redes de acueducto y alcantarillado de la Empresa Ibaguereña de Acueducto y Alcantarillado – IBAL S.A. E.S.P. OFICIAL (Ibagué, Colombia).....	55
Tabla 13. Valores reportados en trabajos de evaluación de HH ($Mm^3 \cdot año^{-1}$) de los sectores primario (agrícola y pecuario), secundario y terciario a nivel de cuenca desarrollados en diferentes países de Latinoamérica. HA, HV y HG.....	64
Tabla 14. Índices de escasez de agua verde (IEAV) y de escasez de agua azul (IEAA), y nivel de contaminación del agua (NCA) de los multisectores que se desarrollan en la cuenca del río Combeima (Tolima, Colombia).	73
Tabla 15. Valor en pesos colombianos de los indicadores AWP_{azul} y AWP_{verde} por sector económico, subsectores pecuario ($\$.t^{-1}$) y agrícola ($\$.m^{-3}$) y terciario ($m^3.mes$) y productividad aparente de la tierra - APL dado en $\$.ha^{-1}$	75
Tabla 16. Indicadores de disponibilidad del recurso hídrico en la cuenca del Combeima.	77
Tabla 17 Plan para la Gestión Integral del Recurso Hídrico en la Cuenca del río Combeima (PGIRHCC).....	79

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Mapa de localización de la cuenca del río Combeima en el contexto colombiano.....	25
Figura 2. Mapa de coberturas del suelo en la cuenca del río Combeima (Tolima, Colombia).....	26
Figura 3. HA ($Mm^3.año^{-1}$) de los sectores económicos que realizaron actividades en la cuenca del río Combeima (Ibagué, Colombia) en la vigencia 2015.	56
Figura 4. Relación porcentual de la HA de los sectores económicos que realizaron actividades en la cuenca del río Combeima (Ibagué, Colombia) en la vigencia 2015...	57
Figura 5. HV en $Mm^3.año^{-1}$ del sector primario que realizaron actividades en la cuenca del río Combeima (Ibagué, Colombia) en la vigencia 2015.....	58
Figura 6. Relación porcentual de la HV del sector primario que realizaron actividades en la cuenca del río Combeima (Ibagué, Colombia) en la vigencia 2015.	58
Figura 7. HG en $Mm^3.año^{-1}$ de los sectores económicos que realizaron actividades, en la cuenca del río Combeima (Ibagué, Colombia) en la vigencia 2015.	59
Figura 8. Distribución espacial de los volúmenes de agua ($m^3.año^{-1}$) de la HA de los multisectores que desarrollan actividades en la cuenca del río Combeima (Tolima, Colombia).....	61
Figura 9. Distribución espacial de los volúmenes de agua ($m^3.año^{-1}$) de la HV de los multisectores que desarrollan actividades en la cuenca del río Combeima (Tolima, Colombia).....	62
Figura 10. Distribución espacial de los volúmenes de agua ($m^3.año^{-1}$) de la HG de los multisectores que desarrollan actividades en la cuenca del río Combeima (Tolima, Colombia).....	63
Figura 11. Huellas Hídricas por cultivos del sector agrícola en $m^3.t^{-1}$	66
Figura 12. HV por especie de pasto del sector pecuario en $m^3.t^{-1}$	68
Figura 13. Huellas Hídricas de consumo, por subsectores del sector pecuario en $Mm^3.año^{-1}$	69
Figura 14. HG por subsectores del sector pecuario en $Mm^3.año^{-1}$	70

RESUMEN

La cuenca del Combeima tiene una importancia estratégica para el desarrollo territorial del municipio de Ibagué, por proveer el 97% del agua cruda que ingresa al sistema de la Empresa Ibaguereña de Acueducto y Alcantarillado – IBAL S.A. E.S.P. OFICIAL y el desarrollo de actividades agropecuarias que han deteriorado la calidad y disponibilidad del recurso hídrico, a tal punto que la cuenca ha sido considerada como una de las de mayor índice de escasez en la región.

La evaluación de la Huella Hídrica (HH) de la cuenca del río Combeima, mediante el cálculo del volumen total de agua que consume o contamina los sectores económicos que desarrollan actividades para producir un bien o servicio, es un aporte académico que permite generar propuestas y estrategias de orden multisectorial, orientadas a mejorar la sostenibilidad de los recursos hídricos en la cuenca estudiada.

Los fundamentos teóricos sobre HH y las metodologías que se desarrollaron con el ánimo de conseguir los objetivos planteados, se consultaron principalmente en guías de CTA (2013a) e IICA (2017a) y otros trabajos como Builes (2013), CTA (2013b) e IICA (2017b).

El presente estudio se inició con la cuantificación de la HH caracterizada por el análisis individual de la Huella Azul (HA), o recurso hídrico proveniente de fuentes superficiales para un uso antrópico, la Huella Verde (HV), o apropiación de agua almacenada en el suelo para una actividad agropecuaria y la Huella Gris (HG), o volumen de agua dulce necesario para asimilar la carga contaminante vertida a un cuerpo receptor.

Las huellas se definieron partiendo de información generada por fuentes oficiales y trabajo en campo, al igual que el análisis ambiental, social y económico e incluyó aspectos como temporalidad, ubicación geográfica, etapas y procesos de los sectores.

Los principales resultados indican que la HA, se encuentra en una situación límite en términos de competencia por agua superficial y la HG indica que el Nivel de Contaminación del Agua sobrepasa la capacidad de asimilación del recurso hídrico, siendo el sector terciario, él que aporta más del 75% del recurso captado y cerca del 99% del recurso vertido en la cuenca del Combeima.

Palabras clave: Huella Hídrica (HH), análisis de sostenibilidad, Cuenca río Combeima.

ABSTRACT

The Combeima's river basin is strategically important for the territorial development of Ibagué's municipality. 97 % of the raw water that goes through the distribution system of the Ibagueraña water and sewer company named IBAL SA E.S.P. comes from its water supplies. Unfortunately, the increase of agricultural activities has diminished the quality and accessibility of its hydric resources. Consequently, the Combeima's basin currently faces high levels of water stress in the region.

Calculating the water volume consumed and contaminated by the economic sectors that produce goods or services in the region made the study of the water footprints of the Combeima's river basin. The initiative serves as an academic tool to inspire new proposals and multisectoral strategies that improve the sustainability of the hydric resources from the studied basin.

The theory foundation of the water footprints and the methodologies to accomplish the objectives were primary consulted on the following: CTA (2013a) guide and IICA (2017a) and other documents such as Builes (2013), CTA (2013b) e IICA (2017b).

This study started with the quantification of the Water Footprint (WF), characterized by the individual analysis of: 1. The blue water footprint or the hydric resources from the surface; used for anotropic purposes 2. The green water footprint or appropriation of water stored in the soil for agricultural activities and 3. The gray water footprint or volume of fresh water, that assimilate the polluting load discharged to a receiving body.

The water footprints were determined based on the information generated by official sources and fieldwork, as well as environmental, social and economic analysis and even aspects such as temporality, geographical location, stages and processes of the sectors

The main results indicate that the blue water footprint is in an extreme situation in terms of competition for surface water and the gray footprint indicates that the level of water pollution exceeds the capacity of water assimilation. Then, the terrarium sector contributes more than 75% of the resources captured and about 99% of the resource discharged in the combeima basin.

Keywords: water footprints (WF), sustainability analysis and Combeima's river basin

INTRODUCCIÓN

El concepto de Huella Hídrica (HH) considera el uso del agua oculta a lo largo de las cadenas de producción de bienes o de servicios, y ofrece información de los efectos sobre este recurso como un indicador multidimensional, visibilizando los consumos según su origen e informando la capacidad de asimilación de la contaminación generada (Hoekstra *et al.*, 2011, CTA, 2013a, CTA, 2013b). Se estima que el producto final de determinar la HH en una cuenca hidrográfica es la valoración de la capacidad de carga de la misma, como parámetro para la toma de decisiones en la gestión ambiental del recurso hídrico.

El escenario de la investigación es la cuenca del río Combeima, que tiene una importancia estratégica para el desarrollo territorial del municipio de Ibagué y del Tolima. El 67% de los 7.279 $L \cdot s^{-1}$ concesionados está destinado para uso agrícola, el 32,6% para uso doméstico, administrado casi en su totalidad por el acueducto del municipio de Ibagué, el cual, según valores reportados por el jefe de la oficina asesora de planeación de la Empresa Ibaguereña de Acueducto y Alcantarillado (IBAL S.A. E.S.P. OFICIAL), cuenta con 129.268 usuarios (C. Gutierrez, comunicación personal, 18 de agosto de 2016). Conforme a la información de la Corporación Autónoma Regional del Tolima - CORTOLIMA, el porcentaje restante se distribuye para uso industrial, generación eléctrica, recreativa y pecuaria (M. Rojas, comunicación personal, 5 de agosto de 2016).

Además, esta cuenca hidrográfica es una zona especialmente sensible, declarada como una de las cuencas con mayor índice de escasez en la región (DNP, 2009), que ha evidenciado en los últimos años un aumento en el uso del agua (DANE, 2014), presión que genera conflictos en torno a la gestión del recurso en la cuenca.

Aunque se conoce la existencia de esta problemática, son pocos los estudios adelantados en la cuenca del río Combeima relacionados a la HH que producen las actividades productivas que se desarrollan en su interior, hecho que dificulta la aplicación

de las medidas necesarias para gestionar correctamente el recurso hídrico. Por esta razón, se desarrolló esta investigación, con el fin de evaluar la HH multisectorial en esta cuenca hidrográfica y buscar una aproximación al uso eficiente del agua y el control de su contaminación, la cual es objetivo fundamental en la búsqueda de la sostenibilidad (MAPFRE, 2011).

A lo largo del documento se encontrarán las características ambientales, económicas y sociales de la cuenca estudiada y las bases conceptuales asociados a la evaluación de la HH en cuenca, así como las etapas que se desarrollaron con el fin de conseguir los objetivos planteados; a) la cuantificación de los componentes mediante el análisis individual de la Huella Hídrica Azul (HA), Huella Hídrica Verde (HV) y Huella Hídrica Gris (HG), b) el análisis de sostenibilidad basado en el potencial de información que ofrecen los indicadores en lo relativo a sus impactos asociados a variables económicas, sociales y ambientales de los multisectores de la zona estudiada, y c) la estrategia de respuesta en torno al uso y consumo eficiente del recurso hídrico en la cuenca del río Combeima.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la huella hídrica multisectorial en la cuenca del río Combeima (departamento de Tolima, Colombia).

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Cuantificar la huella azul, verde y gris en la cuenca del río Combeima.

Evaluar la sostenibilidad de la huella hídrica multisectorial de la cuenca con base en un análisis ambiental, económico y social de las cuantificaciones de las huellas azul, verde y gris.

Formular propuestas y estrategias multisectoriales orientadas a la sostenibilidad del recurso hídrico en la cuenca estudiada.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 Huella Hídrica de Cuenca (HH). Es un indicador geográficamente explícito que tiene en cuenta los volúmenes de agua extraídos (HV y HA) y vertidos en masas receptoras (HG) (CECODES, 2014), que permite cuantificar si existe escasez hídrica o reservas del recurso, mediante la estimación de cuánta agua y en que condiciones se utiliza en los sistemas locales, además del volumen necesario para contrarrestar las corrientes contaminadas (Tolon *et al.*, 2013).

2.1.1.1 Huella Hídrica Verde (HV). La HV se entiende como el agua proveniente de la precipitación, que se apropia para una actividad agropecuaria y que deja de ser disponible para ecosistemas naturales (IDEAM, 2015).

2.1.1.2 Huella Hídrica Azul (HA). Se entiende como HA al recurso hídrico de fuentes superficiales, sub-superficiales y subterráneas para uso antrópico y que no retorna a la cuenca de origen (IDEAM, 2015).

2.1.1.3 Huella Hídrica Gris (HG). Hace referencia al volumen de agua dulce necesario para asimilar la carga contaminante vertida a un cuerpo receptor, que expresa la reducción de la disponibilidad por afectación a la calidad del agua (IDEAM, 2015).

2.1.2 Evaluación ambiental. La evaluación ambiental refleja el agua demandada o extraída del sistema hídrico, por uno o varios procesos, como incorporación en un producto, evaporación en el proceso y trasvase en cuencas y la disponibilidad de agua a nivel de cuenca, contando para ello con la determinación previa del origen del agua, humedad contenida en el suelo o agua de cuerpos de agua superficial (CTA *et al.*, 2015; IDEAM, 2015a).

2.1.2.1 Huella Hídrica Verde en cuenca (HV_{Cuenca}). Se considera igual a la suma de las HV de todos los procesos agropecuarios que se desarrollan al interior de la misma y se interpreta como el requerimiento hídrico del cultivo que se suple con la oferta natural. Entendiendo el riego de cultivos como una manifestación de escasez de agua verde que debe ser suplida con agua azul (CTA *et al.*, 2015).

2.1.2.2 Huella Hídrica Azul en cuenca (HA_{Cuenca}). Se define como la suma de las HA de los procesos multisectoriales que se desarrollan al interior de la misma y se convierte en un volumen que se pierde físicamente de la cuenca (CTA *et al.*, 2015). La fase de evaluación de la HA se basa en la comparación de esta en una cuenca, con la oferta disponible en un periodo de tiempo determinado (IDEAM, 2015a).

2.1.3 Análisis de sostenibilidad. El análisis de sostenibilidad evalúa qué tan “sostenible” es la apropiación del recurso hídrico en cuenca, con el propósito último de informar sobre cuál es la mejor asignación posible del recurso, para las personas, los ecosistemas y las actividades económicas (IICA, 2017b).

2.1.4 Formulación de estrategia de respuesta. La estrategia de respuesta comprende la definición de las acciones por tomar, con base en los resultados del estudio, enfocadas a la reducción de HH, no solo en términos de consumo volumétrico por unidad de tiempo, sino también de la protección de ecosistemas estratégicos y el aumento de eficiencia en el uso del agua, equidad en el uso de esta y de la productividad económica (IICA, 2017b).

La formulación de acciones de respuesta debe realizarse de manera integrada a nivel de cuenca, por tanto, deben definirse de manera conjunta e integradora entre los distintos actores implicados (IICA, 2017b).

2.2 SECTORES ECONÓMICOS

Los sectores económicos son aquellos que agrupan las actividades económicas que realizan las empresas al producir los bienes y servicios que posteriormente van al mercado, según su grado de homogeneidad productiva (Banco Central de Reserva del Perú - BCRP, 2011).

2.2.1 Sector primario o agropecuario. Es aquel en donde se obtiene el producto de sus actividades directamente de la naturaleza y se considera el principal usuario de agua en el mundo. En el caso colombiano, el sector primario comprende cultivos de café, flores, banano y cacao, entre otros, que son una fuente importante de ingresos y de generación de empleo en la mayoría de los departamentos (IDEAM, 2015).

2.2.2 Sector secundario o industrial. Como su nombre lo indica, está relacionado con los procesos de transformación industrial de alimentos y otros tipos de bienes o mercancías, y se divide en extractivo y de transformación (Banco de la República, 2015)

2.2.3 Sector terciario o de servicios. Está conformado por actividades que no producen una mercancía en sí, pero que son necesarias para el funcionamiento de la economía (Banco de la República, 2015).

2.2.4 Sector minero y energético. Se incluyen todas las empresas que se relacionan con la actividad minera y energética de cualquier tipo, como la extracción de carbón, esmeraldas, gas y petróleo, o las empresas generadoras de energía, entre otras (Ministerio de Minas y Energía - MinMinas, 2016).

2.3 MARCO LEGAL

En Colombia se reglamenta el uso sostenible de recurso hídrico a las escalas nacional, regional y de cuenca (Tabla 1.) Igualmente, se cuenta con instrumentos de gestión pública tanto de planificación ambiental, como de directrices económicas, asociados a las zonas de estudio o al recurso hídrico (Tabla 2.).

Tabla 1. Principales normas colombianas que reglamentan el uso sostenible del recurso hídrico.

Norma	Contenido
Decreto 2811 de 1974 (Código de los recursos naturales y renovables)	Establece lo concerniente a la calidad del agua para toda actividad antrópica que genere consumo o transformación de las condiciones del recurso
Constitución Política de Colombia de 1991.	Ordena, prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados la responsabilidad del estado para garantizar un ambiente sano para todos los colombianos. En el Artículo 79 se estipula que “[...es deber del estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines...]” y art, 80 “[...el estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución...]”.
Ley 99 de 1993.	Por la cual se crea el ministerio del medio ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, Y se organiza el sistema nacional ambiental, SINA.

Ley 373 de 1997.	Establece el Programa para el Uso Eficiente y Ahorro del Agua
Ley 812 de 2003.	Norma lo relacionado a los usos del agua y residuos líquidos.
Resolución MAVDT N° 865 de 2004.	Adopta la metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas superficiales a que se refiere el decreto 155 de 2004 y se adoptan otras disposiciones.
Acuerdo CORTOLIMA N° 032 de 2006.	Adopta el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica Mayor del río Coello – POMCA- (2006).
Resolución CORTOLIMA N° 600 de 2006.	Determina los objetivos de calidad de los cuerpos de agua de las cuencas hidrográficas de los ríos Combeima, Chipalo, Opia, Alvarado y quebrada Cay, de la jurisdicción de CORTOLIMA.
Resolución CORTOLIMA N° 3351 de 2009.	Aprueba un Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos –PSMV– del IBAL S.A. E.S.P. OFICIAL para el casco urbano del municipio de Ibagué.
Decreto 3930 de 2010.	Reglamenta parcialmente el título i de la ley 9ª de 1979, el capítulo ii del Título VI -parte III- libro II del Decreto-Ley 2811 de 1974, en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.
Resolución MADS N° 1207 de 2014.	Adopta disposiciones relacionadas con el uso de las aguas residuales tratadas.
Decreto 1076 de 2015.	Determina los parámetros mínimos de calidad a monitorear por parte de las autoridades ambientales
Resolución MADS N° 0631 de 2015.	Estipula los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

Fuente: el autor.

Tabla 2. Instrumentos de gestión pública en Colombia que enmarcan la presente investigación.

Instrumento	Alcance
Política para el Manejo Integral del Agua (1996).	Determina acciones para el ordenamiento y uso de cuencas; protección de acuíferos, humedales y otros reservorios de agua, proteger y recuperar zonas de nacimientos de agua, recuperar las condiciones de calidad de las fuentes hídricas, entre otras.
Documento CONPES 3570 de 2009.	Programa las estrategias de mitigación del riesgo en la cuenca del río Combeima para garantizar el abastecimiento de agua en la ciudad de Ibagué.
Política Nacional de Gestión Integral de Recursos Hídricos (2010).	Define el Plan Hídrico Nacional, en el que se desarrollan líneas de acción estratégicas, como resultado un proceso concertado multisectorial, orientado a contribuir al logro de las metas nacionales
Estudio Nacional del Agua (2014).	Estudio en el cual se desarrolló la evaluación de la HH en Colombia, como resultado se fortaleció la creación de mecanismos técnico financiero para la conservación, creando estrategias de respuesta basada en reforzar la ley sobre el uso del suelo en zonas de conservación y en la planeación del uso agrícola.

Fuente: el autor.

2.4 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

En el ámbito mundial se trabaja el concepto de HH desde 2003 como indicador de sostenibilidad asociado a sistemas agropecuarios, como la estimación realizada por Chapagain & Hoekstra, (2004), donde se trabajo con 175 cultivos y 123 productos ganaderos. Posteriormente, se realizaron trabajos de evaluación de la HH agrícola (Chapagain & Hoekstra, 2011; Mekonnen & Hoekstra, 2011; Munro *et al.*, 2016; Ababaei & Etedali, 2017; Feng *et al.*, 2017) además de algunos que combinaban cultivos y agua virtual (Tolón *et al.*, 2013; Wang *et al.*, 2014; Zhuo *et al.*, 2016), como también para actividades pecuarias (Mekonnen & Hoekstra, 2012; Rios *et al.*, 2012; Gerbens *et al.*, 2013; Bosire *et al.*, 2015; Bosire *et al.*, 2017)

En trabajos más recientes, se cuantificó la HH para actividades asociadas a los sectores económicos secundarios y terciarios, como la evaluación de la contabilidad de la HH del uso directo del agua a nivel urbano, (Manzardo *et al.*, 2016) la HH según el tipo de uso de las edificaciones (Chang *et al.*, 2016) y en investigaciones de sostenibilidad ambiental en la gestión de los recursos hídricos a nivel de cuenca hidrográfica (Pellicer *et al.*, 2016; Salmoral, *et al.*, 2017; IICA 2017a; IICA 2017b).

En Colombia, la aplicación de la HH como indicador mantiene la tendencia desarrollada a nivel mundial, donde inicialmente fue evaluada la HH del sector agrícola o pecuario (Arévalo *et al.*, 2011; Arévalo, 2012, Builes, 2013; CTA, 2013a). Otros trabajos han sido enfocados a la gestión del recurso hídrico (Delgado *et al.*, 2013); a nivel empresarial (WWF y Bavaria, 2011) y en la evaluación multisectorial por subzonas hidrográficas de las HA y HV (CTA *et al.*, 2015).

Como producto de los trabajos realizados por CTA (2015) e IICA (2017), se han elaborado guías metodológicas para la evaluación de la HH en una cuenca, que conllevan a la elaboración de estrategias de incidencia política de largo plazo y aproximaciones de los sectores económicos a una visión colectiva de la gestión del agua en las cuencas, como un aporte positivo a la seguridad hídrica y alimentaria basada en la producción (IICA, 2017b).

Aunque se han desarrollado en la última década varias investigaciones a nivel nacional, en las que se usa la HH como indicador de sostenibilidad ambiental de cuenca que permite conocer los volúmenes de agua extraídos y vertidos en masas receptoras, no se conocen ejercicios en el departamento de Tolima (Colombia), ni en el municipio de Ibagué, que permitan una estimación válida a nivel de multisectores que determine el Índice de Escasez del Agua - IEA (verde y azul), ni el Nivel de Contaminación de Agua – NCA de las fuentes hídricas, que son los factores necesarios para la administración sostenible y la concesión de los caudales sin afectar o alterara las necesidades ambientales de los ecosistemas.

3. METODOLOGÍA

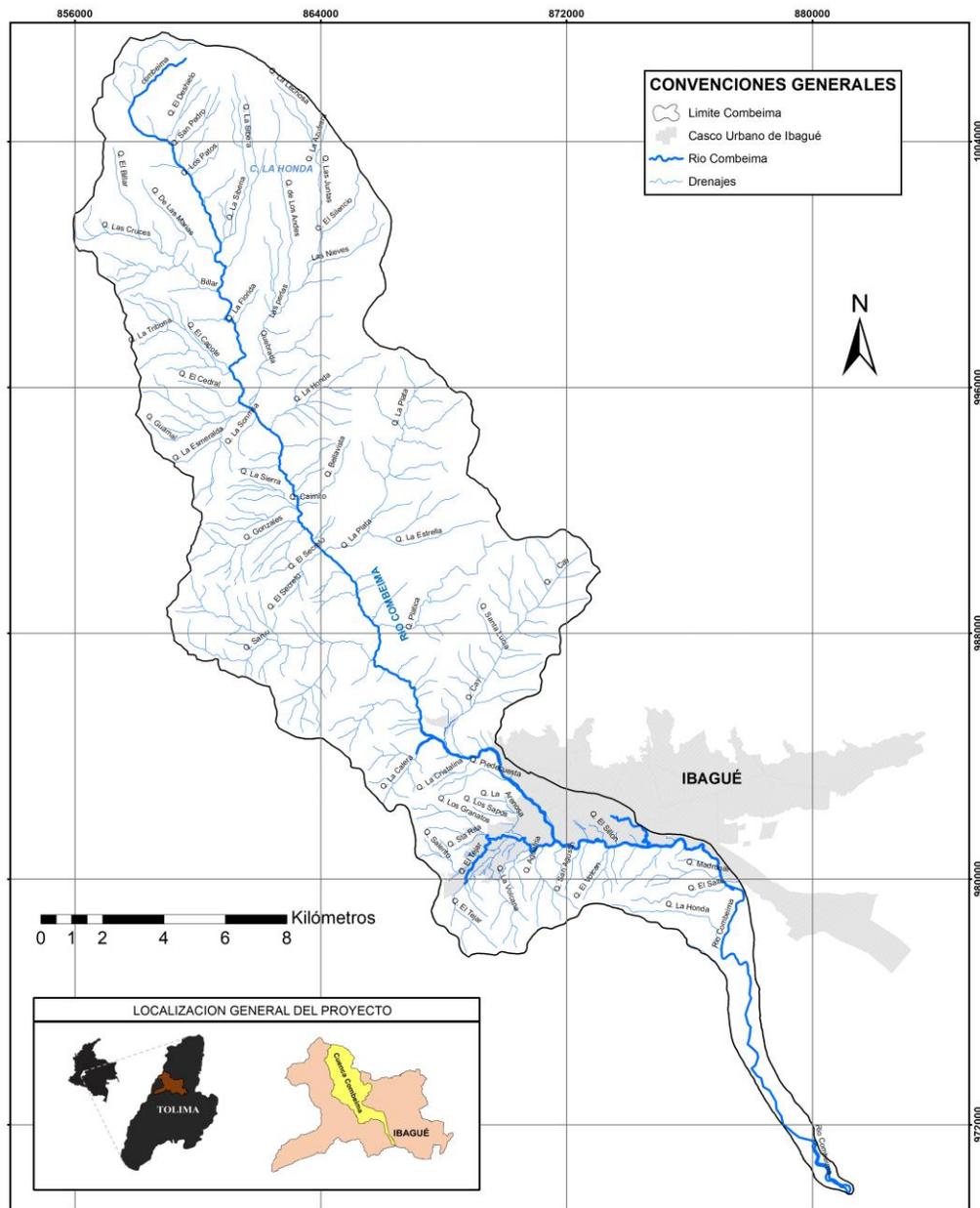
3.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA

La cuenca del río Combeima se encuentra localizada en el municipio de Ibagué (Figura 1.), en la parte central del departamento del Tolima (Colombia), ubicada entre los 04°19'30" y 04°39'57" de latitud Norte y los 75°10'11" y 75°23'23" de longitud Oeste, sobre el flanco oriental de la cordillera central (Guevara, Reinoso & Villa, 2006; DNP, 2009). Limita al Norte con el municipio de Anzoátegui, al Occidente con la cuenca del río Coello, al Oriente con las cuencas hidrográficas de los ríos La China, Alvarado y Chipalo, y al Sur con las cuencas de los ríos Opia y Coello (DNP, 2009).

Con una superficie aproximada de 27.256 *ha* y altitudes que van desde 5.200 *m.s.n.m.*, en el nacimiento en el Nevado del Tolima, hasta los 700 *m.s.n.m.*, en la desembocadura al río Coello, la cuenca del río Combeima presenta pendientes muy escarpadas a muy onduladas en cerca del 73% de su área total, los cuales favorecen los procesos erosivos y de movimientos en masa; distribuida en ocho provincias climáticas (Guevara *et al.*, 2006) y 10 zonas de vida de Holdridge (DNP, 2009). La población asentada en la cuenca se estima en 106.958 personas, de las cuales, 9.958 residen en área rural, desde la parte baja en el sector Aparco, hasta el Volcán Nevado del Tolima (DNP, 2009).

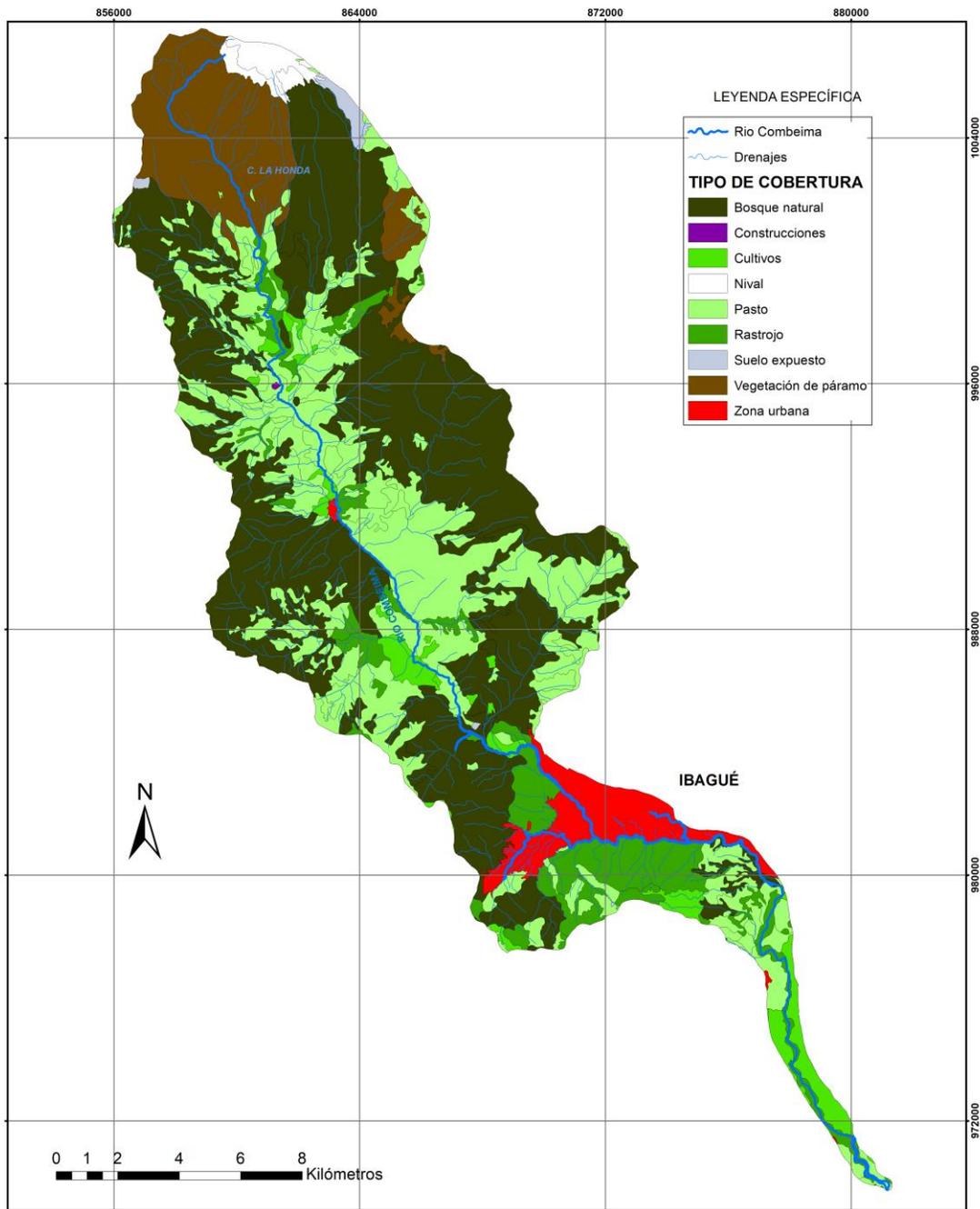
La oferta hídrica neta se estima en 5,31 $m^3 \cdot s^{-1}$ (CORTOLIMA, CORPOICA, SENA & Universidad del Tolima, 2006), favorecida por las coberturas del suelo (Figura 2.), que según la información obtenida del Proyecto Cuenca del Combeima de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), se distribuyen en: bosque natural (11.977,05 *ha*), construcciones y zona urbana (1.300,74 *ha*) cultivos (879,86 *ha*), nival (366,84 *ha*), pastos (7.558,59 *ha*), rastrojo (2.301,98 *ha*) suelo expuesto (2.862,3 *ha*) y vegetación de paramo (2.730 *ha*) (H. Rodríguez, comunicación personal, 22 de noviembre de 2016).

Figura 1. Mapa de localización de la cuenca del río Combeima en el contexto colombiano.



Fuente: Guauque a partir de la información cartográfica facilitada por la subdirección de Planeación y Gestión Tecnológica de CORTOLIMA, el 28 de junio de 2016.

Figura 2. Mapa de coberturas del suelo en la cuenca del río Combeima (Tolima, Colombia).



Fuente: Guauque a partir de la información cartográfica facilitada por la subdirección de Planeación y Gestión Tecnológica de CORTOLIMA, el 28 de junio de 2016.

3.2 FASES DE LA EVALUACIÓN DE LA HH DE LA CUENCA DEL RÍO COMBEIMA.

Para identificar los impactos sobre el recurso hídrico de los multisectores que realizan actividades en la cuenca del río Combeima, se desarrollaron las fases propuestas en los manuales de evaluación de la HH (CTA, 2013a; IICA, 2017a):

Fase 1. Alcance general de la evaluación de la HH.

Fase 2. Cuantificación de la HH multisectorial.

Fase 3. Análisis de sostenibilidad.

Fase 4. Estrategias de respuesta.

3.2.1 Fase 1: Alcance general de la evaluación de la HH. La evaluación hecha de la HH fue del orden multisectorial, y dependió de la cantidad, calidad y validez de la información, acorde con los lineamientos de CTA (2013b).

3.2.1.1 Alcance geográfico. Se tomó como unidad de trabajo la cuenca hidrográfica del río Combeima, que corresponde a una única unidad político-administrativa, toda vez que el área total de la cuenca corresponde al 19% de la extensión del municipio de Ibagué (Tolima, Colombia).

3.2.1.2 Alcance de la información base. La información base sobre aspectos como la relación de los usuarios del río Combeima, las concesiones de agua en la cuenca, los reportes gráficos y listados de títulos mineros vigentes, las solicitudes vigentes de concesión y legalización minera y los títulos mineros y las resoluciones de suspensión de títulos en la cuenca, así como los usuarios con conexión a la red de acueducto y alcantarillado, entre otros, se consiguió mediante visitas hechas principalmente CORTOLIMA, la Asociación de Usuarios del Río Combeima -ASOCOMBEIMA, la Agencia Nacional de Minería – ANM e IBAL S.A. E.S.P. OFICIAL.

Luego de verificar la información secundaria mediante visitas de campo y la aplicación de encuestas de percepción, se procedió a describir los sectores presentes en la zona de influencia del estudio. Con este fin, se desarrollaron las siguientes acciones:

- Se comparó la información reportada por CORTOLIMA y ASOCOMBEIMA para verificar la distribución de los $L \cdot s^{-1}$ de agua concesionados.

- Se definieron las actividades del sector minero a partir de la información reportada por la ANM en los años 2014 y 2017.

- Se dividieron los sectores presentes en la cuenca entre: a) los que involucran el uso del agua, b) los que solo captan el recurso, y c) los que realizan vertimientos con altas cargas contaminantes.

3.2.1.3 Alcance temporal. Se requirió restricción del tiempo debido a la disponibilidad limitada de mediciones para algunas variables a nivel de cuenca. En este sentido, se definió como agregación temporal la vigencia 2015, debido a la falta de series temporales completas de datos para años anteriores, o desagregado mes a mes, para la zona de influencia de la cuenca de estudio por multisector.

3.2.1.4 Alcance metodológico. Se incluyeron las cuatro fases citadas en los Manuales CTA (2013b) e IICA (2017b) a los cuatro sectores incluidos en el estudio y se establecieron tres aspectos metodológicos generales: a) determinar la HH multisectorial, b) evaluar la sostenibilidad de la HH multisectorial de la cuenca, basada en un análisis ambiental, económico y social de los resultados de cuantificación y c) formular propuestas y estrategias multisectoriales orientadas a mejorar la sostenibilidad del recurso hídrico en la cuenca.

3.2.2 Fase 2. Cuantificación de la HH multisectorial. A partir del resultado de la caracterización de los sectores (primario, secundario y terciario), se utilizó la metodología definida en las guías del CTA (2013b) e IICA (2017b), para la cuantificación de la HH multisectorial.

3.2.2.1 Sector primario. Se incluye toda actividad agrícola y pecuaria desarrollada en la zona de influencia del proyecto.

- Sector agrícola. La HH del sector agrícola se cuantificó según las metodologías de Builes (2013), CTA (2013a,b) e IICA (2017a,b), complementadas con información básica de coberturas, fases y parámetros productivos de los cultivos obtenida de FAO (2006); CENICAFE (2007); IDEAM (2010), características hídricas de los suelos del programa SPAW Hidrology (2007) e información hidroclimatológica y de humedad del suelo de Builes (2013) y el programa CLIMWAT (2016).

La caracterización de los sistemas de producción que se desarrollan en los predios o fincas seleccionadas en la cuenca del Combeima se hizo mediante la aplicación de un instrumento de encuesta estructurada, con el fin de conocer información acerca de las etapas, particularidades y peculiaridades técnicas, tecnológicas, financieras y ambientales de cada uno de ellos.

Adicionalmente, se colectaron muestras de suelo que fueron enviadas al Laboratorio de Servicios de Extensión y Análisis Químicos (LASEREX) de la Universidad del Tolima, con el fin de realizar análisis de pH, Materia Orgánica –M.O., (%), Capacidad de Intercambio Catiónico –C.I.C. ($meq.100g^{-1}$), Conductividad Eléctrica –CE ($dS.m^{-1}$), Fósforo –P ($mg.Kg^{-1}$), Calcio –Ca ($meq.100g^{-1}$), Magnesio –Mg ($meq.100g^{-1}$), Sodio –Na ($meq.100g^{-1}$), Potasio –K ($meq.100g^{-1}$), Hierro –Fe ($mg.Kg^{-1}$), Cobre –Cu ($mg.kg^{-1}$), Zinc –Zn ($mg.Kg^{-1}$), Manganeso –Mn ($mg.Kg^{-1}$), Boro –B ($mg.Kg^{-1}$), Azufre –S ($mg.kg^{-1}$), Aluminio –Al ($meq.100g^{-1}$), Saturación de Aluminio (%), Saturación de Bases (%),

relación $Ca.Mg^{-1}$, relación $(Ca+Mg).K^{-1}$, relación $Mg.K^{-1}$, Arcilla –Ar (%), Limo –L (%) y Arena –A (%).

Para determinar el HV y HA del sistema de producción, se empleó el programa CROPWAT 8.0 (FAO, 2010), donde la entrada de datos se basa en la precipitación presente en la zona, como no toda es absorbida por el sistema de producción, el software realiza las operaciones solo con la precipitación efectiva (agua de precipitación absorbida directamente por el sistema de producción) y el agotamiento crítico.

Adicionalmente, el programa considera la irrigación como un suplemento de agua que se añade con el fin de satisfacer las necesidades del sistema de producción que presenta déficit hídrico por bajas precipitaciones, y como no toda el agua usada para riego es evapotranspirada por el sistema agrícola ya que una parte de esta regresa al sistema por el drenaje, se obtiene la diferencia entre el riego bruto y el riego neto aplicado. Como el volumen de riego aplicado es una decisión humana, puede existir diferencia entre el requerimiento de riego del sistema de producción y el riego realmente aplicado.

La fórmula general para la estimación de HA y HV, por evapotranspiración (ET) es:

$$Rr = Rh - Pe$$

Donde:

Rr: requerimiento de riego.

Rh: requerimiento hídrico del sistema de producción.

Pe: precipitación efectiva.

Si el suelo tiene un déficit de agua al momento de la cosecha, esta agua ha sido evapotranspirada por el sistema de producción y se asigna a la *ETverde*, que es igual al mínimo entre requerimiento hídrico del sistema de producción y la precipitación efectiva, entonces:

$$ET_{verde} = ET_{tav} + \text{Déficit de agua al momento de la cosecha.}$$

Donde:

ET_{tav} : evapotranspiración total de agua verde.

Mientras que la ET_{azul} es igual al mínimo entre el riego neto total y el requerimiento de riego.

Para cuantificar la HV y HA con el programa CROPWAT 8.0, fue necesario ingresar los datos por cultivo priorizado de la Tabla 3..

Tabla 3. Valores de los parámetros solicitados por el programa CROPWAT 8.0 (FAO 2010) para obtener los valores de huellas hídricas verde y azul (HV y HA) de los cultivos a) Café (*Coffea arabica* L). b) Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), c) Hortalizas, d) Caña panelera (*Saccharum officinarum* L.), e) Arroz (*Oryza sativa* L.) y f) Sorgo (*Sorghum vulgare* Pers).

Parámetro	a)	b)	c)	d)	e)	f)
Fecha de siembra (día/mes)	15/06	01/05	01/03	01/02	01/03, 01/09	01/03
K_c (inicial)	1,05	0,4	0,59	0,55	1,10	0,30
K_c (medio)	1,10	1,15	1,06	0,90	1,05	1,00
K_c (final)	1,10	0,90	0,77	0,70	0,95	0,55
Etapas Inicial (días)	30,00	20,00	25,00	50,00	20,00	20,00
Etapas desarrollo (días)	30,00	30,00	36,00	70,00	30,00	35,00
Etapas medio (días)	80,00	30,00	40,00	220,00	40,00	40,00
Etapas final (días)	40,00	10,00	18,00	140,00	30,00	30,00
Profundidad radicular mínima (m)	0,90	0,50	0,50	1,20	0,50	1,00
Profundidad radicular máxima (m)	1,50	0,70	1,0	2,00	1,00	2,00
Agotamiento crítico de humedad (inicial)	0,40	0,45	0,35	0,65	0,20	0,55

Parámetro	a)	b)	c)	d)	e)	f)
Agotamiento crítico de humedad (medio)	0,40	0,45	0,35	0,65	0,20	0,55
Agotamiento crítico de humedad (final)	0,40	0,45	0,35	0,65	0,20	0,55
Factor de respuesta rendimiento (inicial)	0,52	1,15	1,00	1,20	0,90	0,90
Factor de respuesta rendimiento (desarrollo)	0,52	1,15	1,00	1,20	0,90	0,90
Factor de respuesta rendimiento (medio)	0,52	1,15	1,00	1,20	0,90	0,90
Factor de respuesta rendimiento (final)	0,52	1,15	1,00	1,20	0,90	0,90
Humedad de suelo ($Mm \cdot m^{-1}$)	106,00	111,00	111,00	108,00	108,00	108,00
Tasa máxima de infiltración ($Mm \cdot día^{-1}$)	29,76	24,48	24,48	11,52	11,52	11,52
Agotamiento inicial de la humedad (%)	0,00	50,00	0,00	50,00	0,00	0,00
Rendimiento ($t/ha/ciclo$)	1,02	1,50	2,00	6,00	6,80	3,00

Fuente: FAO (2006), CENICAFÉ (2007), IDEAM (2010), Builes (2013) y los manuales de usuario de los programas SPAW Hidrology (2007) y CLIMWAT para CROPWAT (2016).

El cálculo de la HG de los sistemas de producción tuvo como referente información respecto a la tasa de lixiviación del nitrógeno que se presenta en el agua debido a la aplicación de fertilizantes y agroquímicos (plaguicidas, insecticidas y herbicidas), en cada una de las actividades de manejo del sistema de producción agrícola. La metodología divide la cantidad de fertilizante predominante o más utilizado por sistema de producción ($kg \cdot ha^{-1}$), entre la diferencia de la concentración máxima permitida ($kg \cdot m^{-3}$) y la concentración natural ($kg \cdot m^{-3}$), presentada en la siguiente expresión (Hoekstra *et al.*, 2011 citado por Builes, 2013):

$$HG = \frac{FA}{C_{max} - C_{nat}}$$

Donde:

HG: Huella Hídrica Gris ($m^3 \cdot ha^{-1}$).

FA: cantidad de fertilizante aplicado ($kg \cdot ha^{-1}$).

C_{max} : concentración máxima permitida en el agua ($kg \cdot m^{-3}$).

C_{nat} : concentración natural en el agua ($kg \cdot m^{-3}$).

El valor obtenido corresponderá al valor de HG de un producto agrícola en una hectárea cultivada ($m^3 \cdot ha^{-1}$). Sin embargo, es necesario dividir este valor por el rendimiento del sistema de producción agrícola ($t \cdot ha^{-1}$), para obtener la cantidad de m^3 de agua que se requieren para diluir la carga contaminante que se presenta en el cuerpo de agua por tonelada de producto agrícola obtenido, hasta un máximo permisible de $30 \text{ mgN} \cdot L^{-1}$ (Builes, 2013).

- Sector pecuario. La evaluación de la HH, se realizó mediante las metodologías de Builes (2013), CTA (2013a,b) e IICA (2017a,b), con información básica de fases y parámetros productivos de los cultivos obtenida de FAO (2006); CENICAFE (2007) e IDEAM (2010), características hídricas de los suelos del programa SPAW Hidrology (2007) e información hidroclimatológica y de humedad del suelo de Builes (2013) y el programa CLIMWAT (2016).

Las poblaciones para los subsectores porcino, avícola, equino, ovino, bufalino y caprino se determinaron a partir de los valores reportados en el censo nacional del sector pecuario para Colombia, del Instituto Colombiano Agropecuario (H. Orjuela, comunicación personal, 07 de febrero del 2017). Se usó como referencia el 19% del total de cada población reportada para el municipio de Ibagué, debido a que es el porcentaje de la cuenca dentro de la unidad geopolítica (Builes, 2013).

En el caso del subsector bovino, se usaron los valores reportados por Comité de Ganaderos del Tolima - CGT (C. Silva, comunicación personal, 26 de octubre de 2016) para las veredas que se encuentran incluidas dentro de la zona de estudio.

Para la cuantificación de la $HH_{pecuaria}$, se consideró que esta es igual a la sumatoria de las HH cuantificadas a partir del proceso de alimentación de los animales (materia seca o forraje verde), el recurso hídrico que se utiliza para el manejo de los animales en las diferentes actividades pecuarias, y el agua consumida por los animales, así (CTA, 2013a,b):

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

Donde:

HH alimento: HV calculada mediante el Software CROPWAT 8.0, con los parámetros de la

Tabla 4. y los rendimientos por especie de la Tabla 5.

HH servidumbre: consumo de agua (m^3) para el manejo de los animales en las diferentes actividades pecuarias, estimados a partir de IDEAM (2010).

HH consumo: volumen de agua que consumen los animales ($m^3 \cdot año^{-1} \cdot cabeza^{-1}$ o $m^3 \cdot año^{-1} \cdot ave^{-1}$), estimado a partir de IDEAM (2010, 2015) y FAO (2012, 2013).

Tabla 4. Valores de los parámetros solicitados por el programa CROPWAT 8.0 (FAO 2010) para obtener los valores de huellas hídricas verde y azul (HV y HA) de los cultivos de la parte alta (kikuyo (*Pennisetum clandestinum* L.)) y la parte media y baja (Estrella (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst), India (*Panicum máximum* Jacq.) y Angletón (*Dichanthium aristatum* Poir))

Parámetro de los sistemas de producción	Parte alta	Parte media y baja
Kc (inicial)	0,52	0,52
Kc (medio)	0,89	0,89
Kc (final)	0,74	0,74
Etapa Inicial (días)	11,00	11,00
Etapa desarrollo (días)	20,00	20,00
Etapa medio (días)	34,00	34,00
Etapa final (días)	72,00	72,00
Profundidad radicular mínima (m)	0,30	0,30
Profundidad radicular máxima (m)	0,70	0,70
Agotamiento crítico de humedad (inicial)	0,60	0,60
Agotamiento crítico de humedad (medio)	0,60	0,60
Agotamiento crítico de humedad (final)	0,60	0,60
Factor de respuesta rendimiento (inicial)	1,00	1,00
Factor de respuesta rendimiento (desarrollo)	1,00	1,00
Factor de respuesta rendimiento (medio)	1,00	1,00
Factor de respuesta rendimiento (final)	1,00	1,00
Humedad de suelo ($Mm \cdot m^{-1}$)	88,00	108,00
Tasa máxima de infiltración ($Mm \cdot día^{-1}$)	9,84	11,52
Agotamiento inicial de la humedad (%)	50,00	50,00

Fuente: FAO (2006), CENICAFÉ (2007), IDEAM (2010), Builes (2013) y los manuales de usuario de los programas SPAW Hidrology (2007) y CLIMWAT para CROPWAT (2016).

Tabla 5. Rendimiento y tipo de especies de pastos según la ubicación en la cuenca.

Ubicación en la cuenca	Especie de pasto	Tipo de crecimiento	Rendimiento ($t \cdot ha^{-1} \cdot corte$)
Parte alta	Kikuyo (<i>P clandestinum</i> L.)	Rastrero	13
Parte media	Estrella (<i>C nlemfuensis</i> Vandyers)	Rastrero	16
	India (<i>P maximum</i> Jacq.)	Erecto	15
Parte baja	Angletón (<i>D aristatum</i> Poir)	Semierecto	6

Fuente: Arcos, J. comunicación personal, 23 de marzo de 2017.

La cuantificación de la HG se realizó con los parámetros de Builes (2013), contabilizando solo Nitrógeno - N a una tasa de lixiviación del 10%. Se calculó con los valores obtenidos de León *et al.* (2008) citados en Builes (2013), donde se usó para bovinos el valor de excreción fecal de N de $210,9 \text{ g} \cdot \text{día}^{-1}$ y excreción urinaria de N de $240,6 \text{ g} \cdot \text{día}^{-1}$; para equinos se consideró el aporte promedio de N de $1.750 \text{ g} \cdot \text{día}^{-1}$. En el caso de las aves y porcinos, según el método de estimación indirecta de contaminación citada en Builes (2013), se partió de que un habitante (persona) contamina en promedio $0,012 \text{ kg}_N \cdot \text{día}^{-1}$, mediante equivalencias entre la contaminación generada por persona y animales. Así, un cerdo contamina lo que 3 habitantes, mientras que una gallina entre 0,15 y 0,25 habitantes.

3.2.2.2 Sector Secundario. Para la evaluación de la HH del sector, se siguió las metodologías de CTA (2013 a,b), CTA; GSI-LAC; COSUDE e IDEAM. (2015), IDEAM (2015) e IICA (2017a,b), complementadas con información sobre vertimientos obtenida de la Resolución 631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS (Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones) y el listado de concesiones de agua y usuarios con permisos de vertimientos, obtenida de CORTOLIMA y ASOCOMBEIMA.

- Huella hídrica azul Industrial - HA_i . Se estimó a partir de los datos de los volúmenes de agua que ingresa y el que es vertido a los sistemas de saneamiento o a las fuentes hídricas, mediante la expresión (IDEAM, 2015a):

$$HA_i = VoIAE - VoIAS$$

Donde:

HA_i : huella hídrica azul por establecimiento ($m^3 \cdot año^{-1}$).

$VoIAE$: volumen total de agua utilizada por establecimiento ($m^3 \cdot año^{-1}$).

$VoIAS$: volumen total de agua residual generada por establecimiento ($m^3 \cdot año^{-1}$).

- Huella hídrica gris Industrial - HG_i . La cuantificación se basó en la metodología de CTA (2013a,b), así:

$$HG_i = \frac{\sum((Q_{\text{vertido}} \times C_{\text{vertimiento}}) - (Q_{\text{captado}} \times C_{\text{captación}}))}{C_{\text{max}} - C_{\text{nat}}}$$

Dónde:

HG_i : Huella Hídrica Gris Industrial.

Q_{vertido} : caudal vertido ($m^3 \cdot año^{-1}$).

$C_{\text{vertimiento}}$: concentración del contaminante ($mg \cdot L^{-1}$).

Q_{captado} : caudal de entrada ($m^3 \cdot año^{-1}$).

$C_{\text{captación}}$: concentración de entrada ($mg \cdot L^{-1}$).

C_{max} : concentración Máxima permisible.

C_{nat} : concentración natural.

3.2.2.3 Sector terciario. Para la cuantificación de la HH, se estimó el valor correspondiente al 97% del agua cruda que ingresa al sistema del IBAL S.A. E.S.P. OFICIAL y que proveniente del río Combeima, toda vez que el 3% restante del volumen

pertenece al caudal de la quebrada Chembe y según el especialista del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura – IICA “no es objeto de cálculo al considerarse que no es un valor relevante” (D. Moreira, comunicación personal, 16 de abril de 2017).

El cálculo de la HH del sector terciario siguió las metodologías de CTA (2013a,b), complementada con información de las concesiones por afluente de la cuenca del río Combeima (M. Rojas, comunicación personal, 5 de agosto de 2016), la concentración máxima permitida de referencia ($mg \cdot L^{-1}$) de la resolución 0631 de 2015 del MADS, el número de usuarios, los consumos y las características del sistema de acueducto y alcantarillado (R. Salazar, comunicación personal, 28 de julio de 2016, J. Núñez, comunicación personal, 03 de agosto de 2016, C. Gutiérrez, comunicación personal, 18 de agosto de 2016, R. Salazar R, comunicación personal, 18 de agosto de 2016, L. Bonilla, comunicación personal, 22 de agosto de 2016, L. Bonilla, comunicación personal, 30 de septiembre de 2016, R. Salazar, comunicación personal, 21 de octubre de 2016, L. Bonilla, comunicación personal, 04 de noviembre de 2016, R. Salazar, comunicación personal, 12 de enero de 2017).

- Huella Hídrica Azul del sector Terciario - HA_T : Para la estimación se usó la base conceptual y metodológica de CTA (2013a,b) mediante la expresión:

$$HA_T = (QEAI - QVAI) + (QCF - QVUSU) + Qempacado PTAP$$

Donde:

HA_T : huella hídrica azul del sector terciario.

$Q EIA$: caudal de entrada de acometidas ilegales

$Q VAI$: caudal vertido por acometidas ilegales

$Q CF$: caudal de consumo facturado

$Q VUSU$: caudal vertido por los usuarios

- Huella Hídrica Gris del sector Terciario – HG_T . La cuantificación se basó en la metodología de CTA (2013a,b), así:

$$HG_T = \frac{\sum((Q \text{ vertido} \times C \text{ vertimiento}) - (Q \text{ captado} \times C \text{ captación}))}{C_{\text{max}} - C_{\text{nat}}}$$

Dónde:

HG_T : huella hídrica gris del sector terciario.

Q vertido: caudal vertido ($m^3 \cdot \text{año}^{-1}$).

C vertimiento: concentración del contaminante vertido.

Q captado: caudal de entrada ($m^3 \cdot \text{año}^{-1}$).

C captado: concentración de entrada.

3.2.3 Fase 3: análisis de sostenibilidad. Para el desarrollo de la presente fase, se consultó la información oficial de los precios de los cultivos (FEDEARROZ, 2017; Frigorífico Guadalupe, 2017; FENAVI, 2017; IBAL S.A. E.S.P. OFICIAL, 2017), la hidrológica de la cuenca (CORTOLIMA, *et al.*, 2006), coberturas y distribución de los servicios (AMI & CPT, 2011; FAO, 2016, V. Salazar, comunicación personal, del 08 de agosto del 2016).

3.2.3.1 Sostenibilidad ambiental. La evaluación de la sostenibilidad ambiental se realizó de acuerdo con las metodologías de CTA (2013b) e IICA (2017b), en donde se plantea que las sumatorias de los valores obtenidos de la cuantificación de las HA, HV y HG multisectoriales son divididos por los valores específicos de la zona asociadas al estado de la oferta hídrica, la disponibilidad de agua verde y la escorrentía real, respectivamente, mediante la aplicación de los índices de escasez.

- Índice de Escasez de Agua azul - IEAA. De acuerdo a IICA (2017b) se obtuvo a partir de la expresión:

$$IEAA = \frac{\sum HA}{OHD \text{ año medio}}$$

Donde:

IEAA: Índice de Escasez de Agua Azul

ΣHA : huella hídrica azul multisectorial al interior de la cuenca hidrográfica en un período de tiempo (*volumen·tiempo⁻¹*).

OHD año medio: oferta hídrica disponible en año medio; determina la disponibilidad de agua azul en la cuenca hidrográfica para un período de tiempo (*volumen·tiempo⁻¹*).

El IEAA se valoró según las categorías definidas en la Tabla 6..

Tabla 6. Categorías de valores usados para estimar el Índice de Escasez de Agua azul en la cuenca del río Combeima (Tolima, Colombia).

Categoría	Estado
> 1,0	Valor crítico que indica una huella hídrica azul que excede la oferta, por lo que solo se puede explicar considerando que son áreas con una fuente de agua alterna, por ejemplo, subterránea no contabilizada.
0,5 a 1,0	Valor muy alto o donde existe evidencia de una situación límite en términos de competencia por agua azul.
0,2 a 0,5	Valor alto o donde existe una alerta ya que la demanda de agua azul multisectorial supera el 20 % del total disponible.
0,1 a 0,2	Valor moderado o zonas donde existe evidencia de una situación de uso y no retorno de agua azul multisectorial que supera el 10 % del total disponible.
< 0,1	Valor bajo y muy bajo o donde se considera que existe una situación favorable, en términos de oferta-demanda de agua azul.

Fuente: IICA (2017b).

- Índice de Escasez de Agua verde - IEAV. El Índice de Escasez de Agua verde específico para el sector primario cuantificado en la presente investigación, de acuerdo a IICA (2017b), se estimó mediante la siguiente expresión:

$$IEAV = \frac{\sum HV \text{ total}}{DAV \text{ total}}$$

$$DAV \text{ mensual} = ET_{x,t}(\text{total}) - ET_{x,t}(\text{natural}) - ET_{x,t}(\text{inprod})$$

Donde:

IEAV: Índice de Escasez de Agua verde.

$\sum HV, \text{ total}$: sumatoria de la huella hídrica verde por cuenca en un período de tiempo ($\text{volumen} \cdot \text{tiempo}^{-1}$).

DAV: disponibilidad de agua verde en la cuenca para el período de tiempo ($\text{volumen} \cdot \text{tiempo}^{-1}$).

$ET_{x,t}(\text{total})$: es el valor de la evapotranspiración real (total), que corresponde a la sumatoria del valor en $\text{mm} \cdot \text{ciclo}^{-1}$ por cultivo, obtenidos del software CROPWAT 8.0.

$ET_{x,t}(\text{natural})$: es el valor de evapotranspiración real (natural), obtenido de multiplicar evapotranspiración real (total) por 44%, porcentaje que corresponde a la cobertura de áreas naturales en la zona de ladera de la cuenca del río Combeima (FAO, 2016).

$ET_{x,t}(inprod)$: es el valor de evapotranspiración real (in productivas), obtenido de multiplicar evapotranspiración real (total) por 40%, correspondiente al porcentaje de cobertura de zonas improductivas (FAO, 2016).

El IEAV se valoró de acuerdo con las categorías definidas en la Tabla 7..

Tabla 7. Categorías de valores usados para estimar el IEAV, en la cuenca del río Combeima (Tolima, Colombia).

Categoría	Estado
> 1,0	Valor crítico que denota que existe clara competencia por agua verde entre el uso del suelo vinculado al sector agropecuario y las áreas naturales asociadas a ecosistemas estratégicos para la producción de agua en las cuencas.
0,8 a 1,0	Valor Muy alto o donde existe evidencia de una situación límite en términos de competencia por agua verde.
0,5 a 0,8	Valor Alto o donde existe evidencia de una situación de competencia por agua verde.
0,3 y 0,5	Valor Moderado o zonas donde existe una alerta de demanda de agua verde por parte del sector agropecuario que supera el 30 % del total disponible.
0,1 a 0,3	Valor bajo.
<0,1	Valor muy bajo o donde se considera que existe una situación favorable para ecosistemas estratégicos en las cuencas.

Fuente: IICA (2017b).

- Nivel de contaminación del agua -NCA. De acuerdo IICA (2017b) el nivel de contaminación del agua se calculó a partir de la siguiente expresión:

$$NCA = \frac{\sum HG}{R_{total}}$$

Donde:

NCA: nivel de contaminación del agua.

ΣHG : huella hídrica gris multisectorial al interior de la cuenca hidrográfica en un período de tiempo (*volumen·tiempo⁻¹*).

R_{total} : escorrentía real (*volumen·tiempo⁻¹*).

Los valores de referencia indican que, si NCA es >100%, entonces está excedida la capacidad de asimilación de la cuenca, y si es <100%, la capacidad de asimilación es adecuada (IICA, 2017b).

3.2.3.2 Sostenibilidad económica. Para la evaluación de la sostenibilidad económica, las metodologías de CTA (2013b) e IICA (2017b) proponen calcular la productividad aparente del agua y de la tierra.

- Productividad Aparente del Agua - AWP. De acuerdo al CTA (2013a,b), la productividad aparente del agua se obtuvo mediante la expresión:

$$AWP = \frac{\text{Precio de mercado (\$/unidad de producto)}}{\text{Huella hídrica (m}^3\text{/unidad de producto)}}$$

Donde:

AWP azul: Productividad aparente del agua azul, ($\$.m^{-3}$) de agua azul consumida

AWP verde: Productividad aparente del agua verde, ($\$.m^{-3}$) de agua verde consumida

Precio del mercado: del orden nacional.

Huella hídrica: HA o HV causada para la obtención del producto.

- Productividad aparente de la tierra - APL. De acuerdo al CTA (2013a,b), la productividad aparente de la tierra se calculó mediante la expresión:

$$APL = \text{Precio de mercado del cultivo} \cdot \text{Rendimiento}$$

Donde:

APL: productividad aparente de la tierra.

Precio de mercado: a nivel nacional. (*\$.t de producto*)

Rendimiento: en pesos colombianos (\$).

3.2.3.3 Sostenibilidad social. La sostenibilidad social se determinó según los criterios definidos en CTA (2013a,b), por ser indicadores preestablecidos de información disponible para la zona de influencia de la cuenca.

Tabla 8. Criterios usados para evaluar la sostenibilidad social de la cuenca del río Combeima (Tolima, Colombia).

Criterio	Descriptor	Indicador	Sector Involucrado
Protección de la salud.	Salud: Índice de Riesgo por Calidad de Agua (IRCA) y reporte de enfermedades de origen hídrico y transmitidas por vectores.	Reporte de enfermedades. Calificación del IRCA.	Minería. Doméstico. Agropecuario.
Trato equitativo.	Indicadores socioeconómicos de calidad de vida y pobreza.	Consumo en m^3 diferenciado por estrato socioeconómico.	Doméstico.

Criterio	Descriptor	Indicador	Sector Involucrado
Provisión de servicios esenciales	Caudal prioritario reservado. Coberturas en acueducto y alcantarillado.	Porcentajes en coberturas.	Doméstico. Energía.

Fuente: CTA (2013b).

3.2.4 Fase 4. Estrategias de respuesta. Se usó la metodología de CTA (2013b) ajustada para formular propuestas y estrategias de orden multisectorial, orientadas a mejorar la sostenibilidad del recurso hídrico en la cuenca estudiada, basados en los resultados de cuantificación y líneas de acción asociadas a la gestión ambiental en cuencas (MADS, 2010; Ministerio de Obras Públicas de Chile, 2012; CORTOLIMA, 2013) de las características geológicas (Cuellar *et al.*, 2014) y económicas regionales (DANE, 2016).

Esta fase, se basa en un enfoque dirigido a reconocer y actuar sobre las categorías de uso del agua para la gestión integral, donde se trabaja áreas estratégicas e interdependientes sociales, económicas, ambientales, institucionales, tecnológicas y de conocimiento. Como resultado se obtuvo la formulación de estrategias que apuntan a reconocer las particularidades y formular acciones concretas para puntos críticos del territorio.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 DESCRIPCIÓN DE LOS SECTORES EN EL ÁREA DE ESTUDIO

4.1.1 Sector primario.

4.1.1.1 Sector agrícola. De acuerdo con FAO (2016), en la cuenca del río Combeima se presentan sistemas productivos agrícolas de Arroz (*O sativa*, L), Café (*C arabica*, L), Frijol (*P vulgaris*, L), Caña panelera (*S officinarum*, L), Sorgo (*S vulgare*, Pers.) y hortalizas, principalmente.

a. Sistema de producción Arroz (O. sativa, L.). El sistema de producción Arroz, ocupa 281,15 *ha*, equivalentes al 7% del total de las hectáreas sembradas en la zona de estudio. Su ciclo de producción es de 120 días, en los cuales se puede obtener la primera cosecha.

El sistema productivo utilizado es el riego por nivel, con lámina de agua de 8 *cm*. El terreno es preparado con un (01) mes de anterioridad, mediante el uso de tractor con rastra, rastrillo y pala. La siembra de semilla seca se hace de manera tecnificada, con una distancia de 8 *cm* entre surcos.

La fertilización se realiza dos veces por año, aplicando Mezclas Nórdicas triple 18 grado: 18-18-18, Korn-Kali +b 0-0-40-6+4(s) -02:5 (b), Abocol 12-24-12, KCL 0-0-60 mediante aspersión aérea. Para el control de malezas, plagas y enfermedades que se puedan presentar en el sistema de producción, se aplican productos agroquímicos como Bispyrifed 100 S.C., Clomafed E.C., Glifofed 48 S.L., Piclofed S.L., Fedeamina 4 S.L., Propanil 500 Fedearroz, Butaclor 600 Fedearroz, Cialoled E.C., Felino 400 E.C. Fedearroz, Insectrina Fedearroz 20 E.C., Carbendazim Fedearroz 500 S.C., Duofed Fedearroz 500 E.C., Propiconafed Fedearroz 25 E.C., Tebuconafed Fedearroz 250 E.W.,

Difenofed Fedearroz 25 E.C. y Mancozeb Fedearroz 430 S.C., mediante la contratación de equipos de Aguilón.

Después de las etapas anteriores, el producto es recolectado de manera tecnificada y almacenado en bultos, con una producción aproximada de 140 bultos por hectárea, que son comercializados directamente en los molinos más cercanos.

b. Sistema de producción Café (C. arabica, L.). Ocupa 422,24 ha, equivalente al 10% del total de las hectáreas sembradas en la zona de estudio. Su ciclo de producción corresponde a 180 días, en los cuales se puede obtener la primera cosecha después de estar plantado en el terreno.

La germinación se realiza los primeros 2 meses, por medio del método de piso; se prepara y desinfecta el terreno por 1 mes mediante uso de azadón y palín, ya que, por las pendientes marcadas en la zona, no se puede utilizar maquinaria.

Se siembra en cuadros de 4m x 4m, con dos procesos de fertilización (Triple 15 y Urea) y dos de control de maleza, plagas y enfermedades con machetes y guadañas, acompañadas de productos químicos como Glicocafe, Glifosol, Lorsban mediante el uso de bomba de espalda.

Finalmente se recolecta el grano a mano y se entrega despulpado y seco en bultos al intermediario para que realice su comercialización.

c. Sistema de producción Frijol (P. vulgaris, L.). Cubre una extensión 33,44 ha, con un ciclo de producción de 90 días para recolectar la primera cosecha.

Para este sistema de producción se utiliza el método de germinación aéreo, el cual cuenta con una duración de 30 días, igual a la duración de la preparación y desinfección

del terreno, donde se emplean herramientas, como machete y azadón, y se aplican agroquímicos, como Cal, Glifosato, Paraquat y Yodo.

La siembra se efectúa en cuadro, con una distancia de $0,30\text{ m} \times 0,30\text{ m}$, acompañada de la fertilización con los agroquímicos Glifosato y Urea, aplicados una vez se siembra la plántula, y la abonada con productos como el Triple 15, aplicado en contorno de la planta.

Para las posibles malezas, plagas y enfermedades que pueda presentar el sistema de producción, se realiza un control químico mensual con productos como Glifosol, Gramaxone y Lorsban, por aspersión, así como el corte de la maleza con machetes.

El producto es cosechado teniendo en cuenta el color del fruto, el cual indica la madurez del mismo y su posibilidad de ser comercializado.

d. Sistema de producción Caña panelera (S. officinarum, L). Cubre una extensión de 4,94 ha que equivale a casi el 1% de las hectáreas sembradas en la cuenca del Combeima, donde se maneja un ciclo de producción de 540 días para recolectar la primera cosecha.

Para este sistema de producción se utiliza el método propagación por esquejes de tres yemas, el cual cuenta con una duración de 50 días, tiempo en el cual se prepara el terreno con herramientas como machete y azadón.

Se siembran los esquejes en línea de [$1.80\text{ m} \times 0.12\text{ m}$] y el manejo se limita al control de malezas con machetes y la verificación del producto según la capacidad para ser comercializado.

e. Sistema de producción Sorgo (S. Vulgare Pers). Cubre una extensión de 34,62 ha igual al 1% de las hectáreas sembradas en la zona de estudio, manejando un ciclo de producción de 125 días para recolectar la primera cosecha.

El método de germinación utilizado es aéreo, el cual cuenta con una duración de 20 días, tiempo utilizado para la preparación del terreno con herramientas como machete y azadón.

La siembra se realiza con una distancia que varía entre 1,20 m. a 1,30 m. Este sistema se caracteriza en la zona del Combeima por la baja tecnificación y cobertura, por lo cual las fases de fertilización y abonada no son realizadas.

f. Sistema de Hortalizas. Cubre una extensión de 103,47 ha igual al 2% de las hectáreas sembradas en la cuenca del Combeima, con un promedio de ciclo de producción de 150 días para recolectar la primera cosecha.

El método de germinación es específico de cada especie, por lo cual se promedió en una duración de 30 días, en los cuales se realiza la preparación del terreno con herramientas como machete y azadón.

Por la baja tecnificación y coberturas por especies, no se realiza fertilización ni proceso de abonada, solo control de arvenses con machete.

4.1.1.2 Sector pecuario. El gerente del Instituto Colombiano Agropecuario seccional Tolima, informó que, en el municipio de Ibagué durante la vigencia de 2015, se presentaron actividades pecuarias asociadas con presencia de individuos en los siguientes subsectores: Avícola (4.190.600), Porcinos (7.493), Equinos (941), Ovinos (274), Caprinos (136) y Bufalinos (117) (M. Orjuela, comunicación personal, 7 de febrero de 2017). Para el subsector Bovino según el gerente del Comité de Ganaderos del Tolima, en la vigencia estudiada estuvo representado por 33.113 cabezas (C. Silva, comunicación personal, 26 de octubre de 2016).

De las 7.558,59 *ha* de pastos presentes en la zona de estudio, según la FAO, solo 3.398,08 *ha* corresponde a pastos manejados que estaban asociados a las actividades pecuarias (H. Rodríguez, comunicación personal, 22 de noviembre de 2016).

a. Pasturas. En el área de estudio 3398,08 *ha* son de pastos manejados que para el presente trabajo se definieron como productivas o cultivadas, su ciclo de producción es de aproximadamente 137 días para recolectar el primer corte.

El método de germinación es específico de cada especie (para los casos en que se compran semillas), por lo cual se promedió en una duración de 11 días, debido a la baja tecnificación, la cobertura por especie y que su uso principal es el autoconsumo, no se realiza fertilización ni abonado, solo control de arvenses con machete.

b. Subsector avícola. En el área de influencia del proyecto, generalmente la dieta de las aves se limitaba a sobras alimenticias y los productos obtenidos (huevos, carne) son de consumo local (H. Vaca, comunicación personal, 05 de octubre de 2017).

La producción de carne, en la cual se utilizan concentrados comerciales, tenía una duración aproximada de siete semanas, tiempo en el cual el pollo está listo para sacrificio, con peso promedio vivo de 4,5 *lb* (hembras y machos). Ello equivale a una conversión alimenticia de 2 *kg* de alimento por *kg* de carne.

La infraestructura utilizada eran galpones de aproximadamente 5 *m* x 2,5 *m*, cuando no tenían sistemas tecnificados para la alimentación, y de 20 *m* x 10 *m*, si tenían líneas de comedero automático de plato y bebederos de niple. Los bebederos se lavaban y desinfectaban todos los días con un producto yodado, excepto cuando se iba a administrar algún antibiótico, pues el yodo puede inactivar los medicamentos.

c. Sistemas de pastoreo. Se caracterizaba por ser de tipo extensivo, tradicional, doble propósito (producción de carne y leche). La nutrición en las diferentes actividades estaba

basada exclusivamente en el pastoreo libre, en gramas naturales o pasturas introducidas hace tiempo, cuya productividad dependía únicamente de la calidad de la tierra, la cual tiene particularidades diferenciales según la ubicación en la cuenca.

Debido a las características socioeconómicas, los potreros de la parte alta de la cuenca del Combeima eran pequeños y el número de cabezas era máximo de 15 individuos. Los bebederos se caracterizaban por ser canecas poco profundas con flujo constante de agua. En cambio, los potreros en la parte media y baja de la cuenca eran hectáreas de descanso de cultivos de arroz y el número de cabezas era máximo de 80 individuos, con bebederos conformados por canecas con agua estancada.

d. Subsector porcícola. Los sistemas porcícolas en el área de estudio se caracterizaban por tener 25 cabezas, o menos, de hembras madres en diferentes tipos de producción, según la capacidad adquisitiva de los productores.

En algunos casos, los animales permanecían atados a un árbol, o a la intemperie, con cantidad variable de alimento, conformado principalmente por sobras y residuos. En otros, los cerdos se encontraban en recintos cerrados o corrales, en donde eran alimentados en forma balanceada, con concentrado estándar o premium, y se cumplían las normas de salubridad e higiene.

4.1.2 Sector secundario. Según el Diagnóstico Socioeconómico del Municipio de Ibagué (Tolima), (Alcaldía Municipal de Ibagué & Centro de Productividad del Tolima – AMI & CPT, 2011) se encuentran 23.180 establecimientos comerciales que desarrollan actividades económicas en la zona urbana del municipio de Ibagué, de los cuales el 12% son industriales (2.460).

En la zona de influencia directa de la cuenca, después del cierre de industrias como FATEXTOL, FRUVERY, PROFILAC, entre otras, para la vigencia 2015 solo se

encontraban en funcionamiento un frigorífico y una empresa productora de yeso para construcción.

4.1.2.1 Carnes del Tolima – CARLIMA. Carnes del Tolima – CARLIMA es un frigorífico de tipo nacional, administrado por el Fondo de Ganaderos del Tolima, con capacidad para procesar 400 *bovinos.día⁻¹* y vigilado por el INVIMA. Brinda servicio de beneficio y faenado de ganado bovino a los comercializadores y expendedores de la ciudad de Ibagué y municipios aledaños, con los estándares de calidad exigidos en la normatividad sanitaria vigente.

Adicionalmente, CARLIMA tiene un sistema productivo porcícola, conformado por un pie de cría de 100 hembras, que se espera incrementar a 200, con el fin de obtener cerca de 4.500 cerdos gordos al año. La carne de estos animales es comercializada en canal o despostada, a través de los puntos de venta de la empresa (Fondo Ganadero del Tolima S.A., 2016).

El frigorífico cuenta con una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales – PTAR, que tiene un porcentaje de remoción de DBO_5 , DQO y SST superior al 95%, y un caudal vertido en la cuenca del Combeima alrededor de $6 L \cdot s^{-1}$, conformado por una mezcla de aguas verdes, rojas y de la porcícola (A, Diaz, Comunicación personal, 26 de agosto del 2016).

4.1.2.2 Yesos de América. Yesos de América es una industria de lavado y comercialización de arena. Tiene la particularidad de que usa el recurso hídrico, pero no realiza captación del mismo, ya que los litros concesionados recorren la roca y regresan al cauce mediante un sistema de turbinas de entrada y salida, con una frecuencia limitada de lunes a viernes de 7:00 AM a 4:00 PM y sábados de 7:00 AM a 12:30 PM (F, Trujillo, Comunicación personal, 16 de agosto del 2016). Por esta razón, no se cuantificó en el presente estudio.

4.1.3 Sector terciario. La caracterización del mismo se realizó a partir de los usuarios asociados a trámites de concesión de agua: a) uso doméstico, b) acueductos y c) consumo humano, según criterio del Dec 1076/15. Adicional, se tomaron en cuenta aquellos usuarios que, para la vigencia de 2015, contaban con permisos de vertimientos de tipo doméstico según información del Subdirector de Calidad Ambiental de CORTOLIMA, que se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9. Valores de las cargas vertidas por tipo de vertimiento doméstico, de los usuarios que cuentan con permiso de vertimiento al río Combeima.

Usuario	Carga contaminante año 2015 (kg·año ⁻¹)	
	DBO ₅	SST
IBAL S.A. E.S.P. OFICIAL	999.021	1.034.922
Municipio de Ibagué punto de descarga 1.	22.887	0
Municipio de Ibagué punto de descarga 2.	33.600	39.996
Municipio de Ibagué punto de descarga 3.	1.103.724	1.313.964
Universidad del Tolima	912	192

Fuente: (R. Hernández comunicación personal, 16 de marzo de 2017).

El sector terciario es considerado un servicio público en la zona de influencia de la cuenca Combeima, catalogado como el de mayor deficiencia en la zona rural (AMI & CPT, 2011). En el casco urbano, el IBAL S.A. E.S.P. OFICIAL es la empresa encargada del servicio, para lo cual administra casi el 94% del caudal total concesionado por CORTOLIMA (M. Rojas, comunicación personal, 5 de agosto de 2016), que corresponde al volumen reportado por Jefe del Grupo Técnico Acueducto del IBAL S.A. E.S.P. OFICIAL (Tabla 10.).

Tabla 10. Volumen de la concesión de agua ($L \cdot s^{-1}$) para ser tratada en las plantas de tratamiento de agua potable de la Empresa Ibaguereña de Acueducto y Alcantarillado – IBAL S.A. E.S.P. OFICIAL (Tolima, Colombia).

Fuente hídrica	Volumen de la concesión ($L \cdot s^{-1}$)
Río Combeima	1.820
Quebrada Cay	250

Fuente: J. Núñez, J, comunicación personal, 03 de agosto del 2016.

Adicional, el funcionario de IBAL S.A. E.S.P. OFICIAL, reportó cuanto es el volumen de agua que abastece las Plantas de Tratamiento de Agua Potable - PTAP que se presentan en la

Tabla 11..

Tabla 11. Volumen captado por PTAP administradas por el IBAL S.A. E.S.P. OFICIAL.

PTAP	Año de apertura	Volumen de agua ($L \cdot s^{-1}$)
La Pola N° 1	1965	1.500
La Pola N° 2	2000	750

F Fuente: J. Núñez, J, comunicación personal, 03 de agosto del 2016.

Respecto a la cobertura municipal de los servicios de acueducto y alcantarillado, el IBAL S.A. E.S.P. OFICIAL porcentaje del 94% y 90% respectivamente, con un total de usuarios distribuidos como se presenta en la Tabla 12..

Tabla 12. Número de usuarios con conexión a las redes de acueducto y alcantarillado de la Empresa Ibaguereña de Acueducto y Alcantarillado – IBAL S.A. E.S.P. OFICIAL (Ibagué, Colombia).

Uso	Estrato	Servicio de acueducto	Servicio de alcantarillado
Residencial	1	17.204	14.115
	2	47.341	46.363
	3	35.958	35.897
	4	16.260	16.178
	5	3.227	3.200
	6	778	769
Comercial	N.A.	7.802	7.627
Industrial	N.A.	294	242
Oficial	N.A.	404	372
Cantidad de Usuarios		129.268	124.763

Fuente: C. Gutiérrez, comunicación personal, 18 de agosto del 2016.

4.2 CUANTIFICACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA

Los resultados correspondientes a las actividades antrópicas asociadas a los sectores económicos con actividades en el área de influencia de este estudio y que permiten una visión territorial característica para la vigencia 2015, se presentan a continuación por tipo de HH evaluada y desagregada por los sectores que aportan a la misma.

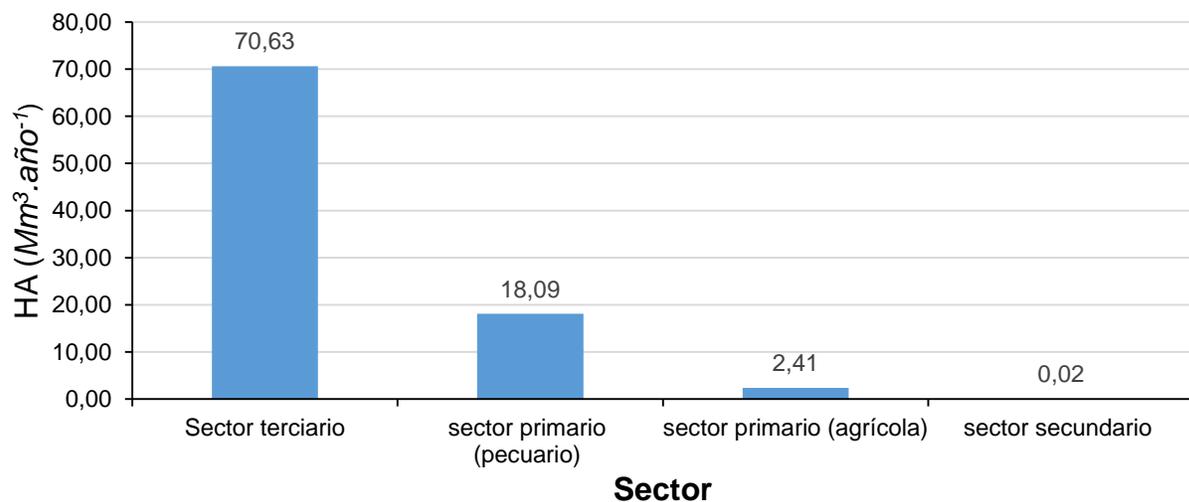
4.2.1 Cuantificación de la HA. La diferencia porcentual del aporte de los sectores productivos (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), se asocia principalmente al número de actividades económicas que capturan el recurso hídrico para diferentes fines y que se desarrollaron en la zona de influencia del proyecto en la vigencia 2015.

El sector terciario, representado en la zona de influencia por 129.268 usuarios residenciales, industriales, comerciales y oficiales del servicio de acueducto del IBAL S.A. E.S.P. OFICIAL, es el que ejerce mayor presión sobre el recurso hídrico proveniente de la cuenca del río Combeima (Figura 4.).

Los valores obtenidos para la HA de este sector se asocian al agua destinada a satisfacer las necesidades de las actividades de los sistemas productivos agropecuarios desarrollados en la vigencia 2015, que, para la zona de influencia, no contaban con sistemas de ahorro, ni eficiencia del recurso hídrico y, menos aún, con sistemas de cuantificación de las necesidades de agua en metros cúbicos por animal.

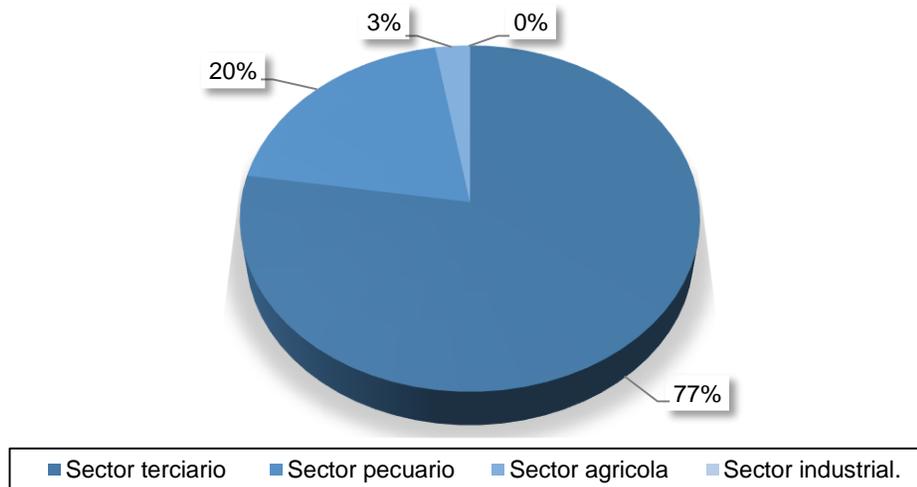
De acuerdo con Diamantini *et al.* (2018), se podría decir que la HA del sector terciario de la zona de estudio es susceptible a aumentar o reducirse de acuerdo con la velocidad del proceso de urbanización del municipio de Ibagué.

Figura 3. HA ($Mm^3.año^{-1}$) de los sectores económicos que realizaron actividades en la cuenca del río Combeima (Ibagué, Colombia) en la vigencia 2015.



Fuente: el autor.

Figura 4. Relación porcentual de la HA de los sectores económicos que realizaron actividades en la cuenca del río Combeima (Ibagué, Colombia) en la vigencia 2015.



Fuente: el autor.

Chalar *et al.* (2017) encontraron resultados similares en pequeñas cuencas dedicadas a cultivos forrajeros y producción de vacas doble propósito (carne y leche), y concluyeron que era necesario implantar mejores prácticas de manejo a escala de la granja dentro de cada cuenca.

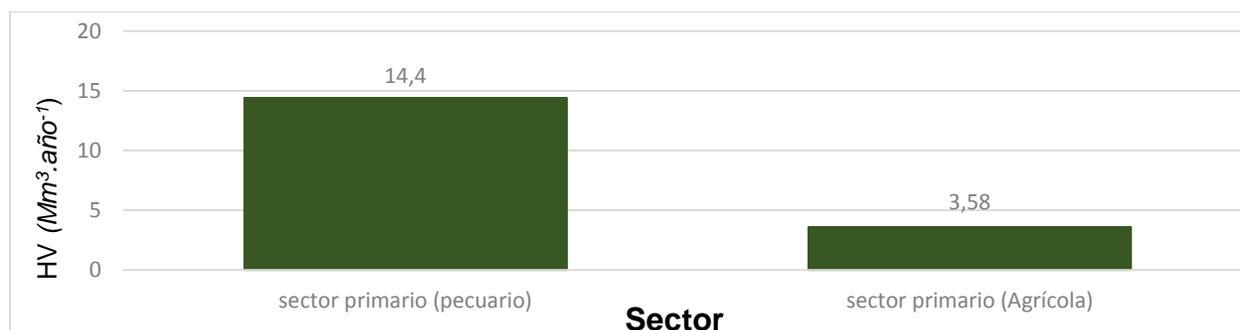
Finalmente, la HA asociada al sector secundario en la zona de influencia fue cercano a cero (0) para la vigencia 2015. Ello se debe a que el mismo está representado exclusivamente por el frigorífico CARLIMA, sector que cuenta con una asignación del 1,026% del caudal del recurso asignado para el sector terciario (M. Rojas, comunicación personal, 5 de agosto de 2016).

4.2.2 Cuantificación de la HV. Los resultados de la HV muestran que la distribución porcentual del uso del agua proveniente de la precipitación en los procesos agropecuarios desarrollados en la cuenca del río Combeima se asocia principalmente al

área sembrada de pastos para ganadería (Figura 5. y Figura 6), debido a que esta es mayor que el área sembrada de cultivos (879,86 ha).

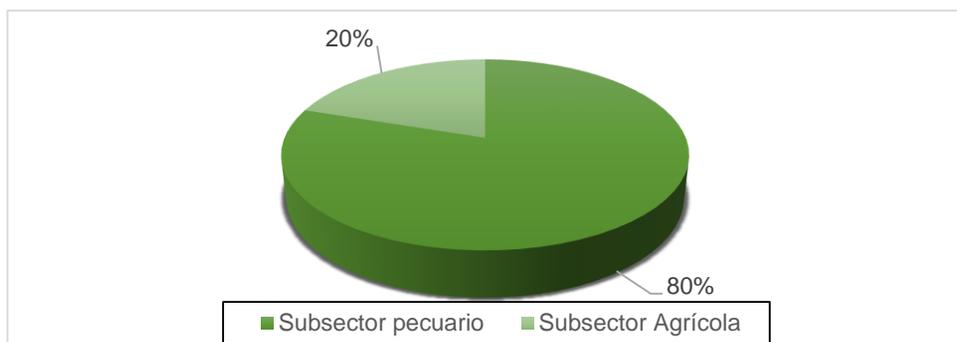
Según IDEAM (2015), esta tendencia se puede evidenciar a nivel nacional, donde la HV pecuaria de Colombia, fue aproximadamente cinco veces el valor Mm^3 de la HV agrícola, resultado esperado considerando que existen aproximadamente 5 millones de hectáreas agrícolas frente a casi 40 millones de hectáreas de pastos a nivel nacional.

Figura 5. HV en $Mm^3.año^{-1}$ del sector primario que realizaron actividades en la cuenca del río Combeima (Ibagué, Colombia) en la vigencia 2015.



Fuente: el autor.

Figura 6. Relación porcentual de la HV del sector primario que realizaron actividades en la cuenca del río Combeima (Ibagué, Colombia) en la vigencia 2015.

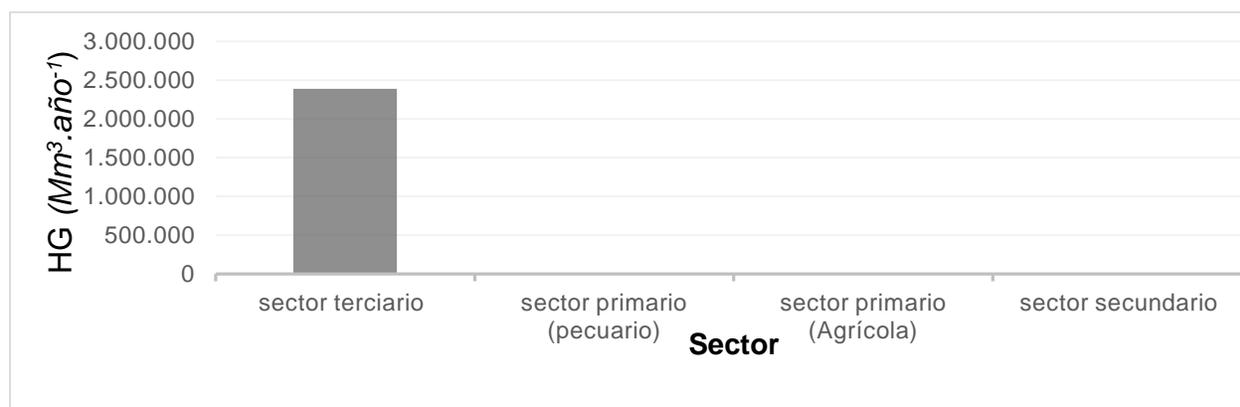


Fuente: el autor.

4.2.3 Cuantificación de la HG. En términos de contaminación generada por procesos antrópicos desarrollados en la cuenca, fue pertinente evaluar el efecto acumulado, dado que la capacidad de asimilación se reduce de manera progresiva y se cuenta siempre con una condición de calidad de entrada que no necesariamente corresponde a la natural (CTA, 2013a).

Se evidencian que durante la vigencia 2015, el 99% de la carga contaminante se asoció al sector terciario, dado que el mismo, vierte las aguas residuales directamente sobre el río, con una cobertura del servicio de alcantarillado del 96% con relación a la conexión a la red de acueducto IBAL S.A. E.S.P. OFICIAL.

Figura 7. HG en $Mm^3.año^{-1}$ de los sectores económicos que realizaron actividades, en la cuenca del río Combeima (Ibagué, Colombia) en la vigencia 2015.



Fuente: el autor.

En la vigencia estudiada, el desarrollo socioeconómico superó la capacidad de carga de los recursos hídricos y la situación tiende a agravarse en el futuro, toda vez que es un proceso acumulativo, resultado similar al que se reporta en el trabajo de Diamantini *et al.*, (2018), donde se concluye que la presión del medio acuático se puede aliviar incrementando la tasa de tratamiento de aguas residuales, que en el caso de la cuenca del Combeima en 2015, corresponde al 13% del volumen total manejado por el sistema según la información del jefe de tratamiento aguas residuales (R. Salazar, comunicación

personal, 21 de octubre de 2016).

Los Mm^3 cuantificados para la HG del sector primario están asociados a fuentes no puntuales, a menudo intermitentes, vinculadas a prácticas agrícolas y al régimen de precipitación característica de la zona. Esta tendencia se evidenció también en el estudio realizado por Chalar *et al.*, (2017), donde se plantea que son problemáticas susceptibles a ser minimizadas si la fertilización se realizara teniendo en cuenta la concentración real de nutrientes en el suelo y un valor objetivo que no pueda ser sobrepasado.

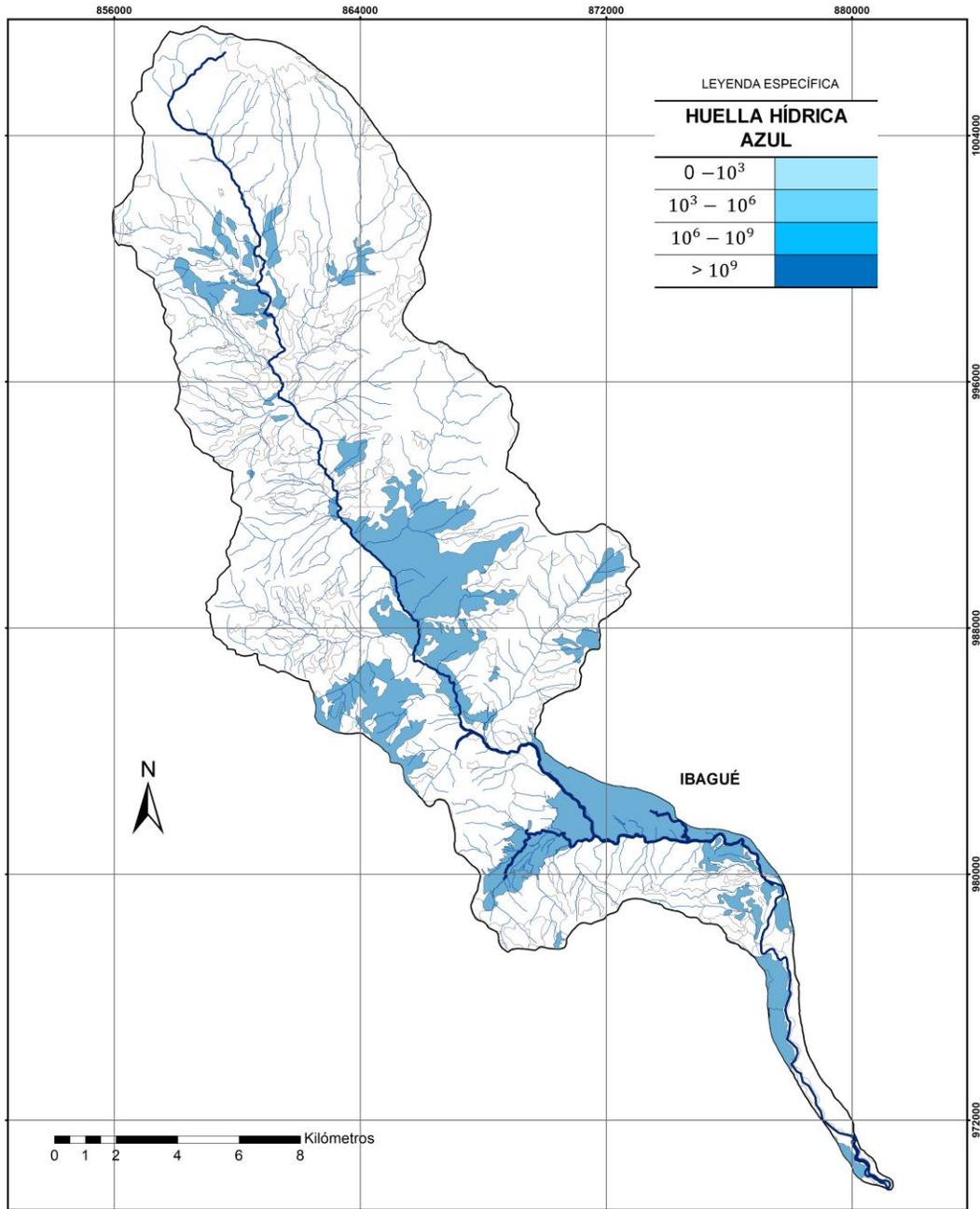
Los valores de la HG del sector pecuario, se relacionan a la destrucción física de hábitats y la alteración de las corrientes de agua, asociado a los porcentajes de materia orgánica, nutrientes y sedimentos.

En el trabajo de Chalar *et al.*, (2017), donde la variación se observó especialmente en aquellas granjas cercanas al área de ronda ecológica de la cuenca, se reporta un comportamiento similar al de los resultados para esta evaluación de la HH, posiblemente porque en la cuenca del Combeima existen sectores en los cuales parte del área de las fincas se ubican dentro de la ronda hídrica o hidráulica.

Finalmente, los valores del sector secundario se asocian a que, como se dijo antes, el frigorífico ubicado en la cuenca, cuenta con una PTAR.

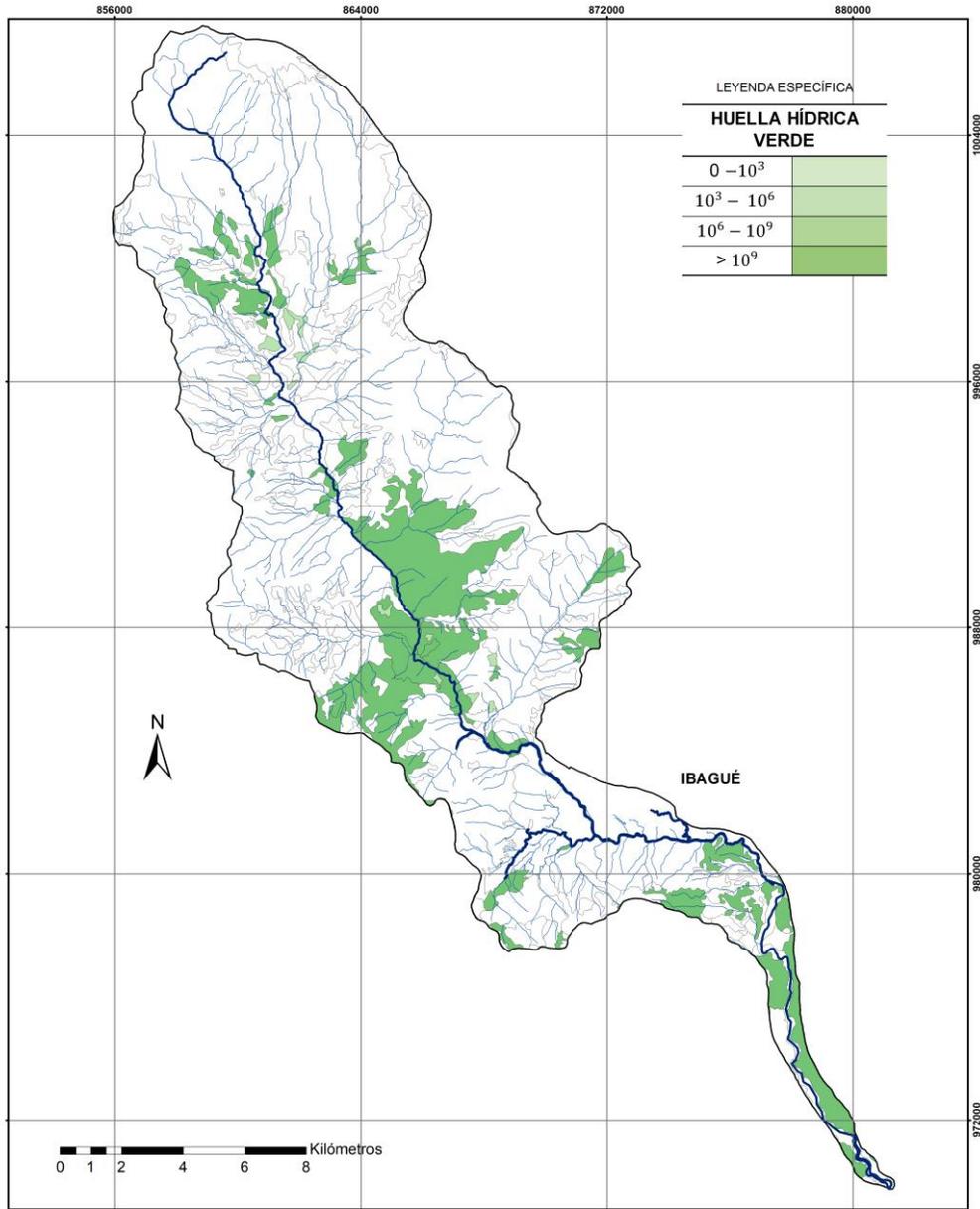
4.2.4 Georefenciación de los resultados de la cuantificación. Una vez cuantificada la HH multisectorial de la cuenca del Combeima, se generó la información geoespacial de los m^3 cuantificados para la cuenca (Figura 8., Figura 9., Figura 10.), en donde se presentan los puntos críticos o *hotspots* ambientales por cada componente de la HH (HA, HV y HG), a escala anual.

Figura 8. Distribución espacial de los volúmenes de agua ($m^3 \cdot a\tilde{n}o^{-1}$) de la HA de los multisectores que desarrollan actividades en la cuenca del río Combeima (Tolima, Colombia).



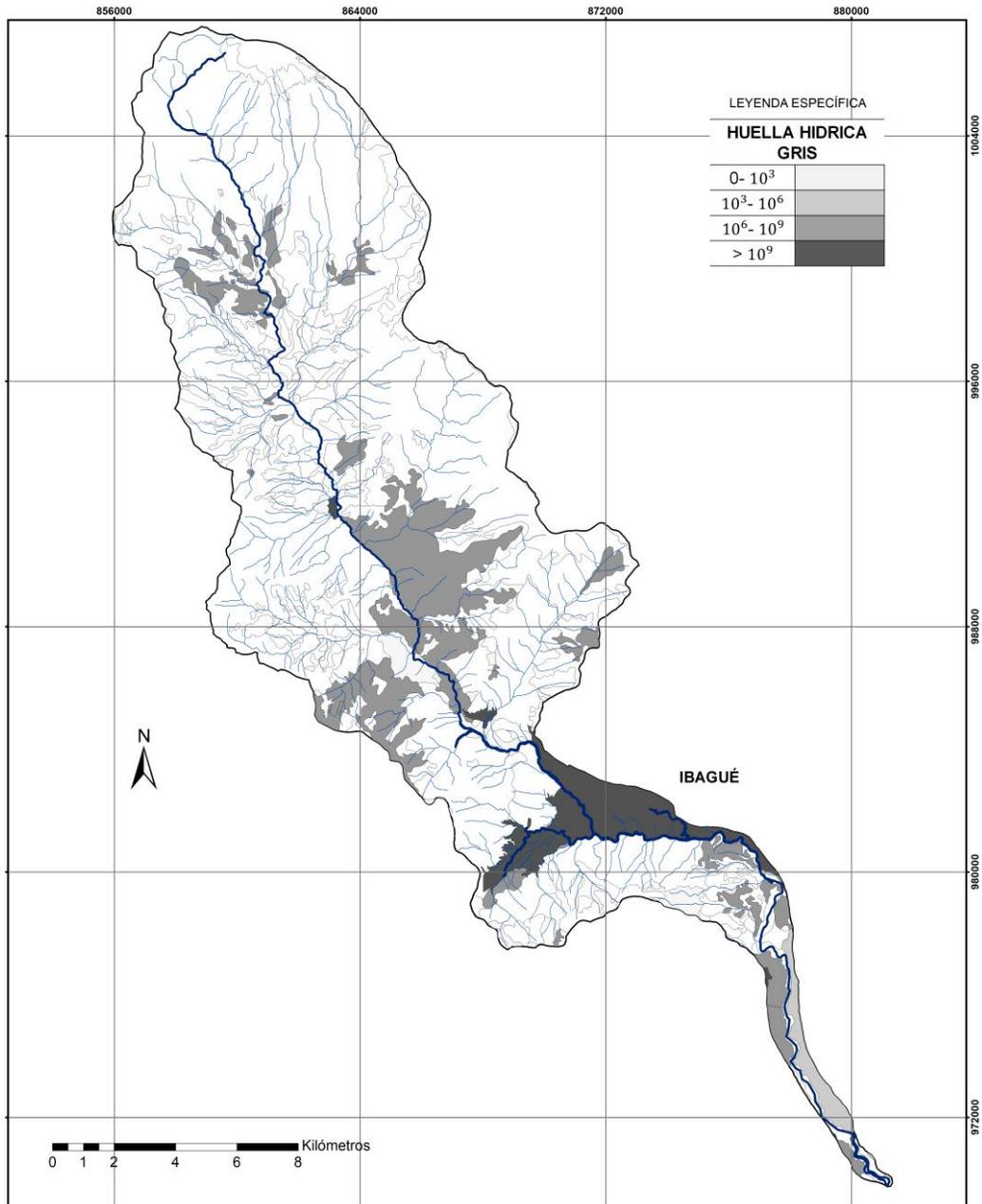
Fuente: Guauque a partir de la información generada en la presente investigación.

Figura 9. Distribución espacial de los volúmenes de agua ($m^3.año^{-1}$) de la HV de los multisectores que desarrollan actividades en la cuenca del río Combeima (Tolima, Colombia).



Fuente: Guauque a partir de la información generada en la presente investigación.

Figura 10. Distribución espacial de los volúmenes de agua ($m^3.año^{-1}$) de la HG de los multisectores que desarrollan actividades en la cuenca del río Combeima (Tolima, Colombia).



Fuente: Guauque a partir de la información generada en la presente investigación.

Como los cuerpos de agua que albergan ecosistemas importantes están sujetos a factores estresantes antropogénicos y climáticos que a menudo actúan en sinergia (Diamantini *et al.*, 2018), conocer los *hotspots* georeferenciados en las Figuras 8 a 10 puede promover el aprovechamiento sostenible, la conservación, el uso eficiente e incremento de la disponibilidad del recurso en la cuenca.

Por lo cual, la georeferenciación de los resultados de la cuantificación de la elaboración de respuestas asociadas a la gestión y regulación del agua, y la información de los puntos críticos ambientales asociados al agua azul, verde y gris, son puntos de partida para la formulación o mejora de planes y políticas, encaminadas a la protección de la calidad, bienes y servicios ecosistémicos asociados al río Combeima.

4.2.5 Cuantificación por sectores de la economía. Se parte de una revisión de resultados de estudios reciente realizados a nivel Nacional y Latinoamericano (Tabla 13.), que incluyen los tres sectores económicos presentes en la zona de estudio (primario (agrícola y pecuario), secundario y terciario).

Tabla 13. Valores reportados en trabajos de evaluación de HH ($Mm^3 \cdot año^{-1}$) de los sectores primario (agrícola y pecuario), secundario y terciario a nivel de cuenca desarrollados en diferentes países de Latinoamérica. HA, HV y HG.

Parámetro	IICA (2017a)					IDEAM (2015a)	CTA (2013a)	Presente Trabajo
	México	Guatemala	Costa Rica	Perú	Chile	Colombia	Colombia	Colombia
Cuenca	Yaqui	Polochic	Reventazón	Mantaro	Cachapoal	Nacional	Porce	Combeima
HH verde agrícola	0,0014119	0,0006107	0,0008982	0,0002601	0,0002822	73.219,91	230	3,58
HH verde pecuaria	ND	ND	ND	ND	ND	245.537,00	470	14,40
HH azul agrícola	0,0006243	0,0001347	0,0000575	0,0001401	0,0004145	6.942,44	14	2,41
HH azul pecuaria	ND	ND	ND	ND	ND	ND	12	18,09
HH azul doméstico	0,0000131	0,0000017	0,0000064	0,0000143	0,0000066	385,80	29	70,63
HH azul industrial	0,0000024	ND	ND	ND	0,0000062	99,70	8	0,02
HH gris agrícola	ND	ND	ND	ND	ND	ND	5	0,02
HH gris pecuaria	ND	ND	ND	ND	ND	ND	220	202,96
HH gris industrial	0,0014119	0,0006107	0,0008982	0,0002601	0,0002822	ND	4.000	23,70
HH gris doméstico	ND	ND	ND	ND	ND	ND	12.000	2.389.070,00

Fuente: el autor.

4.2.5.1 Sector primario. Los valores de la cuantificación de la HH del sector primario, están directamente relacionados con el crecimiento demográfico del municipio, toda vez que la producción de alimentos para personas adicionales requerirá más recursos hídricos, hecho que agrava la escasez de agua (Jiang *et al.*, 2017).

a. Subsector agrícola. Se compararon los valores obtenidos en el presente estudio con los reportados en trabajos como CTA (2013a), IDEAM (2015) e IICA (2017a). El café (*C. Arabica* L) es el cultivo que aporta el mayor porcentaje de HV agrícola, lo que se asocia con que es un sistema de producción en secano, desarrollado en pendientes marcadas que no permite que se mantenga una reserva de agua en sus raíces, sino por el contrario, suple sus necesidades hídricas con el agua que llega por precipitación (IDEAM 2015a).

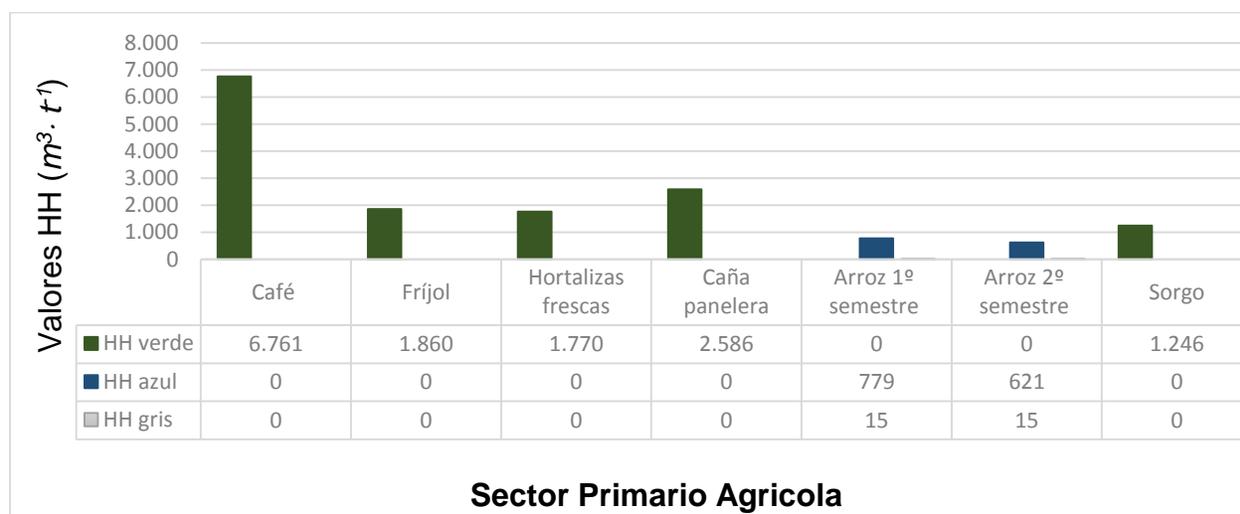
Para los sistemas de producción sorgo (*S. vulgare* Pers.), caña panelera (*S. officinarum* L.) y fríjol (*P. vulgaris* L.), se evidencia una tendencia diferente a la de CTA (2013a), IDEAM (2015) e IICA (2017a). En dichos cultivos se encontraron valores cercanos a la HA, lo cual se asocia a las condiciones socioeconómicas y del mercado, que hace insostenibles los sistemas de riego, especialmente en la zona alta de la cuenca del Combeima.

En el presente trabajo los valores de HA agrícola de la Figura 11., son específicos del sistema de producción de arroz (*O sativa* L), que en el mundo es el sistema de producción agrícola que utiliza aproximadamente el 40% del agua de riego (Islam *et al.*, 2018) y es una especie vegetal semi-acuática que en la zona de influencia del proyecto, se siembra tradicionalmente en inundación continua durante su ciclo de crecimiento.

Las prácticas de siembra utilizadas en la cuenca, se pueden asociar a que como se plantea en el trabajo desarrollado por Ruiz *et al.* (2016), el arroz tiene relativamente pocas adaptaciones a las condiciones de agua limitada y es extremadamente sensible a la sequía.

Aunque, Chapagain & Hoekstra (2011) proponen que el método de siembra directa que es utilizado en la cuenca del Combeima, puede aumentar el uso efectivo de la lluvia, reducir las necesidades de riego en la fase de preparación de la tierra y la percolación de los campos, al usar un sistema que destina agua lo suficiente como para mantener las raíces húmedas todo el tiempo, sin agua estancada en ningún momento.

Figura 11. Huellas Hídricas por cultivos del sector agrícola en $m^3.t^{-1}$.



Fuente: el autor.

Para la HG las variaciones de los resultados de la presente investigación con trabajos en la cuenca del río Porce (Builes, 2013; CTA, 2013a), se debieron a las diferencias en las prácticas agrícolas asociadas al uso de agroquímicos según los requerimientos de cada especie.

En la cuenca del Combeima, el sistema de arroz (*O. Sativa* L.) se fertiliza con mezclas nórdicas como Triple 18, toda vez que el rendimiento depende en gran medida de las cantidades de fertilizantes nitrogenados aplicados (Cassman K. *et al.*, 1993, Peng, S. & Cassman K.G. 1998, Dobermann A. *et al.*, 2000) y que sistemas irrigados tienen mayores tasas de aplicación de fertilizantes que los sistemas de secano (Chapagain & Hoekstra,

2011), lo que explica que sea el sistema que aporta casi el 100% de los valores a la HG del sector primario (agrícola).

Los sistemas de producción de café (*C. arabica* L.) en la cuenca del río Combeima cuentan con certificación de buenas prácticas agrícolas, con manejo orgánico o natural del cultivo durante las fases de fertilización, abono y control de plagas, enfermedades y malezas. Aunque, algunos cultivadores de café de la zona, aplican agroquímicos como Triple 15 y Urea, según las necesidades y el tiempo de permanencia del cafetal, toda vez que un pH del suelo entre 5,2 y 6,7 y saturación de aluminio entre 3,0 y 4,0% pueden afectar la fertilidad y el desarrollo de la raíz por bloqueo de los haces vasculares (CENICAFE, 2007) hecho que explica el volumen de HG.

Si se tiene en cuenta que características climatológicas favorece el aumento del porcentaje de compuestos nitrogenados que va a las fuentes hídricas superficiales por escorrentía, los valores obtenidos de HG podrían ser minimizados si se aplicara fertilizante antes de los principales eventos de precipitación Chalar *et al.* (2017), que en la zona de influencia del proyecto son de marzo a mayo y de septiembre a noviembre (Guevara *et al.*, 2006).

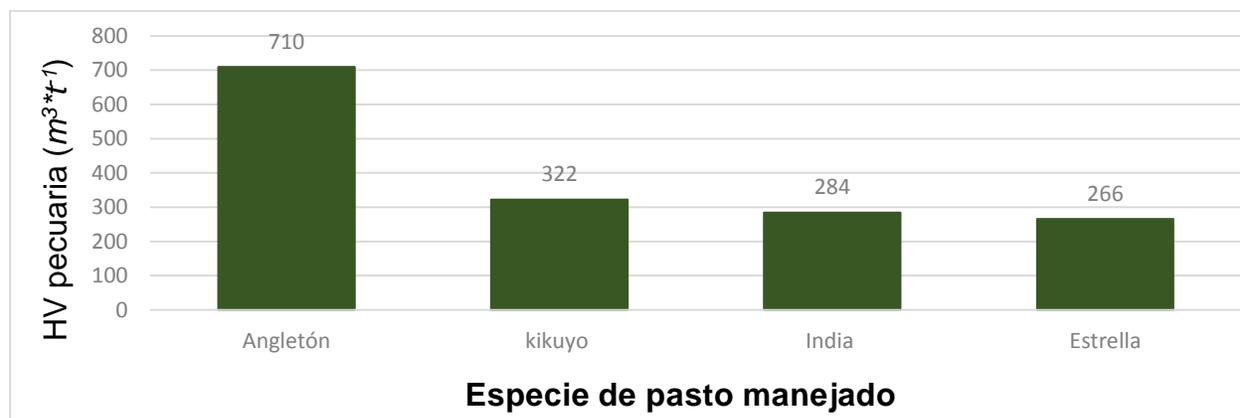
Los sistemas productivos de caña panelera (*S. officinarum*, L) sorgo (*S. vulgaris*, Pers), hortalizas) cultivados en la cuenca del río Combeima, no aportan a la HG porque no son cultivos manejados.

b. Subsector pecuario. En la presente investigación, como se observa en Tabla 13. la HV pecuaria es cuatro (04) veces mayor que la HV agrícola, lo que se asocia al manejo de potreros sin riego, que es la práctica cultural más arraigada en Colombia y la que se considera una de las principales causas de empobrecimiento del suelo (IDEAM, 2015), y al tamaño de la zona productiva en la cuenca, porque los cultivos de pastos asociados a sistemas silvopastoriles representan el 79% de las *ha* de uso agropecuario en la cuenca.

Una situación similar se encontró en los trabajos de Builes (2013), CTA (2013a) e IDEAM (2015) y CTA; GSI-LAC; COSUDE e IDEAM. (2015) desarrollados en cuencas con prácticas agropecuarias similares, pero con porcentajes de área sembrada diferente.

La mencionada HV pecuaria, en la cuenca del Combeima, se encuentra distribuida por especie de pasto, como se presenta en la Figura 12.

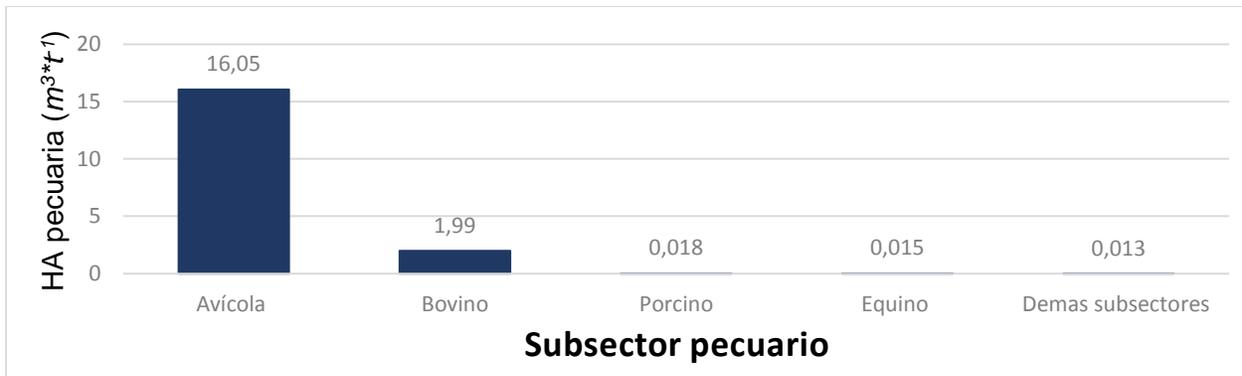
Figura 12. HV por especie de pasto del sector pecuario en $m^3.t^{-1}$.



Fuente: el autor.

Para el caso de la HA pecuaria, los sistemas productivos que más aportan son, en orden descendente, aves y bovinos (Figura 13.), hecho directamente relacionado al porcentaje (%) de individuos presentes en la zona de estudio. Esta situación también se evidencia en los trabajos de Builes (2013), CTA (2013a) e IDEAM (2015), que manejan valores estándares de consumo de agua para actividades relacionadas al manejo y beneficio animal.

Figura 13. Huellas Hídricas de consumo, por subsectores del sector pecuario en $Mm^3 \cdot año^{-1}$.



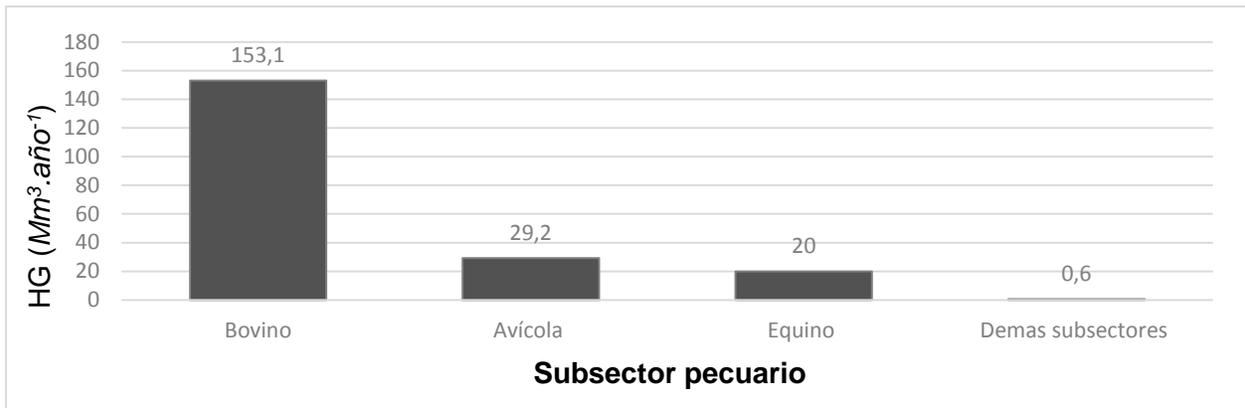
Fuente: el autor.

Los resultados presentados en la Figura 13. se asocian a las características particulares de los sistemas de producción pecuaria, a) la eficiencia de conversión alimenticia (cantidad de alimento por unidad de carne obtenida) que en la cuenca de estudio, está asociado a periodos de ayuno y el recorrido de largas distancias de pastoreo y b) la composición del alimento que en la mayoría de los casos se asocia a pasturas sin ningún tratamiento de fertilización, el uso de concentrado estándar y sobras alimenticias para aves y porcinos, lo que se relaciona a la baja capacidad adquisitiva de los dueños de los animales (H. Vaca, comunicación personal, 05 de octubre de 2017).

Por lo cual, una selección cuidadosa de alimentos que satisfagan los requerimientos nutricionales de los animales y tengan una huella hídrica menor por tonelada, podría reducir significativamente el uso indirecto de los recursos de agua dulce asociados con la producción animal (Ocak et al, 2013).

Los $Mm^3 \cdot año^{-1}$, necesarios para diluir la contaminación a valores permisibles por norma nacional, se evidencian por subsector pecuario en la Figura 14..

Figura 14. HG por subsectores del sector pecuario en $Mm^3 \cdot año^{-1}$.



Fuente: el autor.

La distribución porcentual de la HG total de las actividades pecuarias en la cuenca del río Combeima es similar a la presentada en el río Porce, en donde el mayor aporte está representado por el subsector bovinos, seguido en orden descendente por aves, porcinos y equinos (Builes, 2013).

El comportamiento es distinto a nivel internacional, estudios realizados en Turquía (Ocak *et al.*, 2013) y España (Salmoral *et al.*, 2011) encontraron que la producción de carne del subsector porcino es la que realiza el mayor aporte, por encima de aves, bovinos y ovinos. Esto se explica a nivel colombiano porque las actividades relacionadas a la ganadería son multipropósito (J. Arcos, comunicación personal, 10 de marzo de 2017).

Gerbens *et al.* (2013) afirman que la cuantificación de la HH está determinada por las condiciones climáticas, del suelo y la práctica agropecuaria, en este sentido, se podría decir que los valores de la HG en la zona de estudio están determinados por:

- Las condiciones climáticas locales: los dos periodos de lluvia, de tres meses cada uno, y la temperatura media anual del agua ($16\text{ }^{\circ}\text{C}$) y ambiental ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$) (Guevara *et al.*, 2006), características climatológicas que favorece el aumento del porcentaje de compuestos

nitrogenados provenientes de las heces o materia fecal, que va a las fuentes hídricas superficiales por escorrentía.

- Las condiciones del suelo: estas determinan el rendimiento de las pasturas, toda vez que el manejo de los pastos se limita al corte cada dos meses, sin renovación de semillas, ni procesos de fertilización, ni inclusión de especies de gramíneas (J. Arcos, comunicación personal, 23 de marzo de 2017).

- La práctica pecuaria: la práctica pecuaria en la cuenca del río Combeima se caracteriza por carecer de sistemas de tratamiento básico de las aguas servidas producto de los procesos pecuarios (H. Vaca, comunicación personal, 05 de octubre de 2017).

4.2.5.2 Sector secundario. En la cuenca del Combeima, las actividades industriales se limitan al frigorífico CARLIMA, por lo cual los valores para la HA y HV, difieren con los de países latinoamericanos de la Tabla 13., de cuencas evaluadas en las cuales se desarrolla un mayor número de actividades, especialmente de tipo manufacturero.

Adicionalmente, si se compara la cantidad de metros cúbicos de agua necesarios para diluir la carga contaminante en las industrias presentes en los estudios, Builes (2013) y CTA (2013), que no cuentan con sistemas de tratamiento de agua residuales, estos difieren de la cantidad necesaria del recurso hídrico en la cuenca del río Combeima, teniendo en cuenta que el frigorífico del municipio cuenta con una PTAR, con un porcentaje de remoción de DBO₅, DQO, SST, superiores al 95% (A, Diaz, Comunicación personal, 26 de agosto del 2016)

En el trabajo de Manzardo *et al.*, 2016, se plantea que una ampliación sustancial en la producción del sector secundario, aumentará el consumo de agua industrial, por lo cual, su crecimiento en la zona de influencia, modificaría los índices de Escasez de Agua Azul (IEAA) y el Nivel de Contaminación del Agua (NCA).

4.2.5.3 Sector terciario. Se considera que el sector terciario tiene incidencia en el estado de las masas de agua, debido tanto a las extracciones del recurso, como a la contaminación producida por el vertido de los efluentes de las depuradoras, o incluso, vertidos sin tratar o tratados de una manera deficiente (Salmoral *et al.*, 2011).

Los valores de la HH del sector terciario encontrados en este estudio difieren de los reportados en CTA (2013a), Schyns & Hoekstra (2014), IDEAM (2015) e IICA (2017a). Es posible que ello ocurra porque los rendimientos del agua son específicos del territorio, así como la producción industrial y el abastecimiento de agua doméstica. Además, son sensibles a las fracciones de consumo aplicadas en cada estudio (Schyns & Hoekstra, 2014).

Con relación a la afectación del sector terciario, asociado a la captación y la calidad del recurso hídrico, el estudio de Salmoral *et al.* (2011) presenta resultados similares a la cuenca del Combeima. En ambos casos, el tratamiento de las aguas residuales no es mayor al 36% del agua vertida y la afectación en las propiedades químicas o HG, es mayor que en la cantidad de agua captada. Estos resultados son acordes con la afirmación de Laíno *et al.* (2016), quien dice que las principales amenazas al flujo de agua y su calidad están relacionadas con las presiones humanas y las descargas de aguas residuales no tratadas.

La distribución bimodal del régimen de lluvias (marzo a mayo y septiembre a noviembre) (Guevara *et al.*, 2006), es un factor a tener en cuenta para desarrollar estrategias de gestión para las descargas que el sector deposita en la cuenca del Combeima, toda vez que, suficiente oxígeno en una fuente hídrica receptora, permite que la oxidación aerobia (Paredes & Kuschik, 2001, citado por Londoño & Marín, 2009), favoreciendo la remoción de sólidos suspendidos, (variable fisicoquímica que muestra una fuerte relación con el régimen de precipitación) (Vásquez *et al.*, 2013), lo que se asocia a que la calidad general del agua, es mayor durante la estación seca con valores más altos de oxígeno disuelto y menores niveles de SST, Demanda Química de Oxígeno - DQO y temperatura.

Finalmente, la incidencia del sector terciario en la zona de estudio es determinante del desarrollo territorial municipal, toda vez que la fuente hídrica estudiada es la principal abastecedora de agua para el consumo humano, industrial y agropecuario en el abanico de Ibagué (Cuéllar *et al.*, 2014). Esto afecta la demanda de agua, debido a que un aumento sustancial de la población llevará a un aumento en el consumo doméstico de agua (Manzardo *et al.*, 2016) y de las afectaciones sobre el estado químico del río (Salmoral *et al.*, 2011).

4.3 ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD

4.3.1 Sostenibilidad ambiental. Se calcularon tres indicadores de sostenibilidad ambiental (Tabla 14.): el Índice de Escasez de Agua verde (IEAV), el Índice de Escasez de Agua Azul (IEAA) y el Nivel de Contaminación del Agua (NCA).

Tabla 14. Índices de escasez de agua verde (IEAV) y de escasez de agua azul (IEAA), y nivel de contaminación del agua (NCA) de los multisectores que se desarrollan en la cuenca del río Combeima (Tolima, Colombia).

Índices	Valor
IEAA	0,5947
IEAV	0,0005
NCA	1 (%)

Fuente: el autor.

Con relación al Índice de Escasez de Agua Verde (IEAV), se evidencia una situación favorable para ecosistemas estratégicos, posiblemente por los porcentajes de coberturas de las zonas naturales y las zonas improductivas que, en conjunto, cubren más del 83% de la cuenca. Todo esto se traduce en sostenibilidad de los ecosistemas naturales proveedores de servicios ecosistémicos frente al crecimiento del sector agropecuario (IDEAM, 2010).

Respecto al Índice de Nivel de Contaminación del Agua (NCA), que ayuda a identificar la sostenibilidad o no de los flujos de agua, al permitir relacionar el componente gris, con la capacidad de asimilación de contaminantes en una cuenca determinada (Liu *et al.*, 2012), permitió identificar que la capacidad asimilativa del recurso hídrico superficial en la cuenca del Combeima ha sido consumida y sobrepasada. Ello puede explicarse por los vertimientos asociados al sistema de alcantarillado en la zona urbana del municipio de Ibagué (Tolima, Colombia), que pueden agravar la escasez de agua.

Finalmente, el Índice de Escasez de Agua Azul (IEAA) muestra que existe una situación límite, en términos de competencia por agua superficial en la cuenca del río Combeima. Esta presión se puede reducir mediante estrategias que permitan mejorar el tratamiento de las aguas residuales, garantizar el agua ecológica y ampliar el área verde pública *per cápita* con el fin de mejorar la capacidad purificadora del ambiente acuático (Diamantini *et al.*, 2018).

De acuerdo con lo anterior, se considera que hay dos acciones prioritarias que deben ser desarrolladas en la cuenca del río Combeima para conseguir que el cuerpo de agua pueda recuperarse: a) la reducción de nutrientes en las descargas asociadas al sector primario y terciario, y b) el aumento de los requerimientos mínimos de caudal ambiental en las corrientes más insostenibles para garantizar una capacidad de asimilación contra la insostenibilidad del agua gris (Pellicer & Martínez., 2016).

4.3.2 Sostenibilidad económica. Respecto al indicador de Productividad Aparente del Agua (AWP, por sus siglas en inglés), se encontró que el sistema de producción más rentable asociado al AWP_{verde} es el pasto estrella (*C. nlemfuensis* Vanderyst); por cada metro cúbico de agua verde consumido durante su ciclo de producción, se recibe alrededor de COP \$11.278 (COP \$ = pesos colombianos).

El subsector pecuario es el que tiene el sistema productivo más rentable para la AWP azul; por cada tonelada comercializada se percibe alrededor de COP\$ 99.700 para las actividades avícolas (Tabla 15.).

El sector terciario, que tiene un papel importante en el desarrollo económico en comparación con el sector primario, percibe el menor valor asociado al indicador AWP azul, lo que se relaciona al precio subvencionado que se cobra por metro cúbico, relacionado con los costes de transporte y potabilización del agua, sin integrar el valor de recurso ni las externalidades ambientales (Salmoral *et al.*, 2011).

Tabla 15. Valor en pesos colombianos de los indicadores AWP azul y AWP verde por sector económico, subsectores pecuario ($$.t^{-1}$) y agrícola ($$.m^{-3}$) y terciario ($m^3.mes$) y productividad aparente de la tierra - APL dado en $$.ha^{-1}$.

Sector	Actividad o especie	AWP azul	AWP verde	APL
Primario	<i>C nlemfuensis</i>	0	\$ 11.278·m ⁻³	\$ 4.307.694·ha ⁻¹
	<i>P clandestinum</i>	0	\$ 9.316·m ⁻³	\$ 3.500.000·ha ⁻¹
	<i>P máximo</i>	0	\$ 10.563·m ⁻³	\$ 4.038.416·ha ⁻¹
	<i>D aristatum</i>	0	\$ 4.225·m ⁻³	\$ 1.615.384·ha ⁻¹
	<i>C arabica</i> , L	0	\$ 8.706· m ⁻³	\$ 6.124.080·ha ⁻¹
	<i>O sativa</i> , L	2.211 \$·m ³	0	\$ 9.341.744·ha ⁻¹
Primario	Avícola	99.700\$·t ⁻¹	0	0

Sector	Actividad o especie	AWP azul	AWP verde	APL
	Bovino (hembras)	35.823 \$·t ¹	0	0
	Bovino (Machos)	41.939 \$·t ¹	0	0
	Porcino	23.658 \$·t ¹	0	0
		1		
Terciario	IBAL S.A. E.S.P. OFICIAL	4.910 \$·m ³ ·mes	0	0

Fuente: el autor

Respecto a la productividad aparente de la tierra (APL, por sus siglas en inglés), las mayores ganancias por hectárea de sistema de producción, fueron para el de arroz (*O. Sativa* L.) por el que se reciben alrededor de COP \$9.341.744 por hectárea sembrada.

Las diferencias encontradas entre los análisis de sostenibilidad en trabajos a nivel nacional (CTA, 2013a) e internacional (IICA, 2017a) y los resultados de este estudio, se atribuyen principalmente a que la productividad económica calculada de agua y tierra de los cultivos dependen de los precios al productor específico para cada vigencia y zona de influencia del estudio, ya que la cuantificación de la HH y los rendimientos del agua son específicas del territorio (Schyns & Hoekstra, 2014).

Favorecer la implementación de sistemas de ecoeficiencia y de saneamiento asociado a las actividades de los multisectores pecuarios (avícola y agrícola), puede ser un aporte para la gestión socioambiental de la cuenca, ya que no es suficiente tener en cuenta solo las necesidades de los sectores productivos para garantizar el desarrollo económico de una región, sino también las necesidades y requerimientos de agua por parte de los ecosistemas presentes (Rockstrom & Gordon, 2001, citado por Builes, 2013).

Otra acción se debe encaminar mejorar a nivel municipal los precios de carga para cultivos como café (*C. arabica* L.) y canales de comercialización de pasturas, como el pasto estrella (*C. nlemfuensis* Vanderyst), como un aporte político administrativo. Toda vez que el agua no es el único factor involucrado en la producción del sector primario, tanto la tierra, como el acceso a los mercados, juegan un papel cada vez más importante en la determinación del uso eficiente del agua. Además, el costo de oportunidad del agua verde es menor que el del agua azul, pues el costo de abastecimiento es nulo y el usuario competitivo es la vegetación natural, con un valor directo de uso de agua económicamente menor (WWF, 2013).

4.3.3 Sostenibilidad social. Los valores que se presentan en la Tabla 16., indican una problemática respecto a la competencia por el recurso hídrico, toda vez que el agua demandada por los sectores productivos que desarrollaron actividades en la cuenca durante la vigencia 2015 fue casi 60% superior a la oferta regulada disponible anualmente en la cuenca del Combeima.

Tabla 16. Indicadores de disponibilidad del recurso hídrico en la cuenca del Combeima.

Oferta natural disponible	Oferta regulada disponible	HA
59.768.919 $m^3 \cdot a\tilde{n}o^{-1}$	36.401.059 $m^3 \cdot a\tilde{n}o^{-1}$	91.143.077 $m^3 \cdot a\tilde{n}o^{-1}$

Fuente: esta investigación y CORTOLIMA *et al.*, (2006).

Finalmente, el valor de 0,61, reportado para el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCA) calculado para el IBAL S.A. E.S.P. OFICIAL, indica que es agua apta para el consumo humano (Salazar, V, comunicación personal, del 08 de agosto del 2016).

4.3.3.1 Cobertura de servicios públicos. El 100% de las noventa y seis (96) veredas presentes en el municipio de Ibagué, cuenta con servicio de energía, pero solo catorce cuentan con sistema de acueducto (AMI & CPT, 2011).

En cuanto a sistemas de saneamiento básico, el 100 % de las veredas carecen de cobertura del servicio de alcantarillado y solo setenta usan pozos sépticos, lo que se refleja en vertimientos realizados directamente al medio natural y que generan un alto impacto sobre el cuerpo de agua receptor.

Por estar definido el servicio de acueducto y alcantarillado como un indicador socioeconómico de las necesidades básicas insatisfechas (NBI), donde un hogar se considera pobre si presenta al menos una de las cuatro necesidades (acceso a la vivienda, acceso a servicios sanitarios, acceso a educación, capacidad económica) no cumplida (DANE, 2005, citado por CTA, 2013a). Se puede establecer una relación directa entre las condiciones económicas de la población rural de la cuenca y los impactos ambientales de las actividades antrópicas en estas zonas.

4.4 ESTRATEGIA DE RESPUESTA

La propuesta de respuesta frente a los resultados de la evaluación contempla como punto de partida las condiciones iniciales de la cuenca y los puntos críticos para la gestión del recurso hídrico en la zona de influencia del proyecto.

4.4.1 Condicionantes de la cuenca.

- a. Limitada actividad agropecuaria (cerca al 16% de la cobertura) asociada a cultivos y pastos manejados poco tecnificados.
- b. Amplia área de bosques (naturales, plantados y secundarios), estimada en un 44% del área total de la cuenca estudiada.
- c. La oferta regulada disponible es el 60% de la oferta natural de la cuenca del río Combeima.

4.4.2 Punto crítico o *hotspot* ambiental. La oferta regulada disponible anual cubrió tan solo el 40% del agua demandada para los requerimientos de la HA multisectorial cuantificada para la vigencia de 2015. Este hecho es consistente con el resultado del IEAA, que identificó una potencial tensión por usos multisectoriales desarrollados en la zona de influencia de la cuenca en el mismo período de tiempo.

Además, la capacidad de asimilación de la contaminación proveniente de las descargas que los multisectores depositaron directamente a la cuenca fue sobrepasada para la vigencia evaluada.

Por lo anterior, se propone un Plan para la Gestión Integral del Recurso Hídrico en la Cuenca del río Combeima (PGIRHCC), dividido en estrategias afines con los principios y objetivos de la Política para la Gestión Integral del Recurso Hídrico – PGIRH (2010), cuyo objetivo general sea reducir la HH multisectorial mediante acciones colectivas.

4.4.3 Plan para la Gestión Integral del Recurso Hídrico en la Cuenca del río Combeima – PGIRHCC. Plantea cinco (05) objetivos que contemplan para su cumplimiento estrategias cada una dividida en actividades específicas, asociadas a los multisectores presentes en la cuenca del Combeima.

En la Tabla 17., se encuentran definidas las actividades propuestas con las cuales se plantea dar cumplimiento al PGIRHCC, que deben ser desarrolladas por todos los actores involucrados en el desarrollo socioambiental y socioeconómico de la cuenca del Combeima.

Tabla 17. Plan para la Gestión Integral del Recurso Hídrico en la Cuenca del río Combeima (PGIRHCC).

Objetivos	Estrategias	Línea(s) de acción	Actividades propuestas
Caracterizar las		Desarrollo de estudios en diferentes	-Realizar inventarios de fauna y flora.

Objetivos	Estrategias	Línea(s) de acción	Actividades propuestas
relaciones hidrológicas en los ecosistemas.	Fomento al conocimiento de la relación entre los ecosistemas y los procesos hidrológicos asociados a la oferta hídrica.	al áreas de ciencias básicas, que permitan entender la interrelación asociada a la salud de los ecosistemas lénticos, lóticos o ribereños.	- Realizar estudios de diversidad y distribución de macro invertebrados acuáticos.
			- Ejecutar proyectos que permitan identificar especies de importancia endémica, comercial y en peligro de extinción.
			- Realizar estudios de modelación de corredores ecológicos para especies de importancia endémica y en peligro de extinción.
		Ejecución de proyectos que permitan cuantificar anualmente la oferta hídrica total y disponible, como base técnica de los balances hídricos a nivel de cuenca y sus afluentes.	-Determinar la esorrentía real por afluente. -Determinar la reducción por caudal mínimo ecológico por afluente. -Determinar la reducción por calidad de agua por afluente. -Definir puntos de control y realizar análisis periódico del balance hídrico.
		Investigación asociada a bienes y servicios hidrológicos que prestan los	-Definir anualmente el porcentaje de áreas de montañas, bosques y tierras arboladas.

Objetivos	Estrategias	Línea(s) de acción	Actividades propuestas
		ecosistemas, para definir aquellos que son clave para la regulación de la oferta hídrica a nivel de cuenca y sus afluentes.	-Determinar el porcentaje de cobertura que presta servicios ecosistémicos (regulación de crecidas, recreación y/o turismo, retención y transporte de nutrientes)
Fomentar el uso eficiente y sostenible del agua y la gestión integral del recurso hídrico en los principales sectores económicos presentes en la cuenca (componente doméstico, agropecuario e industrial).	Caracterización y cuantificación de la demanda del agua.	Cuantificación de los caudales concesionados y el tipo de uso.	- Verificación en tiempo real del caudal concesionado. -Realizar un control quincenal del caudal al que acceden los actores (empresas privadas, entidades estatales, etc).
	Uso eficiente y sostenible del agua, fortaleciendo la implantación de procesos y tecnologías de reutilización y ahorro.	Desarrollo de programas de reutilización del recurso hídrico en los usuarios del sector industrial establecidos en la cuenca.	- Implementar sistemas de tratamiento terciario, asociado a los vertimientos tratados del sector secundario y terciario, que permita reúso del agua.
		Adopción de programas de reducción de pérdidas de agua en los sectores que desarrollan	- Aumentar la implantación de buenas prácticas de producción en el sector agropecuario. - Implantar programas de uso eficiente y ahorro de

Objetivos	Estrategias	Línea(s) de acción	Actividades propuestas
		actividades en la cuenca.	<p>agua por parte de las empresas prestadoras del servicio de acueducto y alcantarillado.</p>
			<p>-Implantar mejoras tecnológicas encaminadas a la detección de acometidas de aguas residuales en la red local de aguas lluvias.</p>
		Mejoramiento de la infraestructura existente asociada a sistemas de abastecimiento de agua.	<p>-Implantar mejoras tecnológicas encaminadas a la detección de acometidas de aguas lluvias en la red local sanitaria.</p>
			<p>- Implantar mejoras tecnológicas que permitan identificar las conexiones ilegales en la red local sanitaria.</p>
			<p>- Mejorar el sistema de medición de consumos de agua, con el fin de evitar el cobro por promedio y disminuir las pérdidas económicas del sector terciario.</p>
Minimizar la contaminación	Determinación de parámetros	Definición del rango máximo permitido de	-Definir los valores máximos de vertimientos según los

Objetivos	Estrategias	Línea(s) de acción	Actividades propuestas
ón del recurso hídrico.	máximos de descargas asociadas a las principales fuentes de contaminación.	DBO ₅ y SST según el tipo de usuarios.	valores acumulados del mes inmediatamente anterior, que limite el acceso de los diferentes actores a este servicio.
	Reducción de la contaminación del recurso hídrico.	Disminución de vertimientos de aguas cloacales sin ningún tratamiento por parte de usuarios sujetos al pago de tasas retributivas.	- Aumentar el porcentaje de agua residual tratada en las PTAR del IBAL S.A. E.S.P. OFICIAL, la universidad del Tolima, el Frigorífico de Ibagué y el municipio. - Propender por que todo usuario del sistema de abastecimiento de agua o acueducto, sea usuario de algún tipo de sistema séptico o de alcantarillado.
		Implantación de programas enfocados reducir, recuperar y reutilizar los residuos sólidos, para eliminar el porcentaje que son vertidos a los cuerpos de agua en las zonas rurales.	-Implantar programas liderados por las juntas de acción comunal veredal orientados a reducir, recuperar o reciclar los residuos sólidos en las zonas rurales.

Objetivos	Estrategias	Línea(s) de acción	Actividades propuestas
			-Implantar programas de comparendos ambientales o de horas de servicio comunitario orientados a evitar la disposición de residuos de construcción, de demolición y desechos peligrosos en la cuenca.
Generar condiciones para el desarrollo de la gestión integral del recurso hídrico.	Mejoramiento de la capacidad de gestión pública.	Fortalecimiento de acciones de planificación, administración y control municipal y nacional encaminadas a reducir los índices ambientales de IEAA y NCA.	de - Incrementar el número y de alcance de las acciones de conservación y uso eficiente del recurso hídrico que se desarrollen por cumplimiento normativo o en forma voluntaria por parte de los multisectores.
	Implantación de pautas y directrices de ordenamiento y manejo sostenible que integren la visión de cuenca.	Fortalecimiento de las acciones de administración municipal y nacional en planificación, control del recurso hídrico.	- Incluir dentro del Plan de Ordenamiento Territorial pautas ambientales asociadas a la calidad y disponibilidad del agua.

Objetivos	Estrategias	Línea(s) de acción	Actividades propuestas
Fortalecer la gobernabilidad para la gestión integral del recurso hídrico.	Participación Ciudadana.	Desarrollo de programas asegurar divulgación de información permita participación ciudadana en la gestión integral del recurso hídrico.	<p>de para la mecanismos legales de participación ciudadana y a los Mecanismos de participación ciudadana para la vigilancia y control de la gestión pública.</p> <p>-Realizar alianzas público-privadas con los programas de comunicación y periodismo de las universidades, con el fin de que sus estudiantes realicen prácticas en proyectos asociados a la cuenca.</p> <p>- Desarrollar contenidos curriculares en el tema de la gestión integral del recurso hídrico adaptada a los contextos locales.</p>
Consolidar y fortalecer la gobernabilidad para la gestión integral del	Reducción de índices ilegalidad conflictos el uso recurso hídrico.	Desarrollo de programas participativos por beneficios del cumplimiento de la normativa asociada al	<p>de usuarios que usen el recurso sin captarlo ni contaminarlo.</p> <p>- Implantar programas de turismo responsable, que tengan en cuenta la</p>

Objetivos	Estrategias	Línea(s) de acción	Actividades propuestas
recurso hídrico.		uso responsable del recurso hídrico.	capacidad de carga basada según capacidad y cobertura de los sistemas sanitarios (pozos sépticos).

5. CONCLUSIONES

La Huella Hídrica (HH) multisectorial de la cuenca del río Combeima está determinada por un alto volumen de la HH Gris (HG) y muy bajos volúmenes de HH Azul y Verde. (HA y HV, respectivamente). Esto indica que se necesita gran parte del recurso hídrico de la cuenca para asimilar y diluir las cargas contaminantes que generan los diferentes sectores asentados en su territorio.

La HG en la cuenca se asocia principalmente a las actividades desarrolladas por el sector terciario, que es el mayor aportante de aguas servidas, y la baja cobertura de sistemas de depuración de las mismas.

El análisis de sostenibilidad muestra problemas ambientales relacionados con el sobrepaso de la capacidad de dilución de la cuenca, la presencia de una situación límite relacionada con la competencia por agua superficial y, al mismo tiempo, la existencia de una situación favorable relacionada con la disponibilidad del recurso hídrico necesario para el funcionamiento de ecosistemas estratégicos, como los bosques.

Esta situación alerta, en primera instancia, que se requieren políticas de gestión y ordenación de la cuenca dirigidas a evitar nuevas concesiones de vertimientos y extracción de agua para consumo humano y riego, y el diseño de estrategias que permitan mantener las coberturas boscosas y favorecer la transformación de las matrices de cultivos en bosques protectores o protectores-productores.

El conocimiento del volumen de agua consumido o contaminado por cada uno de los sectores económicos presentes en una cuenca, en función de su localización, uso y manejo, permite establecer indicadores que faciliten la implantación de medidas tendientes a gestionar de manera efectiva el recurso hídrico y mejorar la eficiencia productiva, técnica y de asignación de recursos a las actividades económicas

RECOMENDACIONES

Se deben mantener o aumentar, si es posible, las áreas de conservación presentes en la cuenca del río Combeima, ya que, durante la vigencia de 2015, permitieron que la competencia existente por recurso hídrico verde asociado al territorio y su relación con la sostenibilidad de los ecosistemas y los sectores que requieren de este recurso, se encuentre en un punto de equilibrio.

Ubicar o colocar en funcionamiento las estaciones climatológicas con monitoreo y registro de datos continuo en la zona de estudio, toda vez que las que se encuentran establecidas no presentan un control adecuado y, por lo tanto, no se registran bases de datos con valores, de precipitación, evapotranspiración, viento y radiación solar.

Se recomienda replicar este tipo de estudios en cuencas de importancia a nivel regional y nacional, que permitan estimar los índices de escasez con base al agua extraída y contaminada.

Desarrollar proyectos de investigación que evalúen la HH bajo futuros escenarios de cambio climático.

REFERENCIAS

Ababaei, B., & Etedali, H. R. (2017). Water footprint assessment of main cereals in Iran. *Agricultural Water Management*, 179, 401-411. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.07.016>.

AMI & CPT (Alcaldía Municipal de Ibagué & Centro de Productividad del Tolima). (2011). Diagnóstico agropecuario municipio de Ibagué 2011. Convenio interinstitucional N° 0013/2011: Elaboración del diagnóstico agropecuario, el programa agropecuario municipal y la agenda de innovación agraria del municipio de Ibagué. Ibagué, Colombia: Alcaldía Municipal de Ibagué. Recuperado de: [http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/diagnostico%20-%20ibagué%20\(215%20pag%20-%206827%20kb\).pdf](http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/diagnostico%20-%20ibagué%20(215%20pag%20-%206827%20kb).pdf).

Arévalo, D., Lozano, J., & Sabogal, J. (2011). Estudio nacional de Huella Hídrica Colombia Sector Agrícola. *Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología Y Humanismo*, 7, 103 – 126. Recuperado de: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/11915/101-126%20Arevalo_Huella%20Hidrica.pdf

Arévalo, D. (2012). Una mirada a la agricultura de Colombia desde su Huella Hídrica. WWF Reporte Colombia 2012. Cali, Colombia: WWF Colombia. Recuperado de: infoagro.net/programas/ambiente/pages/agricultura/casos/2.pdf

BCRP (Banco Central de Reserva del Perú). (2011) Glosario de Términos Económicos. Recuperado de <http://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Glosario/Glosario-BCRP.pdf>

Banco de la República, 2015. Sectores económicos Recuerado de:

http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/ayudadetareas/economia/sectores_economicos).

Bosire, C., Ogutu, J., Said, M., Krol, M., Leeuw, J., & Hoekstra, A. (2015). Trends and spatial variation in water and land footprints of meat and milk production systems in Kenya. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 205, 36–47. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2015.02.015>. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.02.015>

Bosire, C., Lannerstad, M., de Leeuw, J., Krol, M., Ogutu, J., Ochungo, P., & Hoekstra, A. (2017). Urban consumption of meat and milk and its green and blue water footprints—Patterns in the 1980s and 2000s for Nairobi, Kenya. *Science of The Total Environment*, 579, 786-796. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.027>

Builes, E. (2013). Cuantificación y análisis de sostenibilidad ambiental de la huella hídrica agrícola y pecuaria de la cuenca del río Porce. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/10765/1/1017142094.2013.pdf>

Cassman, K., Kropff, M., Gaunt, J. & Peng, S. (1993). Nitrogen use efficiency of irrigated rice: What are the key constraints? *Plant Soil* 155/156, 359–362. Recuperado de: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-011-1880-4_99.

CENICAFE (Centro Nacional de Investigaciones de Café). (2007). Sistema de Producción de Café en Colombia. (H. F. Ospina, Ed.) (Blancolor). Primera edición. Recuperado de: http://www.cenicafe.org/es/publications/sistemas_de_produccion.pdf

Chalar, G., Garcia P., Silva, M., Perdomo, C., Olivero, V. & Arocena, R. (2017) Weighting the impacts to stream water quality in small basins devoted to forage crops, dairy and beef cow production. *Limnologica - Ecology and Management of Inland Waters* Volume

65, Pages 76-84. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.limno.2017.06.002>.

Chang, Y., Huang, Z., Ries, R. J., & Masanet, E. (2016). The embodied air pollutant emissions and water footprints of buildings in China: a quantification using disaggregated input–output life cycle inventory model. *Journal of Cleaner Production*, 113, 274-284. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.014>

Chapagain, A. & Hoekstra, A. (2004). Water footprints of nations. Value of Water Research. Report Series No. 16. UNESCO-IHE. Delft, the Netherlands. Recuperado de: waterfootprint.org/media/downloads/Report16Vol1.pdf

Chapagain, A., & Hoekstra, A. (2011). The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives. *Ecological Economics*, 70(4), 749–758. <http://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.11.012>. Recuperado de: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800910004659.

CLIMWAT. (2016). programa para obtener el promedio mensual de temperaturas maximas y minimas. Manual Nom 46 de la serie FAO (Riego y dreaneje.). Recuperado de: <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/climwat-for-cropwat/en/>.

CECODES (Consejo Empresarial Colombiano para el Desarrollo Sostenible). (2014) Aportes Empresariales a la Sostenibilidad. Recuperado de <http://cecodes.org.co/site/wp-content/uploads/publicaciones/Aportes-empresariales-a-la-sostenibilidad.compressed.pdf>

CORTOLIMA, CORPOICA, SENA, & Universidad del Tolima. (2006). Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica Mayor del Rio Coello. Ibagué - Colombia.

CORTOLIMA (Corporación Autónoma regional del Tolima) (2013) Plan de Gestión Ambiental Regional 2013-2023. Propuestas y compromiso para enfrentar los retos de

proteger el patrimonio ambiental y de realizar un aprovechamiento sostenible de éste.
Recuperado de: <https://www.cortolima.gov.co/pgar-2013-2023>.

CTA (Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia). (2013a). Evaluación De La Huella Hídrica En La Cuenca Del Río Porce. Recuperado de: [file:///C:/Users/lalvarez/Desktop/Rio Porce/LibroHuellaHidrica.pdf](file:///C:/Users/lalvarez/Desktop/Rio%20Porce/LibroHuellaHidrica.pdf)

CTA (Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia). (2013b). Guía metodológica de aplicación de huella hídrica en cuenca. MEDELLIN. Recuperado de [http://www.suizaguacolombia.net/es/Inicio/media/GUIA_METODOLOGICA_HH Cuenca.pdf](http://www.suizaguacolombia.net/es/Inicio/media/GUIA_METODOLOGICA_HH_Cuenca.pdf)

CTA; GSI-LAC; COSUDE & IDEAM. (2015). Evaluación multisectorial de la huella hídrica en Colombia. Resultados por subzonas hidrográficas en el marco del estudio nacional del agua 2014 – 2013. Bogotá, D. C., 2015. Xxx páginas. IDEAM, Estudio Nacional del Agua 2014. Bogotá, D. C. 496 páginas. Recuperado de http://www.cta.org.co/media/k2/attachments/libro_Estudio_de_agua_CTA2.pdf.

Cuellar, M., López, J., Carrillo, E., Ibáñez, D., Sandoval, J, & Osorio, J. (2014). Control de la actividad tectónica sobre los procesos de erosión remontante: el caso de la cuenca del río Combeima, Cordillera Central, Colombia. Boletín de Geología, 36(1): 37-56. Recuperado de: <http://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaboletindegelogia/article/view/4069>

DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas). (2014). Cuenta del Agua: Hogares e Industria manufacturera 2011 -2012p. Bogotá DC, Colombia. Recuperado de: https://www.dane.gov.co/files/pib/.../Bol_Flujos_fisicos_Agua_2011_2012prov.pdf.

DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística) (2016). Informe de

coyuntura económica regional. Entorno macroeconómico nacional e indicadores de coyuntura económica regional. Recuperado de: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/informacion-regional/informe-de-coyuntura-economica>.

Diamantini, E., Lutz, R., Mallucci, S., Majone, B., Merz, R. & Bellin, A. (2018) Driver detection of water quality trends in three large European river basins. *Science of the Total Environment* 612 49–62. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.172>.

DNP (Departamento Nacional de Planeación). (2009). Documento CONPES 3570: Estrategias de mitigación del riesgo en la cuenca del río Combeima para garantizar el abastecimiento de agua en la ciudad de Ibagué. Bogotá D.C., Colombia. Recuperado de: <https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/boletines/.../3570.pdf>

Dobermann, A., Dawe, D., Roetter, R. & Cassman, K. (2000). Reversal of rice yield decline in a long-term continuous cropping experiment. *Agron. J.* 92, 633–643. Recuperado de: <https://dl.sciencesocieties.org/publications/aj/abstracts/92/4/633>.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2006). Evapotranspiración del cultivo. ROMA. <https://doi.org/ISBN 92-5-304219-2>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2010). CROPWAT 8.0 Mode, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, available at: <http://www.fao.org/nr/water/inforesdatabasescropwat.html>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2012). Respuesta del rendimiento al agua: función original de producción del agua de la FAO. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-i2800s.pdf>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2013) Captación y Almacenamiento de Agua de Lluvia. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Recuperado de http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/AGRO_Noticias/docs/captacion_agua_de_luvia.pdf

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2016) División de Producción y Sanidad Animal (AGA) Recuperado de: <http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/pigs/home.html>

FEDEARROZ. (2017). Precio de venta del arroz para los meses de julio del 2015 y enero de 2016. Recuperado de: <http://www.fedearroz.com.co/new/precios.php>.

FENAVI. (2017). Precio de venta de ave en pie, para 2015. Recuperado de: http://www.fenavi.org/index.php?option=com_content&view=article&id=2472&Itemid=1330.

Feng, L., Chen, B., Hayat, T., Alsaedi, A., & Ahmad, B. (2017). Dynamic forecasting of agricultural water footprint based on Markov Chain-a case study of the Heihe River Basin. *Ecological Modelling*, 353, 150-157. Recuperado de: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304380016306536

Frigorífico Gudaalupe (2017) Precio de venta de animal en pie para bovinos y porcinos, para 2015. Recuperado de: <http://www.efege.com/indicadores.html>.

Fondo Ganadero del Tolima S.A. (2016). Información frigorífica CARLIMA. Recuperado de: <http://www.fondoganaderodeltolima.com/index.php/servicios-y-productos/direccion-comercializadora-de-carnes>.

Gerbens, P. W., Mekonnen, M., & Hoekstra, A. (2013). The water footprint of poultry, pork and beef: A comparative study in different countries and production systems. *Water Resources and Industry*, 1, 25-36. Recuperado de: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212371713000024

Guevara, G, Reinoso, G & Villa, F. (2006). Comunidad de invertebrados del perifiton del río Combeima (Tolima, Colombia). *Revista Tumbaga*, 1: 43-54. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3630567>

Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldaya, M., & Mekonnen, M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual: Setting the global standard*. Febrero 2011. London - Washington, DC: Earthscan. Recuperado de: <http://doi.org/978-1-84971-279-8>

IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia). (2010). Estudio nacional del agua 2010. Estimación de la demanda de Agua. Pag 170, 228.

IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia). (2015) - Estudio Nacional del Agua 2014. Bogotá. D.C. http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf

IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). (2017a). Evaluación de la huella hídrica en cuencas hidrográficas: Experiencias piloto en Latinoamérica. (R. C. OCAMPO, Ed.). SAN JOSE, COSTA RICA. Recuperado de <http://www.iica.int/es/publications/evaluación-de-la-huella-hídrica-en-cuencas-hidrográficas-experiencias-piloto-en>

IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura) (2017b). Guía metodológica para la evaluación de la huella hídrica en una cuenca hidrográfica. (R. CASCANTE, Ed.). SAN JOSE, COSTA RICA. Recuperado de

[https://euroclima.iica.int/sites/default/files/Documento Final. Guía Metodológica de la HH.pdf](https://euroclima.iica.int/sites/default/files/Documento%20Final.%20Gu%C3%ADa%20Metodol%C3%B3gica%20de%20la%20HH.pdf)

Islam, S., Groenigen, J., Jensen, L., Sander, B., & de Neergaard A. (2018). The effective mitigation of greenhouse gas emissions from rice paddies without compromising yield by early-season drainage. *Science of the Total Environment*, Volume 612, 2018. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.022>

Jiang, S., Wang, J., Zhao, Y., Shang, Y., Gao, X., Li, H., Wang, Q., & Zhu, Y. (2017) Sustainability of water resources for agriculture considering grain production, trade and consumption in China from 2004 to 2013[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 149: 1210-1218. Recuerado de: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.103>.

Liu, C., Kroeze, C., Hoekstra, A., & Gerbens, W. (2012) Past and future trends in grey water footprints of anthropogenic nitrogen and phosphorus inputs to major world rivers. *Ecological Indicators* 18 (0):42-49. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.10.005>

Laíno, R., González, M., Ramírez, N., Bello, R., Jiménez, F., & Casanoves, F. (2016). Human pressure on water quality and water yield in the upper Grijalva river basin in the Mexico-Guatemala border *Ecohydrology & Hydrobiology*, 95 pp. 1-11. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2015.12.002>.

Londoño L & Marín C. (2009). Evaluación de la eficiencia de remoción de materia orgánica en humedales artificiales de flujo horizontal subsuperficial alimentados con agua residual sintética. Universidad Tecnológica de Pereira. Recuperado de: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1817/628162L847.pdf;jsessionid=FBDF29BABD6256F0CC0784506ABBDE5D?sequence=1>

MAPFRE. (2011). Huella hídrica, desarrollo y sostenibilidad en España. (F. Camarero

Rodriguez, Ed.). Madrid, España: Fundación Mapfre. Disponible en: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cbdv.200490137/abstract> \n<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:HUELLA+H?DRICA,+DESARROLLO+Y+SOSTENIBILIDAD+EN+ESPA?A#1> \n<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Huella>

Manzardo, A., Loss, A., Fialkiewicz, W., Rauch, W., & Scipioni, A. (2016). Methodological proposal to assess the water footprint accounting of direct water use at an urban level: A case study of the Municipality of Vicenza. *Ecological Indicators*, 69, 165-175.

Mekonnen, M., & Hoekstra, A. (2011). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(5), 1577–1600. <http://doi.org/10.5194/hess-15-1577-2011>

Mekonnen, M., & Hoekstra, A. (2012). A Global Assessment of the Water Footprint of Farm Animal Products. *Ecosystems*, 15(3), 401–415. <http://doi.org/10.1007/s10021-011-9517-8>

MADS (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial). (2010) Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. Bogotá, D.C. 124 p.

MADS (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial). (2015). Resolución 0631 de 2015. Parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

Minminas (Ministerio de Minas y Energía). (2016). Política Minera de Colombia. Información de las bases para la minería del futuro. Recuperado de <https://www.minminas.gov.co/documents/10180/698204/Pol%C3%ADtica+Minera+d e+Colombia+final.pdf/c7b3fcad-76da-41ca-8b11-2b82c0671320>

Ministerio de Obras Públicas de Chile. (2012) Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2012 – 2025. Ejemplo de la hoja de ruta en materia de gestión de los recursos hídricos con miras al 2025. Recuperado de: http://www.mop.cl/Documents/ENRH_2013_OK.pdf

Munro, S., Fraser, G., Snowball, J., & Pahlow, M. (2016). Water footprint assessment of citrus production in South Africa: A case study of the Lower Sundays River Valley. *Journal of Cleaner Production*, 135, 668-678.

Ocak, S., Ögün, S., & Emsen, E. (2013). Turkey's animal production water footprint; heading in the wrong direction. *Procedia Technology*, 8, 255-263.

Peng, S. & Cassman K.G. (1998). Upper thresholds of nitrogen uptake rates and associated N fertilizer efficiencies in irrigated rice. *Agron. J.* 90, 178–185. Recuperado de: <https://dl.sciencesocieties.org/publications/aj/abstracts/90/2/AJ0900020178>.

Pellicer F. & Martínez J. (2016). The Water Footprint as an indicator of environmental sustainability in water use at the river basin level. *Science of The Total Environment*, 571, 561-574.

Ríos, N., Lanuza, E., Gámez, B. Montoya, A., Díaz, A., Sepúlveda, C., & Ibrahim, M. (2012). Cálculo de la huella hídrica para producir un litro de leche en fincas ganaderas en Jinotega y Matiguás, Nicaragua. In VII Congreso Latino-americano de Sistemas Agroflorestais para a Produção Pecuária Sustentável (pp. 722–726).

Ruiz M., Muñoz, Y., Dell'Amico, J., & Polón, R. (2016). Manejo del agua de riego en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) por trasplante, su efecto en el rendimiento agrícola e industrial. *Cultivos Tropicales*, 37 (3), 178-186. Recuperado de: <https://dx.doi.org/http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.2649.8800>

Salmoral, G., Willaarts, B. A., Garrido, A., & Guse, B. (2017). Fostering integrated land and water management approaches: Evaluating the water footprint of a Mediterranean basin under different agricultural land use scenarios. *Land Use Policy*, 61, 24-39.

Salmoral, G., Dumont, A., Aldaya M., Rodríguez, R., Garrido A. & Llamas M. (2011) Análisis de la huella hídrica extendida de la cuenca del Guadalquivir. *Papeles de Seguridad Hídrica y Alimentaria y Cuidado de la Naturaleza*, No. 1, Fundación Botín, Observatorio Del Agua, Santander.

Schyns, J., & Hoekstra, A. (2014). The added value of water footprint assessment for national water policy: a case study for Morocco. *PLoS One*, 9(6), e99705.

Tolón, A., Lastra, X., & Fernández, V. (2013). Huella hídrica y sostenibilidad del uso de los recursos hídricos. *M+A. Revista Electrónica de Medioambiente*, 14(1), 56–86.

Vásquez, J., Guevara, G., & Reinoso, G. (2013). Impactos de la urbanización y agricultura en cuencas con bosque seco tropical: influencia sobre la composición y estructura de larvas de tricópteros. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias*, 25 (1), 61-70. Recuperado de: <http://www.asociacioncolombianadecienciasbiologicas.org/download/revistas/2013/Art%206.pdf>

Wang, Y., Wu, P., Engel, B., & Sun, S. (2014). Application of water footprint combined with a unified virtual crop pattern to evaluate crop water productivity in grain production in China. *Science of the Total Environment*, 497- 498, 1–9. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.07.089>

World Wildlife Fund (WWF) y Bavaria (2011). Identificando Riesgos para la Construcción de una Estrategia de Custodia del Agua. Recuperado de <file:///C:/Documents%20and%20Settings/Administrador/Mis%20documentos/Downlo>

ads/M4.14-2_Huella%20H%C3%ADdrica%20Bavaria.pdf

World Wildlife Fund: WWF. (2013). Huella Hídrica del Sector Agropecuario del Perú.
Reporte # 1. Recuperado de:
www.ana.gob.pe/media/1256542/estudio%20huella%20hídrica%20nacional.pdf

Zhuo, L., Mekonnen, M., & Hoekstra, A. (2016). Consumptive water footprint and virtual water trade scenarios for China with a focus on crop production, consumption and trade. *Environment international*, 94, 211-223.

 Universidad del Tolima	PROCEDIMIENTO DE FORMACIÓN DE USUARIOS AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	Página 1 de 3
		Código: GB-P04-F03
		Versión: 03
		Fecha Aprobación: 15 de Febrero de 2017

Los suscritos:

PERLA TATIANA VARON VARGAS	con C.C N°	38.212.500
_____	con C.C N°	_____
_____	con C.C N°	_____
_____	con C.C N°	_____
_____	con C.C N°	_____

Manifiesto (an) la voluntad de:

Autorizar

No Autorizar

Motivo: _____

La consulta en físico y la virtualización de **mi OBRA**, con el fin de incluirlo en el repositorio institucional de la Universidad del Tolima. Esta autorización se hace sin ánimo de lucro, con fines académicos y no implica una cesión de derechos patrimoniales de autor.

Manifestamos que se trata de una OBRA original y como de la autoría de LA OBRA y en relación a la misma, declara que la UNIVERSIDAD DEL TOLIMA, se encuentra, en todo caso, libre de todo tipo de responsabilidad, sea civil, administrativa o penal (incluido el reclamo por plagio).

Por su parte la UNIVERSIDAD DEL TOLIMA se compromete a imponer las medidas necesarias que garanticen la conservación y custodia de la obra tanto en espacios físico como virtual, ajustándose para dicho fin a las normas fijadas en el Reglamento de Propiedad Intelectual de la Universidad, en la Ley 23 de 1982 y demás normas concordantes.

La publicación de:

Trabajo de grado

Artículo

Proyecto de Investigación

Libro

Parte de libro

Documento de conferencia

Patente

Informe técnico

Otro: (fotografía, mapa, radiografía, película, video, entre otros)

 Universidad del Tolima	PROCEDIMIENTO DE FORMACIÓN DE USUARIOS AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	Página 2 de 3
		Código: GB-P04-F03
		Versión: 03
		Fecha Aprobación: 15 de Febrero de 2017

Producto de la actividad académica/científica/cultural en la Universidad del Tolima, para que con fines académicos e investigativos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad del Tolima. Con todo, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada con arreglo al artículo 30 de la Ley 23 de 1982. En concordancia suscribo este documento en el momento mismo que hago entrega del trabajo final a la Biblioteca Rafael Parga Cortes de la Universidad del Tolima.

De conformidad con lo establecido en la Ley 23 de 1982 en los artículos 30 “**...Derechos Morales. El autor tendrá sobre su obra un derecho perpetuo, inalienable e irrenunciable**” y 37 “**...Es lícita la reproducción por cualquier medio, de una obra literaria o científica, ordenada u obtenida por el interesado en un solo ejemplar para su uso privado y sin fines de lucro**”. El artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “**los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores**” y en su artículo 61 de la Constitución Política de Colombia.

- Identificación del documento:

Título completo: **EVALUACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA MULTISECTORIAL DE LA CUENCA DEL RÍO COMBEIMA (DEPARTAMENTO DEL TOLIMA).**

- Trabajo de grado presentado para optar al título de:

MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL Y EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL

- Proyecto de Investigación correspondiente al Programa (No diligenciar si es opción de grado “Trabajo de Grado”):

- Informe Técnico correspondiente al Programa (No diligenciar si es opción de grado “Trabajo de Grado”):

- Artículo publicado en revista:

- Capítulo publicado en libro:

- Conferencia a la que se presentó:
