

**EVALUACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN  
AGRÍCOLA Y PECUARIO PREDOMINANTES EN LA MICROCUENCA LA PLATA,  
(IBAGUÉ, TOLIMA).**

**MAYRA ALEJANDRA BARRAGÁN MACHADO  
RAÚL STIVEN SIACHOQUE GARCÍA**

**Trabajo de grado como requisito parcial para optar al título de  
Ingeniero Forestal.**

**DIRECTOR  
ANTONIO JOSÉ GUÍO DUQUE  
Magister en Ciencias Ambientales**

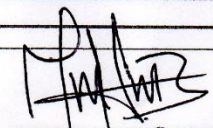
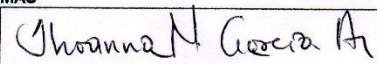
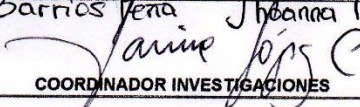
**CO-DIRECTOR  
JADER MUÑOZ RAMOS  
Doctor en Ciencias Agrícolas**

**UNIVERSIDAD DEL TOLIMA  
FACULTAD DE INGENIERÍA FORESTAL  
INGENIERÍA FORESTAL  
IBAGUÉ - TOLIMA**

**2017**

COMITÉ DE INVESTIGACIONES ACTA DE SUSTENTACIÓN TRABAJO DE GRADO (Acuerdo Consejo de Facultad Ingeniería Forestal 355 de 2013)				
<b>TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO</b> Evaluación de la huella hídrica de los sistemas de producción agrícola y pecuario predominantes en la microcuenca La Plata, (Ibagué, Tolima)				
<b>NOMBRE DEL (LOS) ESTUDIANTE(S):</b> Mayra Alejandra Barragán Machado				
<b>DIRECTOR</b> Antonio José Guío Duque Jader Muñoz Ramos				
<b>NOMBRE Y NIVEL DE FORMACIÓN JURADO 1</b> Miguel Ignacio Barrios Peña. Doctor en Ingeniería del Agua y Medioambiental				
<b>CALIFICACIÓN JURADO 1</b>	<b>Informe Escrito (65%)</b>	4,1	<b>Sustentación (35%)</b>	4,5
<b>NOMBRE Y NIVEL DE FORMACIÓN JURADO 2</b> Johanna Magally García Andrade. Magister en Planificación y Manejo Ambiental de Cuenca Hidrográficas.				
<b>CALIFICACIÓN JURADO 2</b>	<b>Informe Escrito (65%)</b>	4,7	<b>Sustentación (35%)</b>	4,5
<b>CALIFICACIÓN PONDERADA</b>				
	Jurado 1	4,2	Jurado 2	4,6
<b>CALIFICACIÓN FINAL</b>	4,4	<b>Reprobado</b>		<b>Aprobado</b>
<b>Sobresaliente</b>	X	<b>Meritorio</b>		<b>Laureado</b>
<b>RANGOS DE EQUIVALENCIA:</b> Calificación menor de tres cero (3.0) Calificación entre tres cero (3.0) y tres nueve (3.9) Calificación entre cuatro cero (4.0) y cuatro cuatro (4.4) Calificación entre cuatro cinco (4.5) y cuatro nueve (4.9) Calificación de cinco cero (5.0)				
		<b>REPROBADO APROBADO SOBRESALIENTE MERITORIO LAUREADO</b>		
<b>OBSERVACIONES</b>				
<b>FIRMAS</b>				
 <b>NOMBRE Y FIRMA JURADO 1</b> Miguel Ignacio Barrios Peña		 <b>NOMBRE Y FIRMA JURADO 2</b> Johanna Magally García Andrade		
 <b>COORDINADOR INVESTIGACIONES</b>				
<b>CIUDAD:</b> Ibagué (Tolima)		<b>FECHA DE SUSTENTACIÓN:</b> 2- Marzo- 2018.		

<b>COMITÉ DE INVESTIGACIONES ACTA DE SUSTENTACIÓN TRABAJO DE GRADO (Acuerdo Consejo de Facultad Ingeniería Forestal 355 de 2013)</b>				
<b>TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO</b> Evaluación de la huella hídrica de los sistemas de producción agrícola y pecuario predominantes en la microcuenca La Plata, (Ibagué, Tolima)				
<b>NOMBRE DEL (LOS) ESTUDIANTE(S):</b> Raúl Stiven Siachoque García				
<b>DIRECTOR</b> Antonio José Guío Duque Jader Muñoz Ramos				
<b>NOMBRE Y NIVEL DE FORMACIÓN JURADO 1</b> Miguel Ignacio Barrios Peña. Doctor en Ingeniería del Agua y Medioambiental				
<b>CALIFICACIÓN JURADO 1</b>	<b>Informe Escrito (65%)</b>	<b>4,1</b>	<b>Sustentación (35%)</b>	<b>4,5</b>
<b>NOMBRE Y NIVEL DE FORMACIÓN JURADO 2</b> Johanna Magally García Andrade. Magister en Planificación y Manejo Ambiental de Cuencas Hidrográficas.				
<b>CALIFICACIÓN JURADO 2</b>	<b>Informe Escrito (65%)</b>	<b>4,7</b>	<b>Sustentación (35%)</b>	<b>4,5</b>
<b>CALIFICACIÓN PONDERADA</b>	<b>Jurado 1</b>	<b>4,2</b>	<b>Jurado 2</b>	<b>4,6</b>
<b>CALIFICACIÓN FINAL</b>	<b>4,4</b>	<b>Reprobado</b>	<b>Aprobado</b>	
<b>Sobresaliente</b>	<b>X</b>	<b>Meritorio</b>	<b>Laureado</b>	
<b>RANGOS DE EQUIVALENCIA:</b> Calificación menor de tres cero (3.0) Calificación entre tres cero (3.0) y tres nueve (3.9) Calificación entre cuatro cero (4.0) y cuatro cuatro (4.4) Calificación entre cuatro cinco (4.5) y cuatro nueve (4.9) Calificación de cinco cero (5.0)				
<b>OBSERVACIONES</b>				

<b>FIRMAS</b>	
	
<b>NOMBRE Y FIRMA JURADO 1</b> Miguel Ignacio Barrios Peña	<b>NOMBRE Y FIRMA JURADO 2</b> Johanna Magally García Andrade
 <b>COORDINADOR INVESTIGACIONES</b>	
<b>CIUDAD:</b> Ibagué (Tolima).	<b>FECHA DE SUSTENTACIÓN:</b> 2-Marzo-2018.

*“Si buscas resultados diferentes,  
no hagas siempre lo mismo”*

Albert Einstein.

*A Dios y a la Virgen, sobre todas las cosas.  
A mi familia, especialmente mi madre  
Esperanza, mi hermano Yeisson y mi tía  
Ruth, quienes han creído siempre en mis  
capacidades y me dieron su amor, paciencia  
y apoyo incondicional. Gracias por ser mi  
pilar en la vida e impulsarme a cumplir cada  
una de mis metas.*

*Alejandra B.*

*A Dios, principalmente.  
A mi familia, especialmente mi madre  
Maritza, mi hermano Sebastián y mi padre  
Raúl, por motivarme a no desfallecer en este  
proceso y brindarme su apoyo incondicional,  
y por ser mi compañía y brindarme su cariño  
en cada instante.*

*Raúl S.*

## AGRADECIMIENTOS

Los autores manifiestan sus agradecimientos a:

Los profesores Antonio José Guío Duque y Jader Muñoz Ramos, directores de este trabajo, quienes fueron de vital importancia en este camino de investigación, con el aporte de sus conocimientos y la disponibilidad de tiempo para guiarnos a lo largo del desarrollo del trabajo.

La Oficina de Investigaciones y Desarrollo Científico de la Universidad del Tolima y el proyecto “Implementación de una Estrategia para Optimizar las Capacidades Científicas y Tecnológicas del Departamento del Tolima – EOCYT”, código 20516, por el apoyo económico brindado para el desarrollo de este trabajo.

El profesor Didier Moreira del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura – IICA, por sus enseñanzas, observaciones y aportes en la construcción del documento.

El Grupo de Investigación en Producción Ecoamigable de Cultivos Tropicales – PROECUT, por avalar el proyecto y por el apoyo logístico en campo.

Los docentes adscritos al Laboratorio de Gestión Ambiental, de la Facultad de Ingeniería Forestal de la Universidad del Tolima, por su tiempo, atención y aportes que surgieron durante el proceso.

Los compañeros del Semillero en Gestión Integral del Recurso Hídrico – GIRH, por su apoyo en las fases de campo.

Finalmente, expresamos un especial agradecimiento a Perla Tatiana Varón Vargas, estudiante de la Maestría en Gestión Ambiental y Evaluación del Impacto Ambiental de

la Universidad del Tolima, por su contribución y aportes indispensables para el desarrollo del mismo y, sobre todo, por su amistad.

Los productores de la microcuenca de la Quebrada La Plata y todas aquellas personas que, con su tiempo e información suministrada, nos permitieron llevar a cabo este estudio.



## CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>18</b>
<b>1. OBJETIVOS.....</b>	<b>21</b>
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	21
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	21
<b>2. MARCO REFERENCIAL .....</b>	<b>22</b>
2.1 HUELLA HÍDRICA (HH) .....	22
2.2 SISTEMA DE PRODUCCIÓN .....	25
2.2.1 Sistema de Producción Agrícola .....	25
2.2.2 Sistema de Producción Pecuario .....	26
2.3 DESARROLLO SOSTENIBLE .....	26
2.4 OFERTA Y DEMANDA HÍDRICA.....	28
2.5 ÍNDICE DE ESCASEZ .....	28
2.6 ANTECEDENTES .....	29
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>33</b>
3.1 ÁREA DE ESTUDIO.....	33
3.2 Caracterización de los sistemas de producción .....	35
3.2.1 Identificación preliminar de tipos de fincas.....	35
3.2.2 Caracterización de la tipología de fincas.....	36
3.2.3 Caracterización de los sistemas de producción predominantes.....	39
3.3 CALCULO DE LA HUELLA HÍDRICA DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN PREDOMINANTES.....	39
3.4 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS HUELLAS HÍDRICAS .....	48
3.5 ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD.....	48
3.5.1 Análisis de sostenibilidad ambiental de la Huella Hídrica.....	49
3.5.2 Análisis de sostenibilidad económica de la Huella Hídrica.....	51

3.5.3	Análisis de sostenibilidad social de la Huella Hídrica .....	51
3.6	PROPUESTA DE SOSTENIBILIDAD.....	52
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>54</b>
4.1	CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS PREDOMINANTES DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA.....	54
4.1.1	Identificación Preliminar de Tipos de Fincas .....	54
4.1.2	Caracterización de Tipología de Fincas .....	55
4.1.3	Caracterización de los sistemas de producción predominantes.....	56
4.2	HUELLA HÍDRICA DE LOS SISTEMAS PREDOMINANTES DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA.....	66
4.2.1	Cálculo de la huella hídrica verde (HV) de los sistemas predominantes de producción agrícola .....	68
4.2.2	Cálculo de la huella hídrica gris (HG) de los sistemas predominantes de producción agrícola .....	72
4.3	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS HUELLAS HÍDRICAS.....	74
4.4	ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD .....	79
4.4.1	Análisis de sostenibilidad ambiental de la Huella Hídrica .....	79
4.4.2	Análisis de sostenibilidad económico de la Huella Hídrica .....	81
4.4.3	Análisis de sostenibilidad social de la Huella Hídrica .....	83
4.5	PROPUESTA DE SOSTENIBILIDAD .....	83
4.5.1	Disminución de la frontera agrícola y aumento de cultivos agroforestales en la microcuenca La Plata, Ibagué – Tolima.....	83
4.5.2	Ampliación de las áreas de conservación y protección en la microcuenca La Plata, Ibagué – Tolima.....	86
4.5.3	Descontaminación del recurso hídrico en la microcuenca La Plata, Ibagué – Tolima.....	87
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>88</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>90</b>

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 91**

**ANEXOS ..... 102**

## LISTADO DE ANEXOS

<b>ANEXO A.</b> Árbol Binario O Dendrograma.....	<b>103</b>
<b>ANEXO B.</b> Metodología De La Huella Hídrica Verde (HV). ....	<b>104</b>
<b>ANEXO C.</b> Metodología De La Huella Hídrica Azul (HA). ....	<b>105</b>
<b>ANEXO D.</b> Metodología De La Huella Hídrica Gris (HG). ....	<b>106</b>
<b>ANEXO E.</b> Metodología Del Análisis De Sostenibilidad Ambiental De La Huella Hídrica. .....	<b>107</b>
<b>ANEXO F.</b> Metodología Del Análisis De Sostenibilidad Económico De La Huella Hídrica. .....	<b>108</b>
<b>ANEXO G.</b> Metodología Del Análisis De Sostenibilidad Social De La Huella Hídrica .	<b>109</b>
<b>ANEXO H.</b> Metodología De La Propuesta De Sostenibilidad De La Huella Hídrica.....	<b>110</b>
<b>ANEXO I.</b> Muestreo De Calidad De Agua A Lo Largo De La Microcuenca La Plata, Ibagué – Tolima. ....	<b>111</b>
<b>ANEXO J.</b> Muestreo De Calidad De Suelo A Los Sistemas De Producción Agrícolas Predominantes En La Microcuenca La Plata, Ibagué - Tolima.....	<b>112</b>

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Valores empleados por sistema de producción agrícola predominante en el empleo del software CROPWAT 8.0, en el cálculo de la Huella Hídrica Verde y Azul.....	<b>43</b>
<b>Tabla 2.</b> Valores de referencia del índice de Escasez de Agua Verde (Everde,ciclo). ..	<b>50</b>
<b>Tabla 3.</b> Valores de referencia del Nivel de Contaminación del Agua (NCA). .....	<b>51</b>
<b>Tabla 4.</b> Cantidad de fincas y % donde se registran los diferentes sistemas de producción. ....	<b>54</b>
<b>Tabla 5.</b> Cantidad y % de fincas que presentan áreas con Arboles con Manejo Forestal (Arb-For) y Bosques aislados para Conservación (Arb-Cons).....	<b>55</b>
<b>Tabla 6.</b> Extensión total de hectáreas en la zona de cada uno de los sistemas de producción.....	<b>57</b>
<b>Tabla 7.</b> Valores de HV por tipo de sistema de producción en ( $m^3 \cdot ha^{-1}$ ) de la microcuenca La Plata, Ibagué- Tolima. ....	<b>72</b>
<b>Tabla 8.</b> Huellas Hídricas Verde (HV) y Gris (HG) en ( $m^3 \cdot t^{-1}$ ) por tipo de sistema de producción (transitorio o permanente) en la microcuenca La Plata (Ibagué - Tolima). ....	<b>74</b>
<b>Tabla 9.</b> Productividad aparente del agua (AWP) y productividad aparente de la tierra (APL) por sistemas predominantes de producción agrícola en la microcuenca La Plata (Tolima, Colombia). ....	<b>81</b>
<b>Tabla 10.</b> Objetivos, estrategias y acciones planteadas para disminución de la frontera agrícola y aumento en la implementación de cultivos agroforestales en la microcuenca La Plata, Ibagué – Tolima .....	<b>85</b>
<b>Tabla 11.</b> Objetivos, estrategias y acciones planteadas para la ampliación de las áreas de conservación y protección en la microcuenca La Plata, Ibagué – Tolima. ....	<b>86</b>
<b>Tabla 12.</b> Objetivos, estrategias y acciones planteadas para la descontaminación del recurso hídrico en la microcuenca La Plata, Ibagué – Tolima. ....	<b>87</b>

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Área de estudio, localización de la microcuenca La Plata, Ibagué - Tolima. .... **34**
- Figura 2.** Fases para el cálculo de la Huella Hídrica del sistema de producción predominante. .... **40**
- Figura 3.** Erosión de tierra en la microcuenca La Plata, Ibagué - Tolima. .... **55**
- Figura 4.** Sistema de producción de Café (*Coffea arabica* Linneo) en la microcuenca La Plata, Ibagué -Tolima. .... **58**
- Figura 5.** Sistema de producción de Frijol (*Phaseolus vulgaris* L) en la microcuenca La Plata, Ibagué - Tolima. .... **60**
- Figura 6.** Sistemas de producción predominante de Granadilla (*Passiflora liguraris* Juss) en la microcuenca La Plata, Ibagué - Tolima. .... **62**
- Figura 7.** Caracterización de los sistemas de producción predominante de Mora (*Rubus glaucus* Benth) en la microcuenca La Plata, Ibagué - Tolima. .... **64**
- Figura 8.** Huellas Hídricas (HH) Verde, Azul y Gris de los sistemas predominantes de producción agrícola en la microcuenca La Plata (Tolima, Colombia). (a): Volumen ( $m^3$ ) del total de cada una de las HH (b): Relación porcentual del total de cada una de las HH. .... **66**
- Figura 9.** Huella Hídrica Verde (HV) de los sistemas de producción predominantes en la microcuenca La Plata (Tolima, Colombia) (a): consumo de agua de precipitación en  $m^3$  de los sistemas de producción. (b): relación porcentual de la HV de los sistemas de producción agrícolas predominantes..... **69**
- Figura 10.** Huella hídrica gris (HG) de los sistemas de producción predominantes en la microcuenca La Plata (Tolima, Colombia) (a): consumo de agua en  $m^3$  para diluir las cargas contaminantes por tonelada de producto de los sistemas priorizadas. (b): Relación porcentual (%) de la HG de los sistemas de producción agrícola predominantes..... **73**

**Figura 11.** Distribución espacial de la Huella Hídrica Verde de los sistemas predominantes de producción agrícola en la microcuenca La Plata (Tolima, Colombia).....**76**

**Figura 12.** Distribución espacial de la Huella Hídrica Gris de los sistemas predominantes de producción agrícola en la microcuenca La Plata (Tolima, Colombia).....**77**

## RESUMEN

La microcuenca La Plata tributa sus aguas a la cuenca del río Combeima, quien abastece agua para el acueducto de Ibagué (Tolima). La microcuenca cuenta con un área de 2.498 ha, el 86,66% de su cobertura es bosque natural, 7,5% cultivos, 5,75% pastos y 0,15% zonas improductivas. Las actividades productivas han provocado deforestación, aumento en la erosión y han alterado la calidad y disponibilidad del agua. A pesar de estas condiciones, no se han definido indicadores de sostenibilidad para el manejo del recurso hídrico en la zona. Por tanto, este trabajo evalúa la Huella Hídrica (HH) de los sistemas de producción agrícola predominantes en la microcuenca durante el año 2015, con el fin de establecer las relaciones causa-efecto a nivel socio-ambiental e indicadores para el manejo sostenible del recurso hídrico. Se calcularon las HH Azul (HA), Verde (HV) y Gris (HG) de los sistemas de producción. Los resultados indicaron que la HH de los sistemas de producción agrícola es de  $6.628,64 \text{ m}^3.t^{-1}$ . El Café (*Coffea arabica* Linneo) es el que genera mayor HV. El sistema de producción que mayor HG produce es el de Mora (*Rubus glaucus* Benth). Además, el análisis de sostenibilidad evidenció que la microcuenca presenta un estado crítico o “hotspot” ambiental por competencia de agua verde. Los resultados e indicadores permitieron crear estrategias de respuesta para mejorar la oferta, demanda y calidad del recurso hídrico, con el ánimo de contribuir a su uso eficiente. Este trabajo recibió apoyo económico del proyecto “EOCYT” de la Universidad del Tolima.

**Palabras claves:** Huella Hídrica Azul, Huella Hídrica Verde, Huella Hídrica Gris.



## ABSTRACT

The Plata micro-watershed tributes its waters to the Combeima river basin, which supplies water to the Ibagué aqueduct (Tolima). The microbasin has an area of 2,498 ha, 86.66% of its coverage is natural forest, 7.5% crops, 5.75% pastures and 0.15% unproductive areas. Productive activities have caused deforestation, increased erosion and have altered the quality and availability of water. Despite these conditions, no sustainability indicators have been defined for the management of water resources in the area. Therefore, this work evaluates the Water Footprint (HH) of the predominant agricultural production systems in the microbasin during 2015, in order to establish cause-effect relationships at the socio-environmental level and indicators for the sustainable management of the resource. water HH Blue (HA), Green (HV) and Gray (HG) of the production systems were calculated. The results indicated that the HH of the agricultural production systems is 6,628.64 m<sup>3</sup>.t<sup>-1</sup>. Coffee (*Coffea arabica* Linneo) is the one that generates the highest HV. The production system that produces the most HG is Mora (*Rubus glaucus* Benth). In addition, the sustainability analysis showed that the microbasin presents a critical state or environmental "hotspot" due to green water competition. The results and indicators allowed to create response strategies to improve the supply, demand and quality of the water resource, with the aim of contributing to its efficient use. This work received financial support from the "EOCYT" project of the Universidad del Tolima..

**Keywords:** Blue Water Footprint, Green Water Footprint, Gray Water Footprint

## INTRODUCCIÓN

El planeta tierra está cubierto por cerca del 75% de agua, la cual es fuente y motor vida del mismo, pero cerca del 1% del agua total es apta para el consumo humano, debido al aumento de la presión sobre este recurso natural causado por el crecimiento poblacional y demográfico, lo que se convierte en un indicador de amenaza sobre los recursos naturales, por lo tanto se hace relevante para la identificación de impactos reales sobre los recursos naturales de zonas geográficamente delimitadas; lo que permite cuantificar la huella generada por los hábitos de consumo de sus habitantes y/o las características de producción de sus empresas.

Colombia se encuentra ubicado en el séptimo puesto en cuanto a la disponibilidad del recurso hídrico, posición estratégica respecto a la gestión sostenible de los recursos naturales del territorio (Arévalo, 2012), donde el desarrollo sostenible y la gestión de los recursos naturales para todos los países del mundo se ha convertido en un verdadero desafío, Colombia por encontrarse en un puesto privilegiado se centra en la gestión de su recurso hídrico, ya que este recurso es fundamental para la vida.

Es así como la idea de conocer la huella de las acciones humanas desde el siglo pasado hasta la actualidad, ha provocado el desarrollo de nuevos conceptos e indicadores como la Huella Ecológica o la propia Huella Hídrica (HH), la cual busca una aproximación al uso eficiente del agua y el control de su contaminación, donde se cuantifica el volumen total de agua consumida o contaminada por unidad de tiempo (Fundación MAPFRE, 2011).

Ahora bien, la cuenca alta del río Combeima tiene una importancia estratégica para el desarrollo territorial del municipio de Ibagué, debido a que aporta, entre otros, el 96,7% del suministro de agua que abastece el acueducto de la ciudad y riega casi 7.000 *ha* de cultivos (CORTOLIMA, 2009). Además, la cuenca del río Combeima se encuentra en una zona especialmente sensible por sus características climatológicas y el déficit existente

de agua en gran parte de su territorio, hasta el punto que la cuenca ha sido definida como una de las cuencas con mayor índice de escasez en la región (DNP, 2009).

De hecho, una de las microcuencas del río Combeima es La Plata. Esta tiene una superficie de 2.498 *ha* (Rincón, 1973) y se caracteriza por presentar alta torrencialidad y marcada inestabilidad de los suelos (CEDAR, 1991; García *et al.*, 2005). El avance del mosaico de cultivos en la microcuenca asciende en la actualidad al 16,4%, aproximadamente (Guauque & Barreto, 2017) y la generación de residuos de pesticidas, fertilizantes y otros sólidos desencadenan procesos de óxido-reducción de la materia orgánica y mineralización del agua (Leonel *et al.*, 2000) que afectan la calidad de vida y favorece altos costos de producción acompañados de baja rentabilidad (Muñoz *et al.*, 2014).

Estas actividades causan la contaminación de los recursos naturales, especialmente el agua, asociado principalmente al cambio de uso del suelo, el uso intensivo de agroquímicos que llegan al cuerpo de agua por lixiviación y acarrear impactos ambientales que tienden a ser negativos (Matson *et al.*, 1997).

Además, el desarrollo de actividades agropecuarias y de explotación de material de arrastre (laja, arena y gravilla) ha disminuido paulatinamente la cobertura vegetal, deteriorado las características del suelo, favorecido la deforestación y aumentado el nivel de erosión y transporte de material inerte en suspensión hasta alrededor de 2,3  $t.ha^{-1}$  (Muñoz *et al.*, 2014), lo que conlleva un aumento de la presión sobre el recurso hídrico en términos de calidad y disponibilidad (Torres, 2004; DNP, 2009). Todo este contexto permite que la microcuenca de la quebrada La Plata sea, entre otros, objeto de priorización para la realización de estudios asociados al recurso hídrico con el fin de recuperar la oferta de servicios ecosistémicos relacionados al mismo (Muñoz *et al.*, 2014).

Así mismo, son pocos los estudios que se han llevado a cabo sobre la caracterización de los sistemas de producción en la mencionada microcuenca de La Plata, su valoración

socioeconómica y ambiental y la huella que estos producen sobre el ambiente, especialmente sobre el agua. La carencia de esta información dificulta la aplicación de las medidas necesarias para gestionar correctamente los recursos hídricos, cuyo fin es alcanzar un “buen estado” ecológico y químico de las aguas, prevención y reducción de la contaminación, promoción del uso sostenible del agua, protección del medio ambiente y mejora de la situación de los ecosistemas acuáticos, entre otros, que beneficien la sostenibilidad en la oferta ecosistémica del sitio.

Por tanto, es importante determinar la HH de los sistemas de producción predominantes en la microcuenca de la quebrada La Plata, que permita luego fundamentar alternativas de manejo del recurso hídrico que beneficien el desarrollo económico de las comunidades, la preservación de los servicios ambientales prestados por esta, el uso eficiente del agua y el control de su contaminación, factores que son objetivo fundamental en la búsqueda de la sostenibilidad de una empresa, ciudad o nación.

En este sentido, se aplicaron las metodologías propuestas por Hoekstra *et al.* (2011), Builes (2013), CTA (2013a), CTA (2013b) e IICA (2017), con el fin de cuantificar la HH de los sistemas de producción agrícola y pecuario predominantes en la microcuenca La Plata y evaluar y fomentar propuestas y estrategias orientadas a mejorar la sostenibilidad de los recursos hídricos de la misma.

En el presente documento el lector podrá encontrar, en primera instancia, una explicación de la metodología empleada para la toma de datos y desarrollo de los mismos, posteriormente se mostrarán resultados conclusiones y finalizará con las recomendaciones pertinentes.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la Huella Hídrica de los sistemas de producción agrícola y pecuario predominantes en la microcuenca La Plata (Ibagué, Tolima).

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Cuantificar la Huella Hídrica de los sistemas de producción agrícola y pecuario predominantes en la microcuenca La Plata.
- Evaluar la sostenibilidad de la Huella Hídrica de los sistemas de producción agrícola y pecuario predominantes en la microcuenca La Plata, basada en un análisis ambiental, económico y social de los resultados de cuantificación.
- Formular propuestas y estrategias orientadas a mejorar la sostenibilidad del recurso hídrico en la microcuenca La Plata.

## 2. MARCO REFERENCIAL

### 2.1 HUELLA HÍDRICA (HH)

La HH es una herramienta que permite evaluar la sostenibilidad del recurso hídrico, cuantificando el volumen total de agua requerido por las personas que habitan una región. Es útil para cuantificar los flujos de agua virtual de las importaciones y exportaciones. El estudio de la HH a niveles geográficos permite conocer exactamente la cantidad de agua y las condiciones necesarias para producir un bien y servicio, asimismo la cantidad necesaria para contrarrestar corrientes de agua contaminada (Tolón, Lastra & Fernández, 2013).

Además de indicar el volumen de agua dulce empleado directa o indirectamente para producir un bien, la HH proporciona información para determinar de qué lugar se obtuvo el volumen de agua utilizado, si se usó agua verde o azul y la contaminación que esta genera. Con ello se pueden visualizar los patrones de uso de agua relacionados con el flujo de agua virtual (Vázquez & Buenfil, 2012).

La HH permite analizar la eficiencia del consumo de agua en relación a la disposición del recurso en el área geográfica determinada o de estudio. El recurso hídrico satisface las necesidades de la población local, la producción económica y el reabastecimiento del ecosistema, por lo tanto la HH permite identificar el consumo del agua en diferentes sectores en busca de la sostenibilidad del recurso hídrico (IDEAM, 2015).

Por otro lado, el concepto de HH se formuló como respuesta a los lineamientos establecidos en la Conferencia de Río de Janeiro (Naciones unidas, 1992), debido a que el análisis, evaluación y cuantificación de la huella hídrica permite trabajar y establecer dinámicas de uso sustentable del recurso hídrico, lo que permite contribuir a que los estados disminuyan las modalidades de producción y consumo insustentable como se expresa en el Artículo 8.

La HH está definida por tres componentes: i) Huella Hídrica verde (HV), que es el volumen de agua evaporada de los recursos hídricos del planeta (agua de lluvia almacenada en el suelo como humedad); ii) la Huella Hídrica azul (HA), que es el volumen de agua dulce consumida de los recursos hídricos del planeta (aguas superficiales y subterráneas); y iii) la Huella Hídrica gris (HG), que es el volumen de agua contaminada que se asocia con la producción de bienes y servicios (Arévalo, 2012).

La HV se refiere a la evapotranspiración del agua lluvia total, así como la incorporada en la cosecha de los productos (Vázquez & Buenfil, 2012), entendida esta como el agua que se consume por la vegetación y no se convierte en escorrentía, es decir, el agua almacenada en los estratos superficiales del terreno que satisface la demanda de los cultivos y de la vegetación (WWF, 2012).

La HA permite determinar el volumen de agua dulce consumida; con la HA se establece el volumen de agua incorporado a la producción de un bien o servicio, teniendo en cuenta que la extracción de agua superficial no es devuelta a la cuenca, es decir, se refiere al volumen de agua superficial retirado de la cuenca (Vázquez & Buenfil, 2012). Así mismo, la cuantificación de la HA permite determinar la escasez y competencia del recurso hídrico, teniendo en cuenta el déficit de disponibilidad de agua procedente de la lluvia (WWF, 2012).

La HG se comporta como un indicador de la contaminación de agua dulce, asociada directamente a la utilización de los productos y la cantidad de agua requerida para que la presencia del mismo en el cuerpo de agua se diluya hasta los niveles de concentración de contaminantes en el agua permitida por la norma vigente en la zona donde se realice el estudio, contribuyendo a la disminución en la alteración de la calidad del agua (WWF, 2012). Refiriéndose no a un nuevo consumo de agua sino a la reducción del volumen del contaminante que está presente en el agua, donde el agua asimila y reduce la carga de contaminantes solo cuando se encuentra por encima del cumplimiento de las normas de calidad de agua (Falkenmark, 1995).

Como un indicador de “uso del agua”, la HH se diferencia de la medida clásica de “extracción de agua” en tres aspectos: i) no incluye el uso del agua azul, en la medida en que esta agua se devuelva a donde vino, ii) no se limita al uso del agua azul, sino que también incluye al agua verde y gris, y iii) no se limita al uso directo de agua, sino que también incluye el uso indirecto (Vázquez & Buenfil, 2012).

El cálculo de la HH es el resultado de la sumatoria de todos sus componentes (HA, HV y HG), sin embargo, también se puede determinar con la sumatoria de la HH directa (el agua utilizada por el productor para la producción, fabricación o las actividades de mantenimiento) o indirecta (el agua utilizada en la cadena de distribución del producto). Además, sus métodos también dependen del sector productivo que se esté evaluando (Hoekstra *et al.*, 2009).

La HH como indicador multidimensional está compuesto por distintas variables y su medición se hace importante para la planificación del recurso hídrico, debido a que permite tomar decisiones respecto a la seguridad hídrica, alimentaria y el crecimiento económico, asegurando así la provisión de agua a largo plazo (Sevilla, 2015).

En el análisis de la HH se consideran componentes básicos como el volumen, color o clasificación del agua, el lugar de origen del agua y el momento de extracción, con el fin de identificar datos relevantes para el cálculo de la misma (WWF, 2013). La cuantificación o cálculo de la HH se debe planificar y realizar teniendo en cuenta distintas etapas, como la recolección de datos y la aplicación del mecanismo de cuantificación (WFN, 2015). De esta forma, la HH permite evaluar los impactos en el tiempo y espacio de la extracción de agua, así como la afectación al régimen hidrológico, la importancia ecológica de la zona, la productividad del agua, el estrés hídrico, impactos en la cuenca y algunos criterios que puedan incidir en el mantenimiento de un balance sustentable y equitativo del agua en cada cuenca hidrográfica (WWF, 2013).



## **2.2 SISTEMA DE PRODUCCIÓN**

Un sistema de producción es un conjunto de elementos organizados funcional y estructuralmente para generar bienes y servicios al ser humano a partir de los recursos naturales. Consta de actividades organizadas y realizadas por un grupo humano (productores), que van acorde con sus objetivos, cultura y recursos, y utilizan prácticas tecnológicas según el medio físico para la obtención de sus producciones (Carro & González, 2003).

Dichos sistemas están conformados por componentes que se relacionan entre sí, los cuales pueden ser: (i) de tipo físico, que incluye aspectos geomorfológicos, variables climáticas, suelos, entre otros, (ii) de tipo biótico, conformado por especies agrícolas, pecuarias y, desde luego, el hombre como ordenador del sistema (Escobar & Berdegúé, 1990), y (iii) de tipo económico, que hace referencia a la tierra, mano de obra, infraestructura, proceso de producción y sociocultural, que reconoce al productor como el elemento central en el proceso de toma de decisiones que afectan los procesos productivos (Common & Stagl, 2008). En este sentido, un sistema de producción es un conglomerado de sistemas de fincas agrupadas que presentan una base de recursos, patrones empresariales, sistemas de subsistencia, que plantean estrategias apropiadas de desarrollo e intervención del suelo y la vegetación (FAO, 2001).

**2.2.1 Sistema de Producción Agrícola.** Un sistema de producción agrícola es aquel que, por medio de la realización de alguna actividad o manejo del hombre, genera algún tipo de producto que beneficia al ser humano, principalmente en su parte alimenticia. Es decir, es de gran aporte para la subsistencia del ser humano y la producción y rendimiento del mismo se convierte en parte relevante de la economía de las regiones del planeta, independientemente del avance tecnológico de la actualidad. El uso de los recursos naturales a nivel agrícola comprende aspectos geomorfológicos y climáticos que sean de gran influencia para el desarrollo de cultivos, como el agua, la tierra, zonas de pastoreo, los bosques, el clima, la altura sobre el nivel del mar y la pendiente, entre otros (FAO, 2007).

Los sistemas de producción agrícola permiten tener una perspectiva del uso integral de los recursos naturales (suelo, agua y vegetación), el manejo del mismo respecto a la realización actividades como abonada, desinfección, poda, entre otras se comporta como el indicador de dominancia y rendimiento de los cultivos establecidos en cierta zona.

**2.2.2 Sistema de Producción Pecuario.** Un sistema de producción pecuario se refiere a un conjunto de componentes que se interrelacionan con la función de cumplir un propósito común, en donde se realiza la transformación de la materia prima obtenida por medio de animales bovinos, caprinos, ovinos, porcinos y aves que, por medio del manejo y aplicación de técnicas utilizadas por el hombre, suplan beneficios para el ser humano, entre ellos alimenticios (González & Olavarría, 2011; Marín, 2011).

Los sistemas de producción pecuarios se desarrollarán por medio de la utilización de animales, para su desarrollo genera ciertos componentes de infraestructura como lo son la manutención y logística de alimentación, es decir, la utilización de áreas donde se producen alimentos para el consumo animal, áreas de potreros para pastoreos, arboles de sombrío, corrales y cocheras, entre otros. Los cuales garantizan el desarrollo adecuado de los animales que se encuentran en el sistema de producción (González & Olavarría, 2011).

Las entradas de los sistemas de producción pecuarios se basan en la compra de medicamentos veterinarios, alimentos, fertilizantes, agroquímicos y la mano de obra. Mientras, las salidas están asociadas a la producción de leche, la venta de carne, la producción de abono, la captura de CO<sub>2</sub> y la disminución de los efectos de cambio climático, respectivamente (González & Olavarría, 2011).

## **2.3 DESARROLLO SOSTENIBLE**

El desarrollo sostenible fue descrito por Bruntland (1987) como aquel “que satisface las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades” (citado por UNESCO, 2012 p.5).

La sostenibilidad es considerada desde tres ámbitos (medio ambiente, sociedad y economía) considerados de vital importancia para el desarrollo adecuado de un país desde el punto de vista de equidad entre las generaciones, equidad de género, paz, tolerancia, reducción de la pobreza, preservación y restauración del medio ambiente, conservación de los recursos naturales y justicia social (UNESCO, 2012).

El desarrollo sostenible y las acciones que este acarrea en un país o población se dirigen directamente a la solución de problemáticas que no permitan garantizar las sostenibilidad y sustentabilidad de los recursos naturales. Es por esto que, a partir de la cumbre de la tierra en Río Janeiro (1992), el desarrollo sostenible adquirió un enfoque más profundo y conciso en las acciones a realizar ante la degradación actual de los recursos naturales (Naciones Unidas, 2015).

Por tal motivo, el desarrollo de actividades y proyectos se enfocan en torno a temas como la reducción de la pobreza, el cambio de los patrones de consumo, el crecimiento de la población mundial y la protección de la salud humana, los cuales presentan desafíos para nuestros sistemas sociales y económicos, además de incluir la protección de recursos naturales, como el agua, la tierra y el aire, y otros temas importantes a nivel mundial, como el cambio climático y la pérdida de biodiversidad (UNESCO, 2012).

Cabe resaltar que el agua es un recurso finito afectado actualmente por el mal uso y la sobre explotación del mismo. Es decir, no se realiza una buena gestión del recurso, que es fundamental para el bienestar y solo puede ser renovable con la gestión adecuada, siendo este un prerrequisito del desarrollo sostenible, que juega un papel esencial en la resiliencia de los sistemas económicos, sociales y ambientales (Naciones Unidas, 2015).

Es por esto que el agua es el centro del desarrollo sostenible y resulta fundamental para el desarrollo socio-económico, la supervivencia humana y la adaptación al cambio climático; comportándose como el centro en la relación medio ambiente y la sociedad (Naciones Unidas, 2014).

## **2.4 OFERTA Y DEMANDA HÍDRICA**

La oferta hídrica se refiere al valor modal de los caudales promedio anuales, que representan la disponibilidad del recurso hídrico, y puede ser calculada por medio del análisis de las estaciones hidrométricas que miden el flujo de agua de la fuente abastecedora. La demanda hídrica se refiere al valor que se requiere en cierta área, es decir, el volumen de agua requerido de una fuente de agua superficial para producir un servicio o producto y que se puede obtener a partir de los volúmenes de producción sectorial y de factores de consumo de agua por tipo de producto o servicio (Domínguez *et al.*, 2008).

Es así como la oferta y demanda hídrica representan la capacidad de un cuerpo de agua para suplir el requerimiento doméstico e industrial. Además, se refiere a la capacidad que se presente para que el recurso cumpla con la demanda y no se agote y genere un déficit, es decir, esta ligada directamente a la sostenibilidad del recurso hídrico (ENA, 2014).

Debido a que el déficit de agua genera problemas de disponibilidad, desabastecimiento y racionamiento de agua, además de inconvenientes ocasionados por avenidas torrenciales o deslizamientos, afectando, a su vez la calidad de vida de la población y las actividades económicas; a pesar de que en la mayoría de los casos la demanda de agua sea mayor para las actividades agrícolas, la disponibilidad para la población respecto al agua potable es poca. Por tal motivo, la gestión del riesgo y del recurso hídrico es indispensable para asegurar la disponibilidad de agua, la seguridad territorial, los derechos e intereses colectivos, mejorar la calidad de vida de las poblaciones y comunidades (MINAMBIENTE, 2015).

## **2.5 ÍNDICE DE ESCASEZ**

El índice de escasez es definido como la relación entre la oferta y la demanda de agua que se requiere para producir un bien o servicio, la cual en ocasiones es tan alta que la

capacidad de la fuente de abastecimiento genera conflictos de abastecimiento doméstico, industrial y comercial (IDEAM, 2004).

Por tal razón, la gestión integral del recurso hídrico es importante para garantizar la sostenibilidad del mismo y contribuir al desarrollo sostenible, debido a que la sobreexplotación del recurso hídrico en una fuente de agua puede tener efectos negativos sobre las características de la calidad del agua, lo cual altera la dinámica de flujo de aguas a otras fuentes y en algunos casos conllevan a la desaparición del cuerpo de agua. Por lo tanto, es importante planificar el recurso hídrico, para que fuera de suplir la demanda requerida por ciertos sectores sea capaz de mantener el flujo de manera permanente (IDEAM, 2004).

Es así como la planificación del recurso hídrico, debe tener en cuenta medidas necesarias para plantear adecuadamente los planes de ordenamiento del uso de los recursos naturales y manejo sostenible de las cuencas hidrográficas, ya que son indispensables en la evaluación del comportamiento del recurso hídrico, es decir, la oferta, demanda y la influencia de este en el desarrollo sostenible (Infante & Ortiz, 2008).

## **2.6 ANTECEDENTES**

El concepto de HH fue introducido en el año 2001 por el catedrático Arjen Y. Hoekstra como un indicador alternativo del uso del agua, y fue refinado posteriormente por Ashok Kumar Chapagain y el mismo Hoekstra en el Instituto UNESCO-IHE para la Educación (Articultores, 2013).

La mayoría de los estudios que se han desarrollado al nivel mundial sobre la cuantificación de la HH en temas agrícolas y pecuarios han determinado la valía de la HH como una herramienta de diagnóstico para la sostenibilidad del recurso hídrico (Dourt *et al.*, 2013; Rodríguez da Silva *et al.*, 2013; Ridout & Pfister, 2013; García *et al.*, 2015 y Velásquez, s.f.).

García *et al.* (2015) identificaron puntos críticos en el proceso de riego para la producción de los cultivos, en los que se analizan las acciones específicas que mejoren la eficiencia del uso del agua, la reducción de las extracciones de agua y retornos de agua contaminada, para mantener las tasas de producción. Así mismo, Da Silva *et al.* (2013) revisaron el estado del arte del uso de la HH durante los años 2002 a 2013, y sustentaron la importancia de la cuantificación de la HH para el seguimiento del impacto humano sobre el medio ambiente. Además, estos autores, resaltaron el amplio uso de aplicaciones de la HH a diferentes escalas, que van desde un producto, proceso, industria, individuos, ciudades e, incluso, países de todo el mundo.

Dourt *et al.* (2014) introdujeron una red dinámica de recursos para la estimación de las HH estacionales de la producción agrícola en los E.E.U.U., lo que permitió proporcionar una contabilidad de la HH específica del sistema, que responde a los cambios de ubicación, el tiempo, el suelo y la gestión.

Pero, así como se ha resaltado la importancia de la HH como un indicador alternativo del uso del agua, trabajos como el de Wichelns (2015) estiman que la HH y el agua virtual no son indicadores útiles para la aplicación de estrategias óptimas en materia de gestión de los recursos hídricos, por lo que describió cuatro perspectivas sobre las huellas virtuales e hídrica del agua, con el objetivo de demostrar las insuficiencias de estas nociones en las discusiones políticas y en los esfuerzos por determinar la asignación y uso óptimos de los recursos hídricos, en términos de escasez de agua o el comercio internacional.

A nivel latino americano, Frank & Viglizzo (2011) determinaron la HH para los sistemas agrícolas secanos en las pampas de Argentina, en donde evaluaron el uso del agua a cuatro escalas diferentes: i) la trama, ii) la granja, iii) la zona agroecológica y iv) toda la región. Ellos ofrecieron un enfoque de análisis sobre el aprovechamiento del agua a escala cruzada y una herramienta analítica para evaluar las relaciones de uso del agua más allá de las relaciones suelo-agua-planta. Los resultados mostraron que las actividades ganaderas requieren más agua que los cultivos a escala de parcela, pero en

otros patrones amplios de uso del agua estos requerimientos están determinados en gran medida por el cultivo.

En Colombia son pocos los estudios realizados sobre la HH. Arévalo, Lozano & Sabogal (2011) realizaron el Estudio Nacional de Huella Hídrica Colombia Sector Agrícola. Dicho estudio tuvo como objetivo fortalecer el posicionamiento de los diferentes sectores, sociedad civil, empresas y gobierno, frente al tema de la sostenibilidad del agua, mostrando impactos asociados al desarrollo de las actividades económicas y sociales y sus implicaciones frente a la sostenibilidad y disponibilidad del recurso hídrico, el cual se identifica como motor fundamental para el desarrollo social y económico del país. Durante su desarrollo se realizó el análisis individual de cada uno de los componentes de la HH (HV, HA y HG) y se identificó el potencial de información que ofrecen individualmente en lo relativo a sus impactos asociados a variables económicas, sociales y ambientales de los sectores productivos y consumidores, todo fuertemente orientado al carácter geográfico explícito del indicador.

Arévalo (2012) realizó el estudio “Una mirada a la agricultura de Colombia desde su Huella Hídrica”, donde, entre otras cosas, se suministran datos estadísticos respecto a los valores de HV, HA y HG en el país. En este informe se evidenció que el departamento de Tolima es la zona del país con mayores valores de HA ( $800 \text{ Mm}^3.\text{año}^{-1}$ ) y HG ( $250 \text{ Mm}^3.\text{año}^{-1}$ ), lo que, según el autor, significa que el Tolima es una zona con elevados requerimientos de riego y, por lo tanto, provoca una escasez natural de agua y posible competencia por el recurso, además que es la zona del país donde mayor cantidad de agua se contamina debido a la aplicación de agroquímicos que contienen nitrógeno en las actividades agrícolas. Además, el Tolima es el sexto departamento con HV ( $2.000 \text{ Mm}^3.\text{año}^{-1}$ ), lo que indica que en este orden es el departamento con mayor requerimiento de agua verde.

CTA (2013a) realizó la evaluación de la HH para los sectores prioritarios (agropecuario, industrial, doméstico, generación de energía hidroeléctrica y minería) de la cuenca del Río Porce ubicada en el departamento de Antioquia - Colombia. Allí se determinó la HH

como herramienta de la gestión integral de los recursos hídricos (GIRH), que permite identificar relaciones causa–efecto a nivel socio-ambiental que comprometen la sostenibilidad del recurso natural (agua).



### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó de acuerdo con las metodologías de Builes (2013), CTA (2013a,b), e IICA (2017a,b) y se dividió en cuatro etapas: caracterización de los sistemas de producción, cálculo de la HH de los sistemas de producción predominantes, análisis de sostenibilidad y formulación de una propuesta de sostenibilidad.

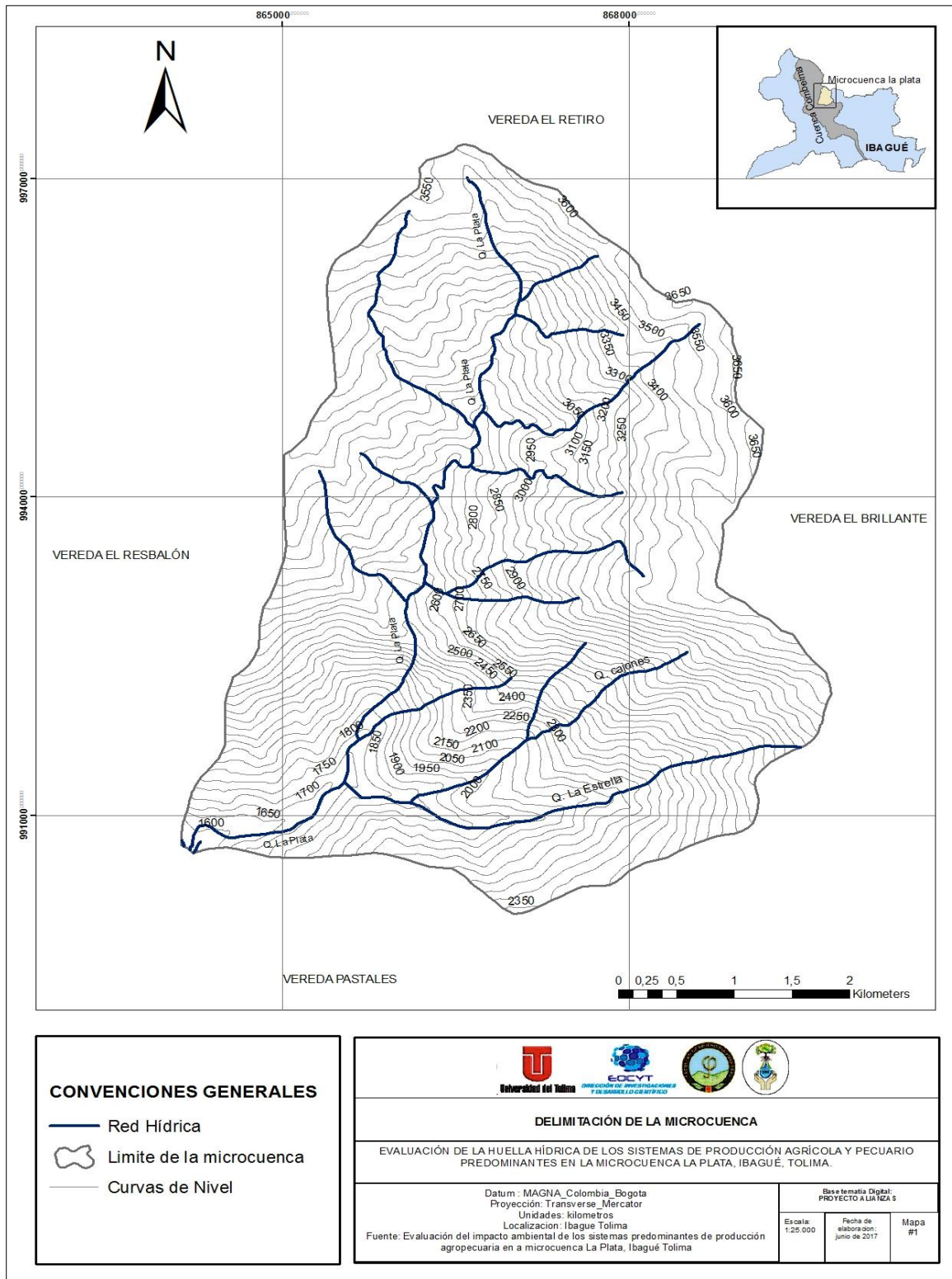
#### 3.1 ÁREA DE ESTUDIO

La microcuenca de la quebrada La Plata (Tolima, Colombia) nace en el complejo del páramo Los Nevados (a una altura mayor a los 3.600 *m.s.n.m.*), en la cabecera de las veredas El Retiro y El Resbalón, en las coordenadas planas X: 997400 *m* y Y: 867075 *m*, y desemboca a los 1.600 *m.s.n.m* en el Río Combeima, con coordenadas planas X: 900750 *m* y en Y: 864459 *m*.

La microcuenca está bordeada por las siguientes líneas divisorias de aguas: al Oriente con las aguas del río la China, al Occidente con la quebrada la Honda, al Norte con la quebrada Cuchilla Brasil y al Sur con la quebrada Las Peñas (CEDAR, 1991). Su cuenca hidrográfica limita por el Norte con la vereda el Retiro, al Sur con Pastales, al Oriente con la vereda El Brillante y al Occidente con El Resbalón (Figura 1).

El área de la microcuenca es alrededor de 2.498 *ha*, con perímetro de 22,29 *km*, longitud de drenaje de 31,30 *km* y una densidad de drenaje de 1,25 *km* por cada *km*<sup>2</sup>. La topografía es algo escarpada, con pendiente promedio de 56,56%. La mayor parte de su superficie (1.932 *ha*) se encuentra en índice de protección hidrológico alto, así como en alto índice de riesgo de erosión (Universidad del Tolima, 2003).

**Figura 1.** Área de estudio, localización de la microcuenca La Plata, Ibagué - Tolima.



Fuente: los autores

En la microcuenca de la quebrada La Plata, el uso de suelo está definido por bosque natural, pastos naturales, cultivos en asociaciones de Plátano (*Musa paradisiaca* Linneo), Café (*Coffea arabica* Linneo) y Mora (*Rubus glaucus* Benth), infraestructura y otros los cuales según cubren alrededor del 86,60 %, 5,75 %, 7,80 % y 0,15 % del mismo (Guauque & Barreto, 2017).

CORTOLIMA, teniendo en cuenta la demanda total de concesiones otorgadas en la cuenca mayor del río Coello para el año 2005, definió que para la microcuenca de la quebrada La Plata, se presenta una oferta hídrica neta de  $0,75 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . (CORTOLIMA, 2008).

### **3.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN**

Los sistemas de producción se caracterizaron mediante el desarrollo de tres etapas: identificación preliminar de tipos de fincas, caracterización de la tipología de fincas y caracterización de los sistemas de producción predominantes.

**4.2.1** Identificación preliminar de tipos de fincas. En una investigación que se desarrolló paralelamente a este trabajo, y mediante el método “snowball” o muestreo de “Bola de nieve”, se seleccionaron 55 predios asentados en la parte media baja de la microcuenca de la quebrada La Plata. Allí se llevó a cabo la aplicación de encuestas estructuradas donde se caracterizan los aspectos relacionados con su capital humano, social, físico, económico y natural, haciendo énfasis en el análisis del capital natural (Mora *et. al.*, 2017).

De la información obtenida en las encuestas aplicadas, se definió que las características de este capital se agrupaban en cuatro variables así: % Área destinada a Conservación (%AC), % Área con Pastos (%AP), % Área con Cultivos Permanentes (%ACP), % Área con Cultivos Transitorios (%ACT) y la agrupación conforme a la Extensión Total del Predio (ETP), teniendo en cuenta el criterio de clasificación de cada una de las fincas.

Del análisis de las variables mencionadas en el párrafo anterior, se estableció la siguiente tipología de predios o fincas (método descrito en el inciso 4.2.2):

- Fincas pequeñas con un 98% de sistemas de producción agrícola permanentes.
- Fincas medianas con un 46% de sistemas de producción agrícola permanentes y un 46% de áreas de conservación.
- Fincas pequeñas con un 40% de sistemas de producción agrícola permanentes y un 42% de sistemas de producción agrícola temporales.
- Fincas grandes sin sistemas de producción agrícola temporales, con predominancia de áreas con pastos y áreas destinadas en igual proporción a sistemas de producción agrícola permanentes y conservación.

**3.2.2** Caracterización de la tipología de fincas. Las tipologías de fincas fueron sometidas a un análisis de conglomerados, de donde se seleccionaron 26 predios con baja disimilaridad entre ellos, o sea, predios con similares %AC, %AP, %ACP, %ACT y ETP. El análisis de conglomerados es un análisis multivariado que agrupa distintas clases o categorías que comparten características similares (Balzarini, 2008).

Posteriormente, se identificaron y caracterizaron los sistemas de producción que se desarrollan en los predios o fincas seleccionadas por medio de la aplicación de una encuesta estructurada, con el fin de conocer la información acerca de las etapas, particularidades y peculiaridades técnicas, tecnológicas, financieras y ambientales de cada uno de los sistemas.

Las etapas de los sistemas de producción fueron inicialmente consignadas en una base de datos según la respuesta que suministró la persona encuestada en la finca, así: No, Si, No responde (Nr). Estas variables fueron transformadas discrecionalmente en números: 3, 2 y 1, respectivamente, con el fin de satisfacer los requerimientos del programa estadístico Infostat (2016) para poder realizar el análisis estadístico.

Así mismo, las variables categóricas Pendiente (Pen) conforme FAO (2009), Tipo de Cultivo (TC), Clase de Cultivo (CC); fueron transformadas según sus características, así:

- a. Pendiente (Pen): Muy Ondulado (1), Escarpado (2) y Muy Escarpado (3).
- b. Tipo de Cultivo (TC): Arveja (*Pisum sativum* L.) (1), Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) (2), Maíz (*Zea mays* L.) (3), Granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) (4), Mora (*Rubus glaucus* Benth) (5), Café-Plátano (*Coffea arabica* Linneo) – (*Musa paradisiaca* Linneo) (6), Yuca (*Manihot esculenta* Crantz) (7), Gulupa (*Passiflora edulis* Sims) (8), Pitahaya (*Hylocereus megalanthus* Ralf Bauer) (9), Pastos (*Pennisetum purpureum* Schumach) (10), Lulo (*Solanum quitoense* Lam) (11), Yacón (*Smallanthus sonchifolius* H. Robinson) (12) y Aguacate (*Persea americana* Mill) (13).
- c. Clase de Cultivo (CC): Transitorio (1) y Permanente (2).

Los resultados obtenidos fueron consignados en matrices de cálculo en donde se relacionaron variables generales (Área de la Finca (AF), Pendiente (Pen), Tipo de Cultivo (TC), Clase de Cultivo (CC), % Área Sembrada (% AS)) con las etapas del sistema producción (Germinación (Ger), Preparación (Prep), Desinfección (Des), Siembra (Siem), Mantenimiento (Mant), Riego (Rg), Control Fitosanitario (CF), Cosecha (Cos), Poscosecha (P-Cos), la presencia de Árboles Asociados al Cultivo (Arb-Cult), Árboles con Manejo Forestal (Arb-For) y Bosques Aislados para Conservación (Arb-Cons), con el respectivo predio o Finca (F) y el Conglomerado (C)).

Luego de construir estas matrices, y según la frecuencia de los TC en los predios y los %AS de cada uno, se seleccionaron los sistemas de producción agrícola de Frijol (*Phaseolus vulgaris* L), Granadilla (*Passiflora ligularis* Juss), Mora (*Rubus glaucus* Benth) y Café (*Coffea arabica* Linneo) para el resto del análisis, debido a que presentan la mayor frecuencia en la zona de estudio y mayor extensión en los predios priorizados.

A pesar de que los pastos fueron también sistemas de producción predominantes, no presentan ningún manejo cultural. El Riego (Rg) de cultivos solo se realizaba en dos (2) de los predios, en épocas de sequía, es decir una (1) vez al año y solo para el sistema

de producción agrícola de Mora (*Rubus glaucus* Benth). Además, en ninguno de los 26 predios o fincas se hace un manejo de Arboles Asociados a Manejo Forestal. Por esta razón, tanto los pastos, como el riego y la variable Arboles Asociados a Manejo Forestal no fueron considerados en el análisis.

Posteriormente, se realizó un nuevo análisis de conglomerados, en donde los 26 predios o fincas se agruparon en dos conglomerados o tipologías. Para esto, los datos de las variables generales, de las etapas de cultivo y de los árboles asociados fueron estandarizados por defecto por el programa Infostat (2016) y se empleó un algoritmo jerárquico en el cual se usó como criterio de clasificación los predios o fincas. Se empleó el Average-Linkage o método de encadenamiento promedio como el método o la técnica de agrupamiento, y la distancia Euclídea como medida de disimilaridad o distancia. A partir de allí se obtuvo el consecuente árbol binario o dendrograma y se calculó el coeficiente de correlación cofenética que indica la correlación de las distancias definidas por la métrica del dendrograma (Anexo 9.1) con las distancias originales entre objetos.

Finalmente, se realizó un análisis de componentes principales en el mismo Infostat (2016), con el ánimo de analizar la interdependencia de las variables y encontrar una representación gráfica óptima de la variabilidad de los datos, en el que se usaron las variables generales, las etapas del cultivo y arboles asociados de los predios o fincas que fueron el criterio de clasificación. También, por defecto se estandarizaron los datos para realizar el análisis sobre la matriz de correlación y de esta forma obtener el gráfico Biplot. Así como el calculó el coeficiente de correlación cofenética como una medida de la calidad de la reducción lograda.

Con el apoyo del Infostat (2016), y buscando describir la tipología del conglomerado, el análisis del Biplot fue complementado con el calculó de las medidas resumen para cada una de las variables consignadas en cada conglomerado definido (n, media, desviación estándar, valor mínimo y valor máximo) y un análisis de varianza (ANOVA), por medio del método de mínimos cuadrados y empleando como prueba confirmativa de las diferencias el test de Duncan, definiendo que  $p > 0,05$  indica diferencias significativas.

Para la ANOVA, previamente fue necesario desarrollar en el mismo programa, una prueba de normalidad (Shapiro-Wilks modificado), seleccionando los residuos como variable de análisis.

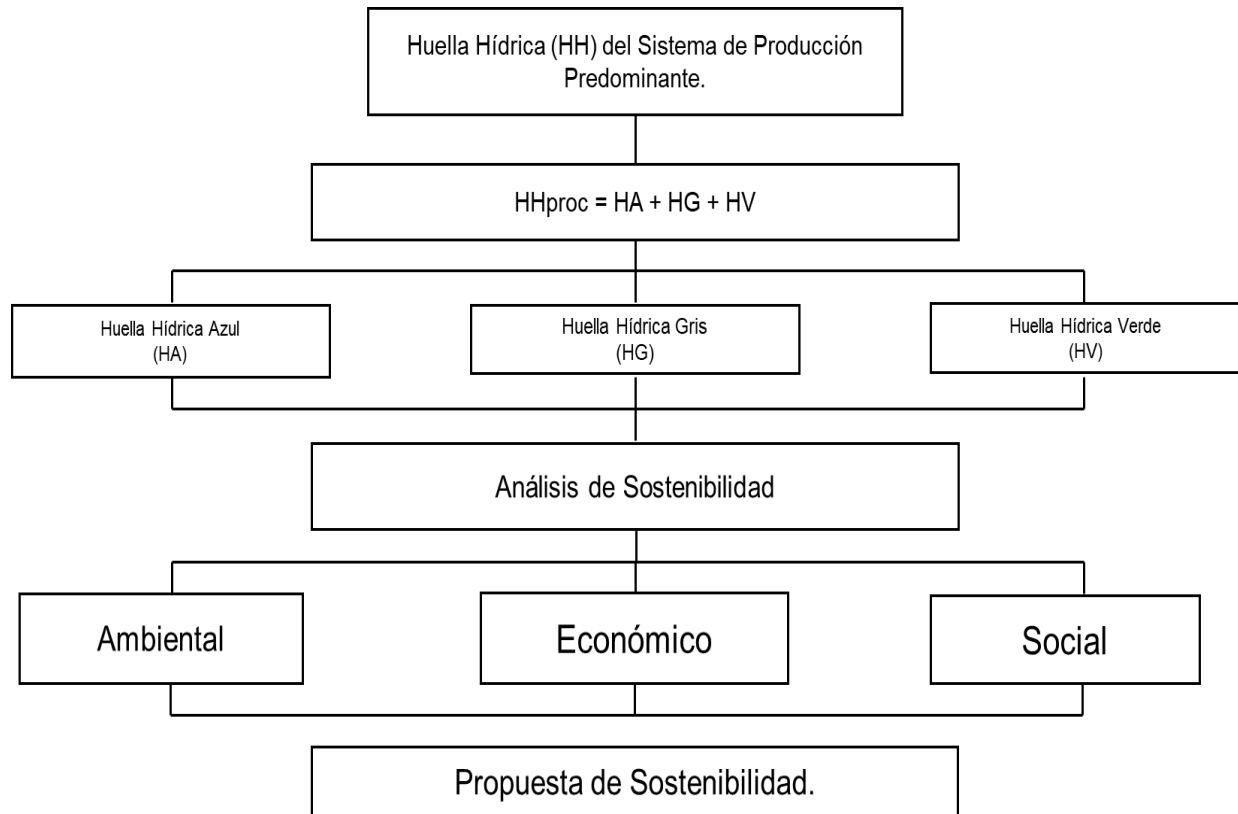
**3.2.3** Caracterización de los sistemas de producción predominantes. Los sistemas de producción predominantes se caracterizaron según la información obtenida en las encuestas aplicadas a las 55 fincas del área de estudio, de las cuales se analizó la existencia de los sistemas de producción agrícolas y pecuarios en los predios, el %AS, los TC existentes, así como la presencia de animales para autoconsumo, cría y beneficio.

Después de determinar el sistema de producción predominante en la zona, se realizó la aplicación de encuestas estructuradas específicas a veintiséis (26) fincas para obtener información acerca de los cultivos presentes en la zona, a los cuales se les analizaron variables como: Área de la Finca (AF), Pendiente (Pen), Tipo de Cultivo (TC), Clase de Cultivo (CC), % Área Sembrada (% AS); las etapas del sistema producción: Germinación (Ger), Preparación (Prep), Desinfección (Des), Siembra (Siem), Mantenimiento (Mant), Riego (Rg), Control Fitosanitario (CF), Cosecha (Cos), Poscosecha (P-Cos) y la presencia de Árboles Asociados al Cultivo (Arb-Cult), con el respectivo predio o Finca (F) y el Conglomerado (C).

### **3.3** CALCULO DE LA HUELLA HÍDRICA DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN PREDOMINANTES.

Para el cálculo de la HH de los sistemas de producción predominantes se tuvieron en cuenta aspectos como la temporalidad y la ubicación geográfica. Las etapas y procesos que se llevan a cabo en los sistemas de producción predominantes, se definieron a partir del trabajo en campo en zona de ladera de la cuenca y la información generada por fuentes oficiales (CTA 2013 a,b). La Huella Hídrica se calcula por medio de unas fases (Figura 2) como los son el cálculo de la Huella Hídrica Azul (HA), Huella Hídrica Gris (HG), Huella Hídrica Verde (HV), Análisis y propuesta de sostenibilidad las cuales se especifican en los anexos 9.2 a 9.8.

**Figura 2.** Fases para el cálculo de la Huella Hídrica del sistema de producción predominante.



Fuente: Los autores

Acorde a la información obtenida en las encuestas aplicadas a las 26 fincas priorizadas en el área de estudio para el año 2015, se analizaron cada uno de los sistemas de producción agrícolas y pecuarios existentes en ellas, y se llevó a cabo la realización de pruebas de campo al suelo y al agua, además se obtuvo información clave para el presente documento suministrada por medio de informes emitidos por las entidades públicas del municipio los cuales fueron útiles a la hora del cálculo de la Huella Hídrica de los sistemas de producción.

Para realizar el cálculo de las HA, HV y HG de los sistemas agrícolas predominantes en la microcuenca La Plata, se usó información obtenida de Cerdas & Castro (2003), FAO



(2006), SPAW-Hidrology (2007), CENICAFÉ (2007), IDEAM (2010), ICA (2011), SAG (2013), Builes (2013) y Software CLIMWAT para CROPWAT (2016).

La metodología para el cálculo de la Huella Hídrica utilizada en el presente trabajo se basó en el empleo del software CROPWAT 8.0 FAO (2010), el cual utiliza el método *Penman-Monteith* para determinar la evapotranspiración de los cultivos y el agua requerida para producir un bien o servicio, es decir, el agua para riego y para consumo doméstico basado en datos del cultivo, de suelos, climáticos, teniendo en cuenta el equilibrio suelo-agua al día según el abastecimiento de agua y la gestión del recurso (FAO, 2007).

El programa requiere datos climatológicos como: i) información básica de la estación meteorológica (nombre del país y la estación, altitud, latitud, longitud), ii) datos climáticos mensuales de precipitación, temperatura máxima, mínima y media, humedad relativa, insolación y velocidad del viento (en este caso se empleó el programa CLIMWAT de la FAO, con el fin de obtener los datos de las variables climáticas requeridas), complementados con información de los cultivos referente a la duración de la etapa de crecimiento (inicial, desarrollo, media y final), Coeficiente del Cultivo ( $K_c$ ) y Factor de Rendimiento ( $K_y$ ) (Doorenbos & Pruitt, 1980), profundidad de raíces y fechas de siembra e información del suelo, como Textura, Humedad Total del Suelo, Nivel de Agotamiento de la Humedad, Agotamiento Inicial de la Humedad, Humedad Inicial del Suelo y Tasa Máxima de Infiltración de la Precipitación en el Suelo (Arteaga *et al.*, 2010).

Para alimentar el programa CLIMWAT para CROPWAT (2016) de la FAO en este estudio, se usaron los datos de la estación climatológica Aeropuerto Perales, la cual se encuentra en la cuenca del río Combeima a 928 *m.s.n.m.* En la zona de estudio existe una estación denominada Pastales ubicada a 1.600 *m.s.n.m.*, sin embargo, esta es una estación pluviométrica y por lo tanto, solo mide la variable de precipitación, una del total de las que necesita el software. Además, no tiene un registro completo y continuo de datos climatológicos (*com. pers.* de IDEAM), los cuales son indispensables para el

calculo de la evapotranspiración por parte del programa. Así las cosas la estación climatológica seleccionada asegura un registro continuo y periodico de información.

Por otro lado, Arévalo (2017) justifica el uso de información climática de otras estaciones que se encuentran en la misma cuenca, pero a diferentes alturas sobre el nivel del mar, cuando afirma que “de esta forma se generaría una mayor aproximacion al cálculo que al realizar una extrapolación con una estación metereologica que este a la misma altura”.

Así mismo, IDEAM (2013), aclara que cuando no se cuenta con una estación climatológica con datos de medición continua, para el cálculo de la evapotranspiración por medio del empleo del software en mención, se debe emplear datos de la estación más cercana y mas representativa respecto a lectura y tiempo. Considera además, que si se intentan ajustar los datos de manera manual, la manipulación de los mismos acarreará un aumento considerable en el error del cálculo.

Además, IICA (2015), resalta que al realizar una simulación por medio del uso de datos climatológicos a la misma altura de una zona de estudio, pero que presente una distancia mayor, generara limitaciones e incertidumbre en el grado de precisión de los resultados, pues este método es experimental y presenta mucha iteración de datos acarreando que la simulación no sea verídica ni factible para un análisis.

Cabe resaltar que Guevara (2006), comenta que el metodo de *Penman-Monteith*, es el más confiable para el cálculo de la  $ET_0$ , teniendo en cuenta que este calculo nunca va presentar un valor exacto. Por tal motivo, el cálculo que se realiza por medio del software CROPWAT basado en estaciones climatológica completas apunta a una veracidad del dato respecto al cálculo manual.

Otros datos como los valores de la profundidad de raíz, los Coeficientes del Cultivo ( $K_c$ ), el Factor de Rendimiento ( $K_y$ ) y agotamiento crítico para cada sistema de producción que fueron necesario para el uso del CROPWAT se pueden encontrar en la Tabla 1. Los anteriores valores se basaron en la información de los sistemas de producción que se

encuentran en la literatura, para la profundidad de raíz se emplearon valores soportados en estudios por el ICA, CENICAFE entre otros, el coeficiente del cultivo ( $K_c$ ) empleado se usó para las tres etapas que define el programa (inicial, media y final) de cada cultivo, el factor de rendimiento del cultivo ( $K_y$ ) se utilizaron los valores establecidos para los cultivos de frijol y mora en el documento (cabe aclarar que para el cultivo de granadilla se siguió la recomendación dar 1 como el valor  $K_y$  debido a la inexistencia de un cultivo con posible similaridad) FAO (2006); para los cultivos como el café se empleó el valor de 0.52 basados en el estudio “Respuesta productiva del cafeto al manejo del riego. Función agua-rendimiento” (Cisneros, E. *et al.*, 2015) y para la fracción de agotamiento crítico se tuvo en cuenta valores entre 0.4 a 0.6; así mismo para cultivos como la granadilla que no aparece con un valor definido en el estudio se tomara en cuenta el valor de 0.5 como lo recomienda el mismo.

**Tabla 1.** Valores empleados por sistema de producción agrícola predominante en el empleo del software CROPWAT 8.0, en el cálculo de la Huella Hídrica Verde y Azul.

Parámetro	Sistema de producción			
	Café	Frijol	Mora	Granadilla
Fecha de siembra (día/mes)	05/06	01/02	10/05	05/03
$K_c$ (inicial)	0,95	0,40	0,30	0,90
$K_c$ (medio)	0,95	1,15	1,05	1,20
$K_c$ (final)	0,95	0,35	0,50	0,70
Etapas Inicial (días)	30,00	20,00	45,00	60,00
Etapas desarrollo (días)	30,00	30,00	45,00	60,00
Etapas medio (días)	80,00	30,00	45,00	60,00
Etapas final (días)	40,00	10,00	45,00	60,00
Profundidad radicular mínima	0,40	0,20	0,10	0,45
Profundidad radicular máxima	0,60	0,30	0,20	0,60
Agotamiento crítico (inicial)	0,40	0,45	0,50	0,50
Agotamiento crítico (medio)	0,40	0,45	0,50	0,50
Agotamiento crítico (final)	0,40	0,45	0,50	0,50

Parámetro	Sistema de producción			
	Café	Frijol	Mora	Granadilla
Factor de respuesta rendimiento (inicial)	0,52	1,15	1,20	1,00
Factor de respuesta rendimiento (desarrollo)	0,52	1,15	1,20	1,00
Factor de respuesta rendimiento (Medio)	0,52	1,15	1,20	1,00
Factor de respuesta rendimiento (final)	0,52	1,15	1,20	1,00
Humedad de suelo	96,71	109,50	90,99	70,41
Tasa máxima de infiltración de la Precipitación	27,6	26,40	24,50	28,60
Profundidad radicular máxima (cm)	60,0	30,00	20,00	60,00
Agotamiento inicial de la humedad	0,00	50,00	0,00	0,00
Rendimiento	1,56	2,13	5,09	6,40

Fuente: los autores.

Los datos de suelo requeridos para la ejecución del programa fueron obtenidos por medio del análisis de muestras de suelo colectadas en cada uno de los cultivos priorizados, a las cuales se les corrieron en el laboratorio el análisis de textura por medio del método de bouyoucos, la humedad del suelo disponible total se llevo a cabo por medio de la resta entre la capacidad de campo (%CC) y el punto de marchitez permanente (%PMP) y, obteniendo un valor en  $mm.metro^{-1}$ , la (%CC) y (%PMP); se realizó por medio del método de ollas a un presión de 0.3 y 0.15 bares respectivamente. El nivel de agotamiento y agotamiento inicial de la humedad, tasa máxima de infiltración de la precipitación en el suelo fueron calcudos por medio de pruebas de infiltración del método de los anillos concéntricos, la cual conto con una duración de dos (2) horas en cada prueba, teniendo una relación de dos (2) pruebas por sistema de producción predominante para encontrar asi la capacidad de infiltración del suelo. Adicionalmente, se realizaron pruebas *in situ* de resistencia a la penetración a una profundidad de 10 a

60 cm, con un penetrómetro estándar, y de salinidad, contenido de humedad y temperatura, con ayuda de un sensor Decagon Devices GS1 and GS3.

Para la conductividad hidráulica del suelo a saturación, se tuvo en cuenta que esta corresponde a los valores de la tasa máxima de infiltración, es decir representa la lámina de agua que puede infiltrarse en el suelo en un periodo de 24 horas (FAO, 2006). Los valores empleados para la conductividad hidráulica se calcularon por medio del software *SPAW Hydrology*, el cual cuenta con una serie de ecuaciones que permiten su determinación en  $mm.día^{-1}$ . Para la ejecución de este software fue necesario la inserción de datos como porcentajes (%) de Arenas y Arcillas, porcentaje (%) de Materia Orgánica, porcentaje (%) de Gravas en el suelo y Tipo de Compactación.

El agotamiento inicial de la humedad del suelo es expresado como un porcentaje (%) del agua disponible total para el suelo. Para su cálculo se tuvo en cuenta la metodología empleada en la HH multisectorial de la cuenca del Río Porce (Builes, 2013), donde por defecto toman valores de 0% para cultivos establecidos en meses húmedos y 50% para los meses secos. De acuerdo con esto, en el presente estudio se tomó el valor de 0% para los cultivos establecidos en los meses de marzo, abril, mayo, junio, julio, septiembre, octubre, que son los meses húmedos, y 50% para los meses de enero, febrero, agosto, noviembre, diciembre, que son los del período seco.

El cálculo de la HV y HA se basó en la determinación del consumo de agua verde (CWUverde) y azul (CWRazul) del sistema de producción, mediante el programa CROPWAT 8.0 (FAO, 2010). Los datos utilizados se basaron en la precipitación presente en la zona, la cual no es absorbida totalmente por el sistema de producción. Por tanto, el software realiza las operaciones solo con la precipitación efectiva (agua de precipitación absorbida directamente por el sistema de producción) y tiene en cuenta el agotamiento crítico.

Por otro lado, cuando se presenta escasez de lluvia, el riego al sistema de producción se comporta como un complemento hídrico del mismo, con el fin de satisfacer las

necesidades de agua del sistema de producción que presenta algún déficit hídrico que no es enteramente satisfecho por la precipitación. A su vez, no toda el agua que se usa para riego es evapotranspirada por el cultivo (una parte de esta regresa al sistema como parte del drenaje), lo cual da una diferencia entre el riego bruto y el riego neto aplicado (IICA, 2017b).

El cálculo de las Huellas Hídricas Verde y Azul de los sistemas de producción agrícolas predominantes en la microcuenca La Plata (Tolima, Colombia) se hizo según IICA (2017b), así (Ec. 1, Ec. 2 y Ec. 3):

$$\text{Requerimiento de riego} = \text{Requerimiento hídrico cultivo} - \text{Precipitación efectiva} \quad (\text{Ec. 1})$$

$$\text{ET azul} = \min(\text{riego neto total}, \text{requerimiento de riego}) \quad (\text{Ec. 2})$$

$$\text{ET verde} = \min(\text{requerimiento hídrico de cultivo}, \text{Precipitación efectiva}) \quad (\text{Ec. 3})$$

El requerimiento de riego corresponde a la cantidad de agua faltante para el sistema de producción. La evapotranspiración azul y verde corresponde al agua de riego y de precipitación evapotranspirada, respectivamente, para el crecimiento del sistema de producción (IICA, 2017b).

Si el suelo presenta un déficit de agua al momento de la cosecha, quiere decir que este agua ha sido evapotranspirada por el cultivo y se asigna a la ET verde, que corresponde a la sumatoria entre la evapotranspiración total de agua verde y el déficit de agua al momento de la cosecha (IICA, 2017a).

La anterior metodología fue aplicada a cada uno de los sistemas de producción agrícola predominante: Café (*Coffea arabica* Linneo), Frijol (*Phaseolus vulgaris* L), Granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) y Mora (*Rubus glaucus* Benth. Los valores empleados para cada uno de los sistemas que se denotan en la Tabla 1.

Para el cálculo de la HG se 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 cultivo y son vertidos al agua.

La cuantificación de la HG (Ec. 4), se hizo mediante la metodología de Builes (2013), quienes dividen la cantidad predominante de fertilizante ( $kg.ha^{-1}$ ) usado por cultivo predominante entre la diferencia de la concentración máxima permitida ( $kg.m^{-3}$ ) y la concentración natural ( $kg.m^{-3}$ ), así (Ec. 4):

$$HG = \frac{L}{C_{max} - C_{nat}} \quad (Ec. 4)$$

Dónde:

*L*: cantidad de fertilizante aplicado ( $kg.ha^{-1}$ ).

*C<sub>max</sub>*: concentración máxima permitida en el agua ( $kg.m^{-3}$ ).

*C<sub>nat</sub>*: concentración natural en el agua ( $kg.m^{-3}$ ).

Los valores de la cantidad de fertilizante aplicado ( $kg.ha^{-1}$ ) corresponden a la multiplicación entre la tasa de aplicación del producto, la tasa de lixiviación del nitrógeno total (10%) (Hoesktra & Chapagain, 2008) y la cantidad de hectáreas del cultivo. La concentración de nitrógeno máxima permitida utilizada en el presente estudio fue de 0,30 ( $kg.m^{-3}$ ) Builes (2013) y natural de 0,00305 ( $kg.m^{-3}$ ), obtenida del resultado del análisis de agua de los datos medidos en campo.

El valor obtenido corresponderá al valor a la HG de un producto agrícola en una hectárea cultivada ( $m^3.ha^{-1}$ ) sin embargo, es necesario dividir este valor por el rendimiento del cultivo ( $t.ha^{-1}$ ) para obtener la cantidad de  $m^3$  de agua que se requieren, por tonelada de producto agrícola, para diluir la carga contaminante que se presenta en el cuerpo de agua (Builes, 2013).

### 3.4 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS HUELLAS HÍDRICAS

Para realizar la distribución espacial de las HH, se obtuvo un modelo digital de elevación de la zona, posteriormente con la ayuda del software ArcGIS 10.5 se procedió a realizar la delimitación de la microcuenca La Plata, para esto se adicionaron “shapes” a escala de 1:25.000 correspondientes a coberturas vegetales (cultivos transitorios y cultivos permanentes), hidrología y suelo de la microcuenca en mención, los cuales fueron suministrados por el proyecto “Evaluación del impacto ambiental de los sistemas predominantes de producción agropecuaria en la microcuenca La Plata”. Sobre los cuales se determinó el mapa de distribución de las zonas con mayor y menor volumen de Huella Hídrica. La distribución espacial de las HV, HA y HG de los sistemas de producción agrícola predominantes se obtuvo según el volumen en  $m^3$  de agua que consume cada sistema de producción.

### 3.5 ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD.

El análisis de sostenibilidad se realizó por medio de la comparación de las HA, HV y HG del sistema de producción agrícola contra la oferta hídrica de la microcuenca, con el fin de identificar aquellas áreas donde se presenta menor oferta hídrica (*Hotspots* ambientales) y, por tanto, se convierten en áreas objeto de un análisis más detallado, teniendo en cuenta planes de ordenación, metas de conservación y protección ambiental establecidas por la autoridad ambiental (CTA, 2013a). Por tal motivo, se llevó a cabo el análisis de sostenibilidad ambiental, económico y social de las Huellas.

Cabe resaltar que al no ser cuantificada la Huella Hídrica Azul (HA), debido a la inexistencia de sistemas de riego en los sistemas de producción agrícola, es decir, no existe extracción directa de agua de la microcuenca en estudio para fines agrícolas, no es sujeta de análisis de sostenibilidad. Así mismo, los valores asociados a la oferta ambiental de agua de la cuenca se consultaron en el POMCA Coello (CORTOLIMA *et al.*, 2006).



**4.5.1** Análisis de sostenibilidad ambiental de la Huella Hídrica. El análisis de sostenibilidad ambiental de la HH se realizó por medio del cálculo del Índice de Escasez de Agua Verde (*Everde, ciclo*) y el Nivel de Contaminación del Agua (*NCA*).

El *Everde, ciclo*, se calculó con el fin de determinar la capacidad que tiene la microcuenca La Plata para satisfacer las necesidades de agua verde de las actividades que se presentan en la zona, así como las áreas de protección o reserva que tiene como fin preservar la biodiversidad (CTA 2013b, IICA 2017b). Su cuantificación se hizo según (Builes, 2013) mediante la división entre la sumatoria de los valores de HV por cultivo y la Disponibilidad de Agua Verde (DAV), así (Ec. 5).

$$Everde, ciclo = \frac{\sum HH\ verde, ciclo}{DAV\ ciclo} \quad (Ec. 5)$$

Dónde el *DAVciclo* (Disponibilidad de Agua Verde por ciclo) es la diferencia entre la evapotranspiración real (ETa) de la cuenca y la ETa de la vegetación natural y de zonas no productivas (Ec. 6).

$$DAVciclo = ET_{x,t}(total, ciclo) - ET_{x,t}(natural, ciclo) - ET_{x,t}(inprod, ciclo) \quad (Ec. 6)$$

Donde:

*ET<sub>x,t</sub>(total, ciclo)*: Es el valor de la evapotranspiración real (*total, ciclo*), que corresponde a la sumatoria de los valores en *mm.ciclo<sup>-1</sup>* por sistema de producción, obtenidos del software CROPWAT 8.0.

*ET<sub>x,t</sub>(natural, ciclo)*: Es el valor de evapotranspiración real (natural), obtenido de multiplicar evapotranspiración real (*total, ciclo*) por 86,66%, porcentaje que corresponde a la cobertura de áreas naturales en la zonas de ladera de la cuenca del río Combeima (Guaunque y Barreto, 2017 p.89).

$ET_{x,t}(inprod, ciclo)$ : Es el valor de evapotranspiración real (*in productivas*), obtenido de multiplicar la evapotranspiración real (*total, ciclo*) por 0,15%, correspondiente al porcentaje de cobertura de zonas *in productivas* en la zona de estudio (Guauque y Barreto, 2017)

El resultado obtenido en el Índice de Escasez de Agua Verde ( $Everde, ciclo$ ) se debe comparar con los valores de referencia (Tabla 2), con el fin de poder determinar el estado actual de la microcuenca respecto a la disponibilidad de agua verde.

**Tabla 2.** Valores de referencia del índice de Escasez de Agua Verde ( $Everde, ciclo$ ).

Estado	Valor de referencia
Crítico	> 1,0
Muy alto	0,8 – 1,0
Alto	0,5 – 0,8
Moderado	0,3 – 0,5
Bajo	0,1 – 0,3
Muy bajo	< 0,1

Fuente: IICA (2017b).

El  $NCA$  fue calculada según Builes (2013), por medio de la división entre la sumatoria de los valores de la cuantificación de la  $HG$  por cultivos y el valor de la oferta total de la cuenca o caudal disponible ( $R_{total, ciclo}$ ) capaz de asimilar la contaminación generada en cada uno de los sistemas de producción (Ec. 7).

$$NCA_{ciclo} = \frac{\sum HG_{ciclo}}{R_{total,ciclo}} \quad (\text{Ec. 7})$$

Al obtener el resultado del Nivel de Contaminación del Agua ( $NCA$ ) de los sistemas de producción agrícola predominantes en la zona de estudio, se debe comparar dicho valor con los valores de referencia de la Tabla 3, con el fin de conocer la capacidad de asimilación de contaminantes que presenta la fuente hídrica.

**Tabla 3.** Valores de referencia del Nivel de Contaminación del Agua (NCA).

<b>CAPACIDAD DE ASIMILACIÓN</b>	<b>Valores de referencia</b>
Excedida	> 100%
Adecuada	< 100%

Fuente: IICA (2017).

**3.5.2** Análisis de sostenibilidad económica de la Huella Hídrica. El análisis de sostenibilidad económica de la HH se llevó a cabo por medio del análisis cuantitativo y económico del recurso hídrico.

La Productividad Aparente del Agua (*AWP por sus siglas en inglés*), entendida como el valor económico de los bienes producidos por unidad de consumo de agua (Aldaya *et al.* 2012), fue calculada mediante la división entre el precio del mercado del producto (información obtenida de los boletines emitidos por la central de abastos de Colombia CORABASTOS) y el volumen en  $m^3$  de HV del sistema de producción (Ec. 8):

$$AWP = \frac{\text{Precio de mercado por sistema de producción}}{HV \text{ del sistema de producción}} \quad (\text{Ec. 8})$$

Como complemento, se calculó el valor de la producción por tonelada de producto o productividad aparente de la tierra (*APL por siglas en inglés*) para los sistemas de producción predominantes, a precios corrientes por unidad de mercado CTA (2013a), información obtenida de los boletines emitidos por la central de abastos de Colombia, mediante la multiplicación del precio de mercado del producto ( $\$.t^{-1}$ ) por su rendimiento ( $t.ha^{-1}$ ), así (Ec. 9).

$$APL = \text{Precio de mercado del cultivo} * \text{Rendimiento} \quad (\text{Ec. 9})$$

**3.5.3** Análisis de sostenibilidad social de la Huella Hídrica. En este análisis se incluyeron los criterios definidos en IICA (2017b), como la provisión de servicios esenciales, los servicios integrales de salud pública y la oferta del recurso hídrico en función de las

necesidades de los seres que habitan la microcuenca La Plata, con el fin de garantizar la calidad de vida y la gestión del recurso hídrico.

Respecto a la oferta natural disponible, los valores de la oferta natural se tomaron de los reportados en el POMCA Coello. Así mismo, la información necesaria para el cálculo y la determinación de cada uno de los criterios fue levantada en campo y consignada en las 26 encuestas.

Se calcularon la Oferta Natural Disponible (Ec. 10) y la Oferta Regulada Disponible (Ec. 11) de agua en la microcuenca, con el fin de identificar el estrés hídrico, así (IICA, 2017b):

$$\textit{Oferta natural disponible} = \textit{Oferta natural} - \textit{Caudal mínimo ecológico} - \textit{Caudal de dotación para abastecimiento humano} \quad (\text{Ec. 10})$$

$$\textit{Oferta regulada disponible} = \textit{Oferta regulada} - \textit{Caudal mínimo ecológico} - \textit{Caudal de dotación para abastecimiento humano} \quad (\text{Ec. 11})$$

La provisión de servicios esenciales, se analizó teniendo en cuenta la cobertura de servicios básicos domiciliarios de agua. El indicador de servicios integrales de salud pública se analizó teniendo en cuenta las enfermedades de origen hídrico e Índice de riesgo de Calidad de Agua para Consumos Humano – IRCA.

### 3.6 PROPUESTA DE SOSTENIBILIDAD

Se basó en la elaboración de estrategias en la microcuenca que apuntan a reconocer particularidades y formulación de acciones concretas en los puntos críticos, que se presentan en la zona de estudio (CTA 2013a); donde por medio de un proceso estratégico, se describen las acciones necesarias para la solución de las problemáticas identificadas. Teniendo en cuenta los resultados arrojados y las dificultades en el proceso del cálculo y la determinación de la Huella Hídrica, sobre el uso del agua con el ánimo de formular lineamientos tomando como referente las propuestas consultadas en la

Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. Con el fin de Ggarantizar la sostenibilidad del recurso hídrico mediante la gestión adecuada, el ordenamiento, el uso y la conservación de los ecosistemas basados en seis (6) criterios (la oferta, demanda, calidad, riesgo, fortalecimiento institucional y gobernabilidad) (MINAMBIENTE, 2010).

## 4. RESULTADOS

### 4.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS PREDOMINANTES DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA.

**4.1.1** Identificación Preliminar de Tipos de Fincas. Se encontró que en la zona el 95% de las fincas son de menos de 20,8 *ha* de extensión; el 65% de ellas poseen menos del 8,89% de su área destinada a conservación y a manejo forestal; el 75% de los predios destinan cerca del 13,07% del área a potreros; el 55% de los predios utilizan un 80% de su área a cultivos permanentes y un 86,67% emplea el 13,33% de área a cultivos transitorios (Tabla 4).

**Tabla 4.** Cantidad de fincas y % donde se registran los diferentes sistemas de producción.

Sistema de producción	Permanente	Transitorio	Total
Café	13	0	13
Frijol	0	6	6
Granadilla	9	0	9
Mora	17	0	17
<b>TOTAL</b>	39	6	45
<b>%</b>	86,7	13,3	100

Fuente: los autores.

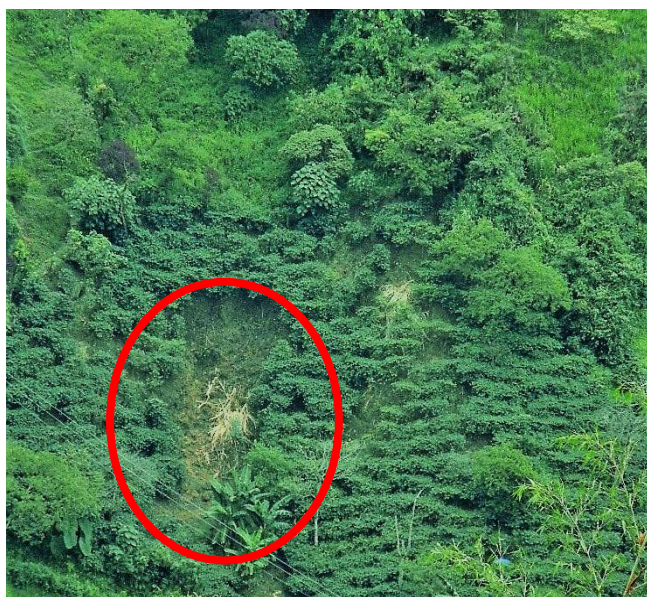
Respecto al área de conservación y de manejo forestal, en la zona existe mayor extensión de área de conservación que de manejo forestal (Tabla 5). A pesar de que la zona de estudio cuenta con poca extensión de áreas de manejo o conservación, las que prevalecen contribuyen al desarrollo del ecosistema, pero se ven afectadas debido al cambio en el uso del suelo con la expansión agrícola, que conlleva al desequilibrio ecosistémico, inestabilidad y erosión del suelo (Figura 3. *Erosión de tierra en la microcuenca La Plata, Ibagué - Tolima*).

**Tabla 5.** Cantidad y % de fincas que presentan áreas con Arboles con Manejo Forestal (Arb-For) y Bosques aislados para Conservación (Arb-Cons).

Fincas	Arb-For		Arb-Con	
	SI	NO	SI	NO
<b>Cantidad</b>	2	24	14	12
<b>%</b>	7,69	92,31	53,85	46,15

Fuente: los autores.

**Figura 3.** Erosión de tierra en la microcuenca La Plata, Ibagué - Tolima.



Fuente: los autores.

**4.1.2** Caracterización de Tipología de Fincas. Teniendo en cuenta los resultados del análisis de conglomerados, se evidencia que las variables se separan en dos conglomerados, de los cuales el conglomerado 2 es el que se agrupa en menor distancia o disimilaridad, seguido por el 1, entendiéndose que a menor distancia mayor similitud. Es decir, el conglomerado 1 es el que agrupa a los predios o fincas más similares y el 2 los más disímiles.

Respecto al comportamiento del dendrograma (Anexo 9.1), los conglomerados 1 y 2 se agrupan entre sí primero, a una distancia de 5,91. La correlación cofenética del análisis realizado resultó igual a 0,789.

Estos conglomerados presentan las siguientes características:

Conglomerado 1: Los veinticuatro (24) predios o fincas que se agrupan aquí, lo hacen con una disimilaridad de 5,49

El Conglomerado 2, está conformado por los dos (2) predios, los cuales se agrupan a una distancia de 4,96.

La agrupación de los conglomerados 1 y 2 se basó en la similaridad o disimilaridad de las características que presentaban los predios priorizados como: tipos de sistemas de producción, área total de la finca, extensión y etapas de cada uno de los sistemas de producción, así como el tipo de pendientes.

Por otro lado, al aplicar las encuestas, se encontró que en la zona de estudio algunos predios cuentan con certificación de Buenas Prácticas Agrícolas, agrupando estas en un nuevo conglomerado: Cinco, los cuales demuestran y garantizan la utilización adecuada de los recursos naturales.

**4.1.3** Caracterización de los sistemas de producción predominantes. Según los resultados obtenidos, se determinó que el sistema de producción predominante de la zona es el sistema de producción agrícola, el cual presenta cultivos transitorios en un 13% y cultivos permanentes en un 80%; así mismo se encontró que la extensión de área plantada es de 20,8 *ha* de los cuales 8,89% es área de conservación y 13,07% de área de potreros. Respecto al sistema de producción pecuario se obtuvo como resultado que el mismo no es significativo ya que la existencia de animales es mínima y que los productos que ellos generan son solo para autoconsumo y en algunos casos se realizan



trueques entre vecinos, el uso del suelo en esta zona está destinado para agricultura en mayor parte.

Por otro lado, del análisis de la información obtenida en las encuestas realizadas a los veintiséis (26) predios priorizados, se encontraron cuatro (4) sistemas de producción predominantes, los cuales presentan la mayor extensión en hectáreas respecto al resto de cultivos en la microcuenca La Plata (Tabla 6), tanto transitorios como permanentes: Café (*Coffea arabica* Linneo.), Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), Granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) y Mora (*Rubus glaucus* Benth). A pesar de que tiene una amplia distribución en las fincas, los pastos no son considerados como un sistema de producción, pues en la zona no le realizan ningún tipo de manejo.

**Tabla 6.** Extensión total de hectáreas en la zona de cada uno de los sistemas de producción.

<b>Sistema de producción</b>	<b>Extensión (ha)</b>
Arveja	0,50
Aguacate	0,25
Café	24,83
Frijol	5,75
Granadilla	9,40
Gulupa	1,00
Lulo	0,25
Maiz	0,95
Mora	20,55
Pastos	8,05
Pitahaya	0,00
Yacon	0,75
Yuca	0,25

Fuente: los autores.

**4.1.3.1** Caracterización del sistema de producción de Café (*C. arabica* Linneo). El sistema de producción de Café (Figura 4. *Sistema de producción de Café (Coffea arabica Linneo) en la microcuenca La Plata, Ibagué -Tolima.*) ocupa 24,83 ha que equivalen al 33,50% del total de hectáreas sembradas en la zona de estudio. Su ciclo de producción corresponde a 180 días para obtener su primera cosecha luego de ser establecido en el terreno. Los productores de la zona realizan diferentes etapas a lo largo del cultivo tales como: germinación, preparación y desinfecciones del terreno, siembra, fertilización, control de malezas, cosecha y pos-cosecha.

**Figura 4.** Sistema de producción de Café (*Coffea arabica* Linneo) en la microcuenca La Plata, Ibagué -Tolima.



Fuente: los autores.

La etapa de germinación se realiza en los primeros meses del año, con una duración alrededor de 2 meses. La semilla es obtenida en la misma finca y germinada por medio de la utilización de germinadores de piso. La fertilización es realizada por medio de la aplicación de úrea cuando la plántula está en el germinador. Esta labor solo requiere mano de obra del personal que se encuentra en cada finca.

El terreno es preparado y desinfectado durante unos 20 a 30 días, generalmente en el mes de marzo, mediante el uso de herramientas como el azadón y el palín, debido a que

las diferentes condiciones del terreno no permiten el uso de maquinaria (se presentan pendientes muy marcadas). El agroquímico utilizado en esa etapa es Insumo 70, el cual es aplicado directamente por medio del método de contorno. La mano de obra que demanda esta etapa es baja y, por lo tanto, no se hace necesaria la contratación de personal extra al que labora en la finca.

La siembra se hace durante unos 30 *días*, preferiblemente en los meses de mayo a junio. El método de siembra utilizado es en cuadro, por las condiciones del terreno. La semilla proviene en algunas ocasiones del Comité de Cafeteros o vecinos. Durante la siembra se hace fertilización con insumos químicos como Triple 15<sup>®</sup> y Úrea una vez establecida la plántula en el terreno. Para esta etapa se requieren de dos a tres trabajadores por finca.

La fertilización se hace durante unos 9 *meses*, con una frecuencia de 2 veces al mes. Se inicia después del establecimiento del cultivo, con productos como el Triple 15<sup>®</sup>, aplicado por medio del método en contorno directamente a la planta. En esta etapa se generan residuos sólidos que son almacenados en depósito o enterrados. Para el desarrollo de esta actividad es necesario contratar una o dos personas por finca.

El control de malezas, plagas y enfermedades se realiza durante unos 9 *meses*, con actividades de control cada 15 *días*. Durante esta etapa se emplean herramientas como machetes y guadañas, acompañados de una bomba de espalda con el fin de aplicar productos químicos como Glifosol<sup>®</sup>, los cuales contribuyen a la desinfección del terreno y a combatir la presencia de pastos, que es la competencia más frecuente del cultivo. Para el caso de control de plagas y enfermedades se utilizan productos químicos como el Lorsban<sup>®</sup>, especialmente para plagas como *la broca* que es una de las más comunes en este cultivo.

La primera cosecha se realiza a los 180 *días* de sembrado el cultivo. En la zona de estudio se realiza la cosecha durante los meses de diciembre y enero. Para la recolección

del producto es necesaria la contratación de personal ajeno a la finca, generalmente dos a tres personas, debido a que la recolección del grano se realiza a mano en un recipiente. La pos-cosecha es la etapa final del ciclo de producción. En esta etapa el producto es entregado al intermediario para que realice su comercialización, en costales de 1 *arroba*, previamente seco al sol durante unos 2 *días*, luego de haber sido despulpado.

**4.1.3.2** Caracterización del sistema de producción de Frijol (*P. vulgaris* L.). El Frijol ocupa una extensión alrededor de 5,75 *ha*, que corresponden al 7,75% del total de hectáreas sembradas en la zona (Figura 5. *Sistema de producción de Frijol (Phaseolus vulgaris L.) en la microcuenca La Plata, Ibagué - Tolima*). La siembra se hace a una distancia de 0,3 *m* x 0,3 *m* y la primera cosecha se hace unos 90 *días* después. Según la información obtenida en las encuestas aplicadas, en este sistema de producción se realizan las etapas de germinación, preparación y desinfección del terreno, siembra, fertilización, control fitosanitario, cosecha y pos-cosecha.

**Figura 5.** Sistema de producción de Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en la microcuenca La Plata, Ibagué - Tolima.



Fuente: los autores.

La germinación dura unos 30 *días*, generalmente es realizada en el mes de febrero, por el método de germinación aéreo. La procedencia de las semillas es de vecinos, obtenidas

por medio de trueques que se realizan por otras semillas de diferente especie. Esta etapa no requiere mucha labor y, por lo tanto, no se requiere emplear mano de obra diferente de la presente en cada finca.

La preparación y desinfección del terreno es realizada generalmente es realizada entre los meses de marzo y abril, durante unos 90 *días*. Para esto es necesario la utilización de herramientas como azadón y machete, porque las labores son manuales. La preparación del terreno incluye aplicación productos químicos como Cal, Glifosato<sup>®</sup> y Paraquat<sup>®</sup>, y para la desinfección se usan principalmente Cal y Yodo. Esta labor requiere alrededor de cuatro personas.

La siembra se realiza generalmente en el mes de febrero, con la ayuda de un marco de plantación en cuadro, por las condiciones del terreno. La semilla es obtenida por intermedio de trueques entre vecinos de la zona. Para la fertilización son utilizados insumos químicos que contienen Glifosato y Urea los cuales se aplican una vez establecida la plántula en el terreno. La mano de obra que demanda esta etapa es de dos a tres trabajadores por finca.

La fertilización se realiza después del establecimiento del cultivo, durante un periodo de aproximadamente de 2 *meses*, preferiblemente entre los meses de marzo y abril. Se utilizan agroquímicos como Triple 15<sup>®</sup>, aplicado en contorno de la planta. Esta actividad es realizada por una persona en cada finca.

Las labores de control de malezas, plagas y enfermedades se realizan mensualmente, luego de terminar la etapa de siembra. Para esto se requiere la utilización de herramientas como machetes, para devastar la maleza, y bombas de espalda, para la aplicación de químicos como Glifosol<sup>®</sup>, Gramoxone<sup>®</sup>, que son utilizados como herbicidas. Para las plagas y enfermedades se aplica Lorsban<sup>®</sup> dos veces por mes.

La recolección de los frutos se hace a los 90 *días* después de que se siembra el cultivo, casi siempre en el mes de mayo, para esta etapa se demanda la mano de obra de tres personas.

El manejo pos-cosecha depende del color que presente la leguminosa, ya que esta característica indica el grado de madurez del fruto y, así, la posible comercialización del mismo. El producto no es vendido directamente en las plazas de mercado, sino que es entregado a un intermediario para que el realice la venta.

**4.1.3.3** Caracterización del sistema de producción de Granadilla (*P. ligularis* Juss). El sistema de producción de Granadilla (*P. ligularis* Juss) se encuentra en altitudes entre los 1.800 - 2.200 m.s.n.m. y temperaturas entre 18 a 20 °C (Figura 6. *Sistemas de producción predominante de Granadilla (Passiflora ligularis Juss) en la microcuenca La Plata, Ibagué - Tolima*). Ocupa 9,41 ha equivalente al 12,6% del total de las áreas cultivadas en la microcuenca La Plata. Se caracteriza por tener un ciclo de vida del cultivo de 4 a 6 años, una fase vegetativa o productiva de 8 meses, alcanzar una altura hasta los 2 m, y obtener un rendimiento anual promedio de 6,4 t.ha<sup>-1</sup>. La distancia de siembra, que contribuye al rendimiento del cultivo, es de 4 m x 4 m en la zona de estudio.

**Figura 6.** Sistemas de producción predominante de Granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) en la microcuenca La Plata, Ibagué - Tolima.



Fuente: los autores.

La germinación dura de 12 a 25 *días*. Esta labor se realiza en la zona de estudio el mes de enero, en un germinador aéreo, con semillas que proceden de la misma finca y fertilizadas con humus.

La preparación del terreno se realiza durante unos 90 *días*, en los meses de enero a marzo, con herramientas manuales como azadón y palín. Para la desinfección del terreno se aplican manualmente productos agroquímicos como cal inorgánica, Helmistin® orgánico y Yodo inorgánico durante unos 30 *días*, en los meses de marzo y abril.

La siembra se realiza a una distancia de 4 *m* x 4 *m*, con ayuda de un marco de plantación en cuadro, durante unos 30 *días*, generalmente en el mes de mayo. La semilla procede generalmente de la misma finca y se fertiliza con productos como Fertigro® y Urea de manera foliar.

Las labores de fertilización se realizan al término del establecimiento de las plantas en campo, durante un período de 3 *meses*. En esta etapa se aplican productos como 1030, 0 sstrés® y Boro 5, aplicados de manera foliar, y Triple 15®, en el contorno a la planta. Para esta etapa se requiere la mano de obra de dos trabajadores.

El control de malezas, plagas y enfermedades se hace con herramientas manuales como machetes y azadón; en muy pocas ocasiones utiliza la guadaña. El control químico se hace con Acarotal® de tipo inorgánico; para el control de ácaros y de la mosca de la fruta se aplica Timorex®.

La cosecha se realiza a los 8 *meses* de establecido el cultivo, dura de 15 a 20 *días* y se requieren dos a tres trabajadores para realizar la actividad. La recolección del fruto se hace en canastillas.

En la pos-cosecha, el producto es escogido teniendo en cuenta el color, tamaño y la maduración del mismo, para ser empacado y llevado a la carretera, en donde la recoge el intermediario que comercialice el producto.

**4.1.3.4** Caracterización del sistema de producción de Mora (*R. glaucus* Benth). El sistema de producción de Mora (*R. glaucus* Benth) ha sido establecido en 20,55 ha del área de estudio (Figura 7. *Caracterización de los sistemas de producción predominante de Mora (Rubus glaucus Benth) en la microcuenca La Plata, Ibagué - Tolima*), que corresponden al 27,7% del total de hectáreas sembradas en la zona. Las plántulas se siembran a una distancia de 1,5 m x 1,5 m y tienen un ciclo productivo de 6 meses para la obtención de la primera cosecha.

**Figura 7.** Caracterización de los sistemas de producción predominante de Mora (*Rubus glaucus* Benth) en la microcuenca La Plata, Ibagué - Tolima.



Fuente: los autores.

La germinación se hace en el piso, con semillas que provienen de la asociación frutícola de la zona (ASOFRUCOL), una duración de 30 días, principalmente en el mes de enero y fertilizada con los agroquímicos Fertigro® y Urea.

La preparación del terreno se hace con herramientas manuales como azadón, machete y se aplican productos químicos como Cal y Glifosato Para la desinfección se aplican productos como Cal y Lorsban®, generalmente en el mes de febrero. Estas labores requieren de la mano de obra de dos a tres personas.

Debido a las condiciones del terreno, la siembra se realiza con un marco de plantación en cuadro, en el mes de marzo. En esta etapa se fertiliza con insumos químicos como



Glifosato y Urea, una vez establecida la plántula en el terreno. Esta etapa requiere de dos a tres trabajadores por finca.

La fertilización se realiza en contorno a la planta, con productos químicos como Triple 15<sup>®</sup>, 10-30-10<sup>®</sup> y Urea después del establecimiento del sistema de producción, por un periodo de aproximadamente 3 *meses*, generalmente en los meses de mayo a julio. Estas labores requieren la mano de obra de dos personas.

El control de malezas, plagas y enfermedades se ejecuta cada 30 *días*, después de la siembra del cultivo, con aplicación de productos químicos como Glifosol<sup>®</sup>, Gramoxone<sup>®</sup> y Lorsban<sup>®</sup>, aplicados por medio de aspersión con bomba de espalda.

La cosecha es a los 8 *meses* después de la siembra, de manera manual en un recipiente, con requerimiento de mano de obra de tres personas. En la pos-cosecha se clasifica el fruto según la maduración, luego se empaca en canastillas y se entrega al intermediario encargado de su comercialización.

Los anteriores sistemas de producción se comportan de manera adecuada al resto de los sistemas de producción de la región andina, por ejemplo en la zona andina el sistema de producción de Café que no presenta sistema de riego y desarrolló en terrenos con pendientes marcadas y lluvias constantes, se caracteriza por presentar un rendimiento de 1.5 a 2  $t.ha^{-1}$ , la recolección de fruto para la cosecha se realiza cada seis meses dependiendo del color del fruto que indica maduración (CENICAFE, s.f); en el caso del Frijol se realiza sin riego debido a que es sembrado en las épocas de lluvia febrero, marzo y abril, en este caso el Frijol es sembrado en el mes de febrero; la recolección es realizada a los seis (*meses*) y teniendo en cuenta el color del fruto como indicador de madurez (FAO, s.f). Respecto al sistema de producción de Granadilla en la zona andina la siembra de este se realiza a una distancia de 4m x 4m, organizado en estacas de manera aérea y el cual es cosechado teniendo en cuenta el color del fruto (ICA, 2011a); por último el sistema de producción de Mora en la zona andina tiene un excelente rendimiento en suelos franco arcillosos del tipo de suelos donde se encuentra en sistema

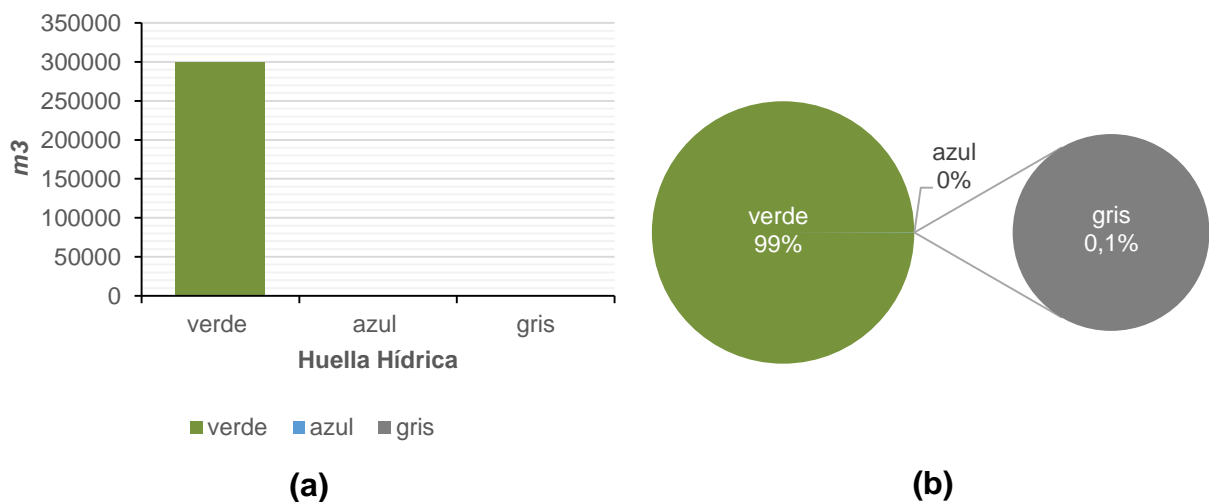
de producción en estudio, así mismo su método de elección para cosecha es similar al descrito anteriormente basado en el color de los frutos, la dureza y contextura (ICA, 2011b).

#### 4.2 HUELLA HÍDRICA DE LOS SISTEMAS PREDOMINANTES DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

Se calcularon las HH de los sistemas de producción agrícola predominantes en la microcuenca La Plata durante el año 2015: Café (*C. arabica* Linneo), Granadilla (*P. ligularis* Juss), Mora (*R. glaucus* Benth) y Frijol (*P. vulgaris* Linneo). Cabe resaltar que la información que se presenta a continuación es una aproximación a la Huella Hídrica de la microcuenca La Plata, debido al empleo de los datos de una estación climatológica a distinta altura como se describe en el inciso 4.3.

Las HH calculadas en el área de estudio mostraron que el 100% del agua usada para satisfacer las necesidades de los sistemas predominantes de producción proviene de la precipitación (Figura 8. *Huellas Hídricas (HH) Verde, Azul y Gris de los sistemas predominantes de producción agrícola en la microcuenca La Plata (Tolima, Colombia). (a): Volumen (m<sup>3</sup>) del total de cada una de las HH (b): Relación porcentual del total de cada una de las HH*). El régimen de precipitación presente en la microcuenca La Plata permite que la mayoría de sistemas se desarrollen bajo condiciones de no riego. Este resultado concuerda con ENA (2014), en donde se reportó que los sistemas de producción presentes en zonas de laderas y alta montaña en Colombia presentan un valor de HV mayor a las demás huellas.

**Figura 8.** Huellas Hídricas (HH) Verde, Azul y Gris de los sistemas predominantes de producción agrícola en la microcuenca La Plata (Tolima, Colombia). (a): Volumen ( $m^3$ ) del total de cada una de las HH (b): Relación porcentual del total de cada una de las HH.



Fuente: los autores.

Los valores que se presentan en la anterior figura para cada una de la Huella Hídricas corresponden en porcentaje al 99.9% Huella Hídrica Verde, 0% Huella Hídrica Azul y 0.1% Huella Hídrica Gris, WWF (2012) reportó valores de HH total agrícola para Colombia distribuidos en: 88% de HV, 7% de HA y el restante 5% de HG. Tanto en WWF (2012), como en el presente estudio, se evidencia que la huella que más predomina es la HV, debido a que la mayoría de sistemas de producción se realizan en sistemas secanos. Respecto a las otras huellas no hay similaridad, debido a que la HA en la zona de estudio fue negativa porque no se realiza riego en ninguna etapa del ciclo de cada sistema productivo.

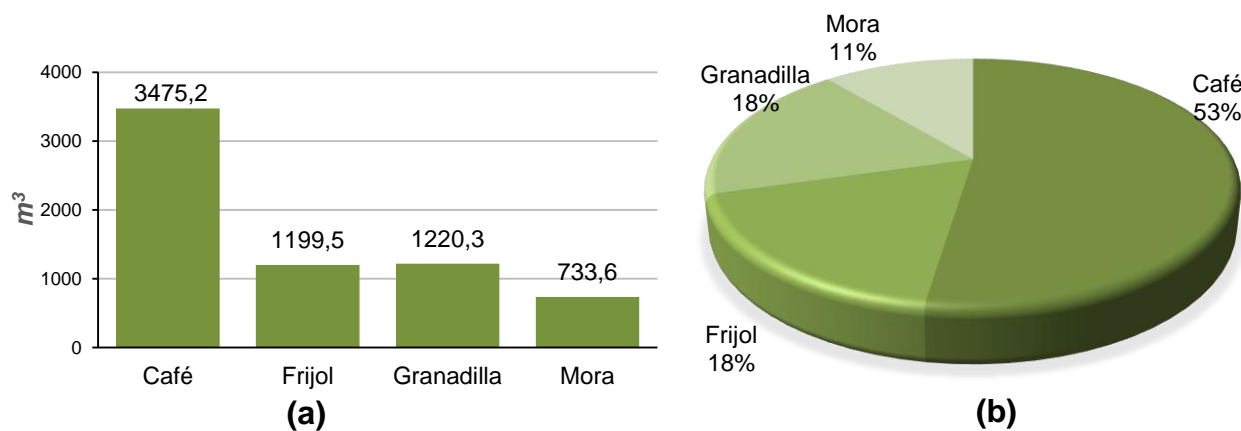
Resultados similares fueron obtenidos por García (2013), quien cuantificó la proporción de las HH para diferentes sistemas de producción agrícolas desarrollados bajo condiciones de secano y riego, y encontró HV del 64%, HA del 16% y HG del 20% del total de la HH. Aquí se evidencia también el mayor porcentaje representado por la HV, seguido de la HG y, por último, la HA. La diferencia entre estos resultados y los obtenidos en el presente estudio radica en que los sistemas de producción de la microcuenca La Plata no dejan HA y la HG es muy baja. García (2013) explica que los cultivos en secano presentan, por lo general, una baja tasa de aplicación de nitrógeno, hecho que, unido a sus elevados rendimientos, disminuye la tasa de lixiviación al 10%.

En el caso de los cultivos intensivos en regadío ocurre lo contrario. A pesar de los elevados rendimientos, las altas tasas de aplicación de nitrógeno, junto con una humedad del suelo relativamente elevada y un desarrollo radicular menos extenso en profundidad, hacen que la tasa de lixiviación alcance el 14%. Este valor es muy superior en algunos cultivos, como en el caso de la patata (*Solanum tuberosum* L), con una tasa de lixiviación media del 27%, o los cultivos hortícolas, con casi el 30% del total de nitrógeno aplicado. Ello indica que la HG tiene una relación directa con la HA, ya que, a mayor agua de riego, mayor tasa de lixiviación García (2013).

Por lo anterior, la ausencia del riego evita un aumento en el porcentaje de tasa de lixiviación y, así, un aumento en la contaminación del cuerpo de agua. La HG del presente estudio corresponde al 0.1 % del total de la HH para los sistemas de producción agrícola predominantes, porcentaje que corresponde a valores mínimos debido a que no existen sistemas de riego.

**4.2.1** Cálculo de la huella hídrica verde (HV) de los sistemas predominantes de producción agrícola. Teniendo en cuenta que la información que se presenta a continuación es una aproximación a la Huella Hídrica de la microcuenca La Plata, debido al empleo de los datos de una estación climatológica a distinta altura como se describe en el inciso 4.3 Respecto a la HV de los sistemas predominantes de producción agrícola en la zona de estudio, se encontró que el sistema productivo predominante que demanda mayor consumo de agua fue el Café (*C. arabica*, Linneo.) con cerca del  $3.475,2 \text{ m}^3.t^{-1}$ , y el de menor consumo fue el sistema de Mora (*R. glaucus*, Benth.), con  $733,6 \text{ m}^3.t^{-1}$ ; los dos sistemas de producción restantes Granadilla (*P. ligularis* Juss.) y Frijol (*P. vulgaris* L.) presentan valores similares,  $1.199,5 \text{ m}^3.t^{-1}$  y  $1.220,3 \text{ m}^3.t^{-1}$  respectivamente (Figura 9. *Huella Hídrica Verde (HV) de los sistemas de producción predominantes en la microcuenca La Plata (Tolima, Colombia) (a): consumo de agua de precipitación en  $\text{m}^3$  de los sistemas de producción. (b): relación porcentual de la HV de los sistemas de producción agrícolas predominantes).*

**Figura 9.** Huella Hídrica Verde (HV) de los sistemas de producción predominantes en la microcuenca La Plata (Tolima, Colombia) (a): consumo de agua de precipitación en  $m^3$  de los sistemas de producción. (b): relación porcentual de la HV de los sistemas de producción agrícolas predominantes.



Fuente: los autores.

El valor obtenido para el sistema de producción de Café (*C. arabica*, Linneo) se debe a que el sistema de producción en secano tiende a consumir mayor cantidad de agua por precipitación. Además, el desarrollo del sistema de producción en terrenos con pendientes marcadas, no permite que se almacene una reserva de agua en sus raíces, lo que hace que las necesidades hídricas del sistema de producción se suplan con el agua que llega por precipitación (IDEAM 2015).

Además, la extensión total del sistema de producción de Café en la zona de estudio es mayor al resto de sistemas de producción que se encuentran allí, similar a los reportes en los estudios de Arévalo *et al.* (2011), Builes (2013) e IDEAM (2015), realizados para el sector agrícola a nivel nacional, donde se menciona que, a mayor extensión del sistema de producción, se presenta mayor demanda hídrica.

Por otro lado, Salmoral *et al.* (2011) y Sevilla (2015) encontraron, al estudiar las HH de la cuenca del río Guadalquivir y del sector agropecuario peruano, que sistemas de producción de menor área presentan menor competencia por HV.

En este estudio, se encontró que el sistema de producción de Mora (*R. glaucus*, Benth) tiene la menor área sembrada con respecto a los demás sistemas de producción predominantes en la zona, lo cual corresponde a que la competencia por HV sea menor. Ello se convierte en una ventaja respecto a los demás sistemas de producción, ya que contribuye a disminuir los impactos ambientales que se generan en la microcuenca La Plata respecto al consumo de agua.

La menor HV para el sistema de producción de Mora (*R. glaucus*, Benth) se debe al desarrollo del mismo en terreno franco-arcilloso. Según SADR (2014), este tipo de suelos son propicios para la Mora (*Rubus glaucus*, Benth) porque permiten que se conserve y mantenga la reserva de agua y la humedad en las raíces para suplir las necesidades hídricas del sistema. Además, el riego solo por precipitación le permite al sistema de producción realizar la floración, aspecto que influye en el rendimiento del sistema (Grijalba *et al.*, 2010) y hace que este sistema productivo sea el segundo sistema con mayor rendimiento ( $5,09 \text{ t.ha}^{-1}$ ) en la zona de estudio.

Por otro lado, el menor volumen de HH en un sistema de producción de menor extensión en hectáreas indica que el sistema de producción consume menos cantidad de agua por precipitación. El sistema de producción de Fríjol (*P. vulgaris* L.) presenta menor HH que el sistema de producción de Granadilla (*P. ligularis* Juss), tal como se puede observar en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, principalmente porque el área del Fríjol (*P. vulgaris* L.) es menor que el del sistema de Granadilla (5,75 ha y 9,4 ha, respectivamente).

Además, el sistema de producción de Fríjol (*P. vulgaris* L.) requiere cantidades de agua adecuadas para que su fruto tenga un desarrollo apropiado, pues la producción de Fríjol (*P. vulgaris* L.) sin riego produce vainas de menor longitud y grosor (Movilla *et al.*, s.f.) Respecto al sistema de producción de la Granadilla (*P. ligularis* Juss), el comportamiento es similar al sistema de Fríjol (*P. vulgaris* L.), un déficit hídrico obstaculiza el desarrollo

adecuado de los frutos, pero un exceso de humedad contribuye a la pudrición de la planta (Villalba *et al.*, 2006).

Aunque la HH se calcula por sistema de producción, la escala de alcance es por microcuenca. La HV para el total de los sistemas de producción agrícolas predominantes en la microcuenca La Plata equivale a  $6.628,64 \text{ m}^3.t^{-1}$ , si se tiene en cuenta los sistemas de producción por unidad de hectárea la HV que demanda una hectárea del total de los sistemas de producción es de  $19.553 \text{ m}^3.ha^{-1}$ . Es decir, para producir una hectárea de los sistemas de producción de la microcuenca La Plata se demanda más consumo de agua por precipitación en  $\text{m}^3$  que para producir una tonelada de producto. Al analizar los sistemas de producción en toneladas de producto el que mayor consumo de agua presenta es el sistema de Café (*C. arabica*, Linneo) y el menor la Mora (*R. glaucus*, Benth) (Figura 9), pero por hectárea de sistema que mayor HV demanda es la Granadilla (*P. ligularis* Juss) y el menor el Frijol (*P. vulgaris* L.) (Tabla 7).

**Tabla 7.** Valores de HV por tipo de sistema de producción en ( $m^3.ha^{-1}$ ) de la microcuenca La Plata, Ibagué- Tolima.

Sistema de producción	HV por sistema de producción predominante	
	( $m^3.ha^{-1}$ )	
Café	5.430	
Granadilla	7.810	
Mora	3.734	
Frijol	2.559	
<b>Total</b>	<b>19.553</b>	

Fuente: los autores.

**4.2.2** Cálculo de la huella hídrica gris (HG) de los sistemas predominantes de producción agrícola. Es preciso mencionar que la información que se presenta a continuación es una aproximación a la Huella Hídrica de la microcuenca La Plata, debido al empleo de los datos de una estación climatológica a distinta altura como se describe en el inciso 4.3. Los sistemas predominantes de producción agrícola en la zona de estudio presentaron una HG de  $137,06 m^3.t^{-1}$  (Figura 10a). Los sistemas de producción con mayor y menor consumo de agua para diluir las cargas contaminantes fueron Mora (*R. glaucus*, Benth.) y Frijol (*P. vulgaris*, L.), respectivamente (Figura 10b).

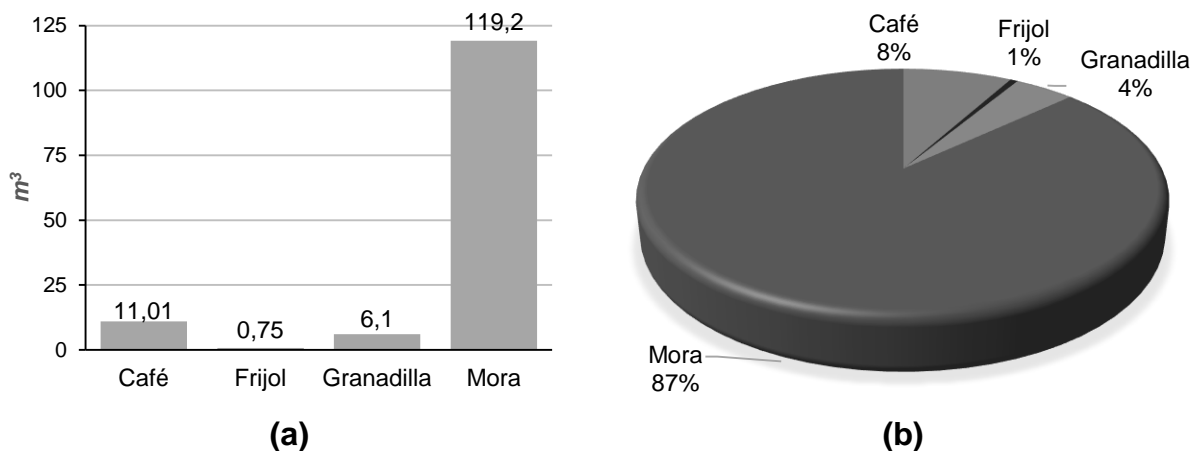
La HG se obtuvo al cuantificar el aporte de nitrógeno proveniente de agroquímicos como Triple 15<sup>®</sup>, Triple 16<sup>®</sup> y Urea puesto que otros componentes se fijan más en el suelo, como el fósforo, y no alcanzan a llegar por lixiviación a las fuentes hídricas (Builes, 2013). Es preciso mencionar que la HG evalúa exclusivamente el efecto producido por un vertido al medio ambiente. En el caso colombiano, la información de pesticidas es escasa, por lo cual suele calcularse solo para fertilizantes y agroquímicos, entre ellos el fósforo (P) y nitrógeno (N) son los más importantes (Lozano & Cortez, 2016).

El sistema de producción de Mora (*R. glaucus*, Benth) requiere una mayor aplicación de agroquímicos, debido a que este sistema es susceptible al ataque de patógenos (ICA,



2011b), lo cual explica el alto consumo de agua para diluir la carga contaminante que se genera con alto grado de nitrógeno (Figura 10a).

**Figura 10.** Huella hídrica gris (HG) de los sistemas de producción predominantes en la microcuenca La Plata (Tolima, Colombia) (a): consumo de agua en  $m^3$  para diluir las cargas contaminantes por tonelada de producto de los sistemas priorizadas. (b): Relación porcentual (%) de la HG de los sistemas de producción agrícola predominantes.



Fuente: los autores.

El sistema de producción de Café (*C. arabica*, Linneo) en el área de estudio cuenta con certificación de buenas prácticas agrícolas (información obtenida de las 26 encuestas específicas aplicadas a las fincas priorizadas). Por tanto, no se aplica gran cantidad de agroquímicos que contienen nitrógeno, sino que, por el contrario, se realiza una fertilización, abono y control de plagas, enfermedades y malezas con manejo orgánico o natural, hecho que explica su baja HG (Figura 10b).

Por otro lado, el sistema de producción de Fríjol (*P. vulgaris* L) presenta menor HG porque el control químico en este sistema es menor. Los controles se hacen por medio de prácticas manuales y mecánicas para erradicar la competencia que se da con las plantas arvenses que crecen junto al sistema de producción, ya que si no se presenta un manejo de las mismas se genera una disminución en el rendimiento del sistema. El agroquímico utilizado para este fin es Paraquat®, en dosis leves, debido a que su

utilización requiere ser complementada con métodos de erradicación manual y mecánica de manera intensiva (FAO, s.f), lo que justifica el menor consumo de agua para la dilución de la carga de nitrógeno (

Figura 10. Huella hídrica gris (HG) de los sistemas de producción predominantes en la microcuenca La Plata (Tolima, Colombia) (a): consumo de agua en m<sup>3</sup> para diluir las cargas contaminantes por tonelada de producto de los sistemas priorizadas. (b): Relación porcentual (%) de la HG de los sistemas de producción agrícola predominantes).

En el sistema de producción de Granadilla (*P. ligularis* Juss) es característico la poca aplicación de productos agroquímicos para el control fitosanitario, debido a que el manejo que se le da a las malezas y plagas es de origen manual y mecánico, principalmente, y solo se utilizan químicos, como los plaguicidas, cuando la planta se ve afectada por plagas provenientes de otros sistemas de producción (Villalba *et al.*, 2006). En los casos de plagas que atacan el follaje y los frutos, se aplican plaguicidas como Acarotal® el cual demanda 0,07 m<sup>3</sup> y Triple 16® 6,10 m<sup>3</sup> de agua para diluir la carga contaminante que llega a la fuente hídrica.

#### 4.3 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS HUELLAS HÍDRICAS

Las distribuciones espaciales de la Huella Hídrica Verde (HV) y la Huella Hídrica Gris (HG) se muestran en la Figura 11 y la Figura 12, respectivamente, las cuales fueron realizadas teniendo en cuenta que los sistemas de producción se distribuyen espacialmente en dos grupos en la microcuenca: transitorios y permanentes. El sistema transitorio es el Frijol (*P. vulgaris* L) y los sistemas permanentes fueron los de Café (*C. arabica*, Linneo), Granadilla (*P. ligularis* Juss) y Mora (*R. glaucus*, Benth) (Tabla 8).

**Tabla 8.** Huellas Hídricas Verde (HV) y Gris (HG) en (m<sup>3</sup>.t<sup>-1</sup>) por tipo de sistema de producción (transitorio o permanente) en la microcuenca La Plata (Ibagué - Tolima).

Tipo de sistema de producción	HV por sistema de producción (m <sup>3</sup> .t <sup>-1</sup> )	HG por sistema de producción (m <sup>3</sup> .t <sup>-1</sup> )
Permanente	5.429,11	136,31

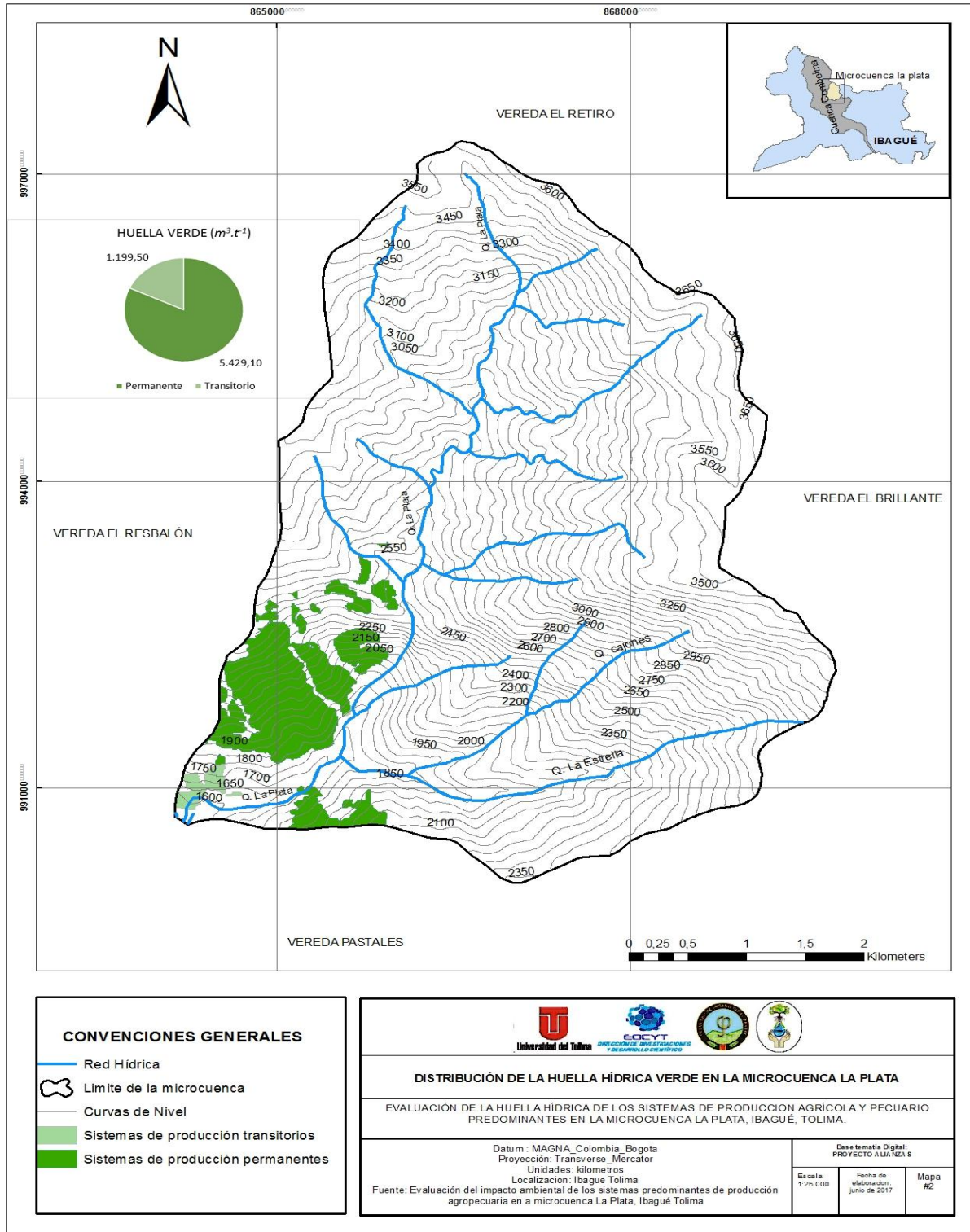
---

Transitorio	1.199,53	0,75
-------------	----------	------

---

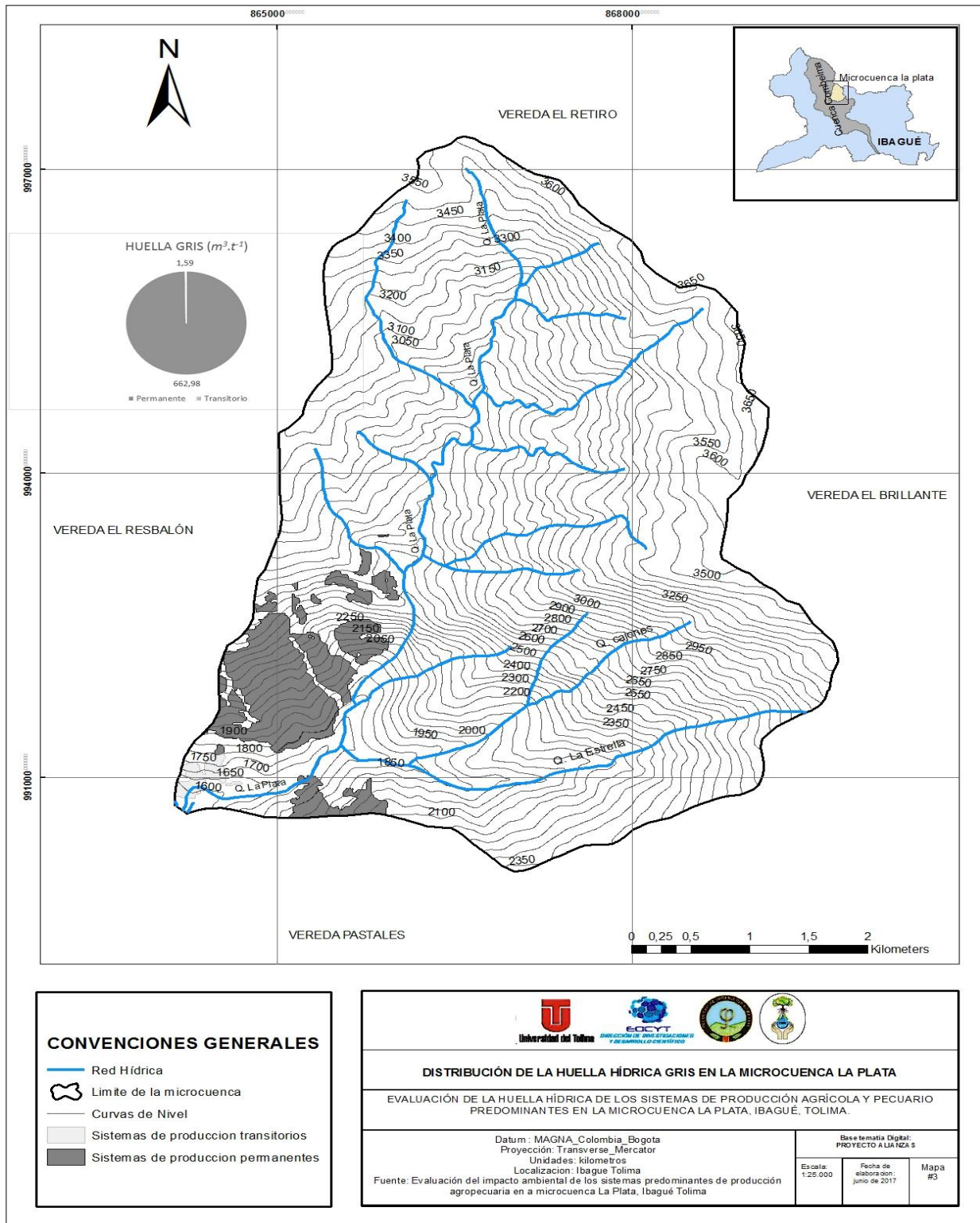
Fuente: los autores.

**Figura 11.** Distribución espacial de la Huella Hídrica Verde de los sistemas predominantes de producción agrícola en la microcuenca La Plata (Tolima, Colombia).



Fuente: los autores

**Figura 12.** Distribución espacial de la Huella Hídrica Gris de los sistemas predominantes de producción agrícola en la microcuenca La Plata (Tolima, Colombia).



Fuente: los autores

Las Figuras Figura 11. Distribución espacial de la Huella Hídrica Verde de los sistemas predominantes de producción agrícola en la microcuenca La Plata (Tolima, Colombia) y Figura 12. *Distribución espacial de la Huella Hídrica Gris de los sistemas predominantes de producción agrícola en la microcuenca La Plata (Tolima, Colombia)*. muestran una distribución que puede deberse a que en la zona media-baja de la microcuenca La Plata se presenta la mayor cantidad de predios y los sistemas de producción con mayor extensión. Además, solo hay un sistema productivo transitorio, mientras que los permanentes son cuatro.

La Figura 11 refleja que la parte baja de la microcuenca (tono más claro) deja una menor HV, ya que en esta parte los sistemas presentan un ciclo de producción más corto y menor extensión, que al comparar con la parte media de la microcuenca difiere de lo descrito anteriormente, donde los sistemas de producción presentan una mayor extensión y un ciclo de producción permanente. Es decir, los sistemas con ciclo de producción permanente consumen de manera continua agua de precipitación lo que hace que se aumente la Huella Hídrica Verde.

Por otro lado, la tendencia de la Figura 12 respecto a las zonas en que se presentan menores y mayores valores es igual a la Figura 11. Para el caso de la Figura 12 se presenta valores de HG, donde el tono más claro indica que en esta parte de la microcuenca la utilización de agroquímicos que contienen nitrógeno es menor lo que se traduce en una menor contaminación, el tono más oscuro muestra la zona donde se genera mayor contaminación a la microcuenca por el aumento en el uso de agroquímicos debido a que la extensión de los sistemas de producción es mayor.

Por lo anterior, los tonos más claros en las anteriores figuras, muestran que la parte baja de la microcuenca son zonas que contribuyen en menor proporción al cálculo de la Huella Hídrica de los sistemas de producción agrícolas predominantes y los tonos más oscuros ubicados en la parte media aportan la mayor proporción a la Huella Hídrica.

## 4.4 ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD

El análisis de sostenibilidad de los sistemas predominantes de producción agrícola en la microcuenca La Plata (Tolima, Colombia) se basó en la identificación del análisis de sostenibilidad ambiental, económica y social, con el fin de identificar así la necesidad de generar estrategias de respuesta para la gestión del agua.

### 4.4.1 Análisis de sostenibilidad ambiental de la Huella Hídrica

**4.4.1.1 Índice de escasez de agua verde (Everde).** El índice de escasez de agua verde (Everde) que, como su nombre lo indica, está asociado a la disponibilidad de agua verde en la zona de estudio, arrojó un valor de  $7,58 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ , que equivale a un estado crítico (Tabla 2).

La situación de insostenibilidad es generada por el cambio en las coberturas del suelo y la pérdida de cobertura de bosques, hecho que causa que el agua verde disponible en la zona se utilice principalmente para usos productivos, es decir que a los bosques protectores no les llegue agua verde para suplir sus necesidades hídricas cuando el tipo de suelo diseñado para este tipo de bosques exige más cantidad de agua verde.

El cambio en las coberturas es evidenciado en los estudios de García *et al.* (2005) y Guauque & Barreto (2017). Según los autores, la cobertura de sistemas de producción en el año 2005 era tan solo del 8,4%, y ascendió en el año 2017 a 52,04 % del total del área de la microcuenca en estudio.

Por otra parte, no toda el agua verde presente en un área determinada se encuentra disponible para usos productivos, pues una parte debe dejarse para el ambiente, y otra no se puede hacer productiva por razones físicas, como la topografía o los asentamientos urbanos.

Por otro lado, IDEAM (2015) encontró que en Colombia el agua de precipitación disponible para usos productivos es del 38,7% y solo 15% es destinado a áreas protegidas, lo que demuestra el conflicto antes descrito. Además, Rodríguez (2016) determinó que las zonas en donde no se tienen áreas protegidas declaradas, pero existen ecosistemas estratégicos, la disponibilidad de agua verde para las áreas protegidas declaradas pueden llegar a ser muy crítica.

La situación que se presenta en la microcuenca La Plata se traduce en que el consumo de agua verde de sistemas de producción agrícolas pone en riesgo los ecosistemas y los servicios que estos ofrecen, situación que, a largo plazo, puede generar un cambio directo en la disponibilidad del agua azul (Hoekstra *et al.*, 2011). Acción que conllevará a que los indicadores cambien en la zona de estudio, pues los sistemas de producción no solo se abastecerán de agua de precipitación, sino que empezarán a consumir agua de la microcuenca por medio de la implementación de sistemas de riego, lo cual provoca la aparición y aumento de la HA.

**4.4.1.1 Nivel de contaminación del agua (NCA).** El nivel de contaminación del agua encontrado en la vigencia 2015 fue de 0,00235 %, considerado suficiente para diluir la contaminación generada en el recurso hídrico por causa del nitrógeno proveniente del uso de agroquímicos hasta las concentraciones máximas permitidas (Tabla 3).

Este resultado está asociado a la extensión del sistema de producción Mora (*R. glaucus*, Benth), que corresponde al 27,7 % del total del área sembrada en la microcuenca; siendo este el sistema que mayor contaminación realiza al agua, debido a que se utilizan más productos agroquímicos en sus etapas de desarrollo.

Los resultados del presente estudio son similares a los obtenidos por Builes (2013) para la cuenca del río Porce, en donde encontraron que la fuente hídrica contaba con la capacidad de diluir las cargas contaminantes aportadas por los productos utilizados en las actividades agrícolas y pecuarias.



Así mismo, los resultados de este estudio son comparables con los obtenidos en el estudio realizado por Liu *et al.* (2012), el cual desarrolló un análisis sobre el (NCA) donde empleó la metodología utilizada en el presente estudio; en el que relaciona la HG con el caudal de la cuenca del río Duero y determina que la cuenca tiene la capacidad de asimilación del nitrógeno lixiviado como contaminante, así como establece que el NCA puede contribuir a identificar la sostenibilidad o no de los flujos de agua, pues relaciona el componente gris de un flujo de la Huella Hídrica con la capacidad de asimilación de contaminantes en una cuenca.

#### 4.4.2 Análisis de sostenibilidad económico de la Huella Hídrica

Las productividades aparentes para el agua (AWP) y la tierra (APL) descritos en los incisos 5.4.2.1 y 5.4.2.2, respectivamente, se obtuvieron teniendo en cuenta los siguientes valores por kilogramo (kg) para cada sistema de producción que corresponden a: Café (*C. arabica*, Linneo) \$ 6.800, Frijol (*P. vulgaris* L) \$ 2.200, Granadilla (*P. ligularis* Juss) \$ 3.214,29 y Mora (*R. glaucus*, Benth) \$ 2.286, según el boletín emitido por la central de abastos CORABASTOS del día 10 del mes de abril del año 2017.

**4.4.2.1** Productividad aparente del agua (AWP). De acuerdo con el indicador de AWP, se encontró que el sistema de producción más fructífero es la Mora (*R. glaucus*, Benth), porque recibe más pesos colombianos (COP\$) por cada metro cúbico de agua consumido durante su ciclo de producción (Tabla 10). Igualmente, el sistema de producción menos lucrativo fue el Fríjol (*P. vulgaris*, L.).

**Tabla 9.** Productividad aparente del agua (AWP) y productividad aparente de la tierra (APL) por sistemas predominantes de producción agrícola en la microcuenca La Plata (Tolima, Colombia).

<b>Sistema de producción</b>	<b>AWP COL\$.m<sup>3</sup></b>	<b>APL COL\$.ha<sup>-1</sup></b>
Café	1.956,72	10.625,00
Frijol	1.834,05	4.692,60

Granadilla	2.633,98	20.571.428,57
Mora	3.115,77	11.634.285,71

Fuente: los autores.

**4.4.2.2** Productividad aparente de la tierra (APL). Los mayores valores que se perciben por hectárea de cultivo que se siembra corresponden al sistema de producción de Granadilla (*P. ligularis* Juss), mientras que los menores son por Frijol (*P. Vulgaris* L.) (Tabla 9. *Productividad aparente del agua (AWP) y productividad aparente de la tierra (APL) por sistemas predominantes de producción agrícola en la microcuenca La Plata (Tolima, Colombia).*0).

Según García (2013), la productividad económica es influenciada directamente por la HA, debido a sistemas que se encuentran en áreas regables tiene producciones muy superiores con respecto a los que se desarrollan en tierras cultivadas en secano.

El anterior resultado muestra, por qué en la zona de estudio la productividad económica es baja, es decir, las ganancias que se generan en los sistemas de producción son menores en el caso donde no existen sistema de riego, si dichos sistemas de riego existieran se contribuiría al aumento de la productividad agrícola del sistema de producción y con esto el aumento en la productividad económica traducida en mayor cantidad de ganancias. Es decir, una alternativa de mejora para el sistema de producción sería la instalación de sistemas de riego.

Sin embargo, García (2013) dice que los sistemas de producción con una menor demanda de recursos hídricos por unidad de producto son, a su vez, aquellos que presentan un mayor rendimiento económico. Caso que no se presenta en la microcuenca La Plata, puesto que el sistema de producción de Café (*C. arabica*, Linneo) demanda una mayor cantidad de Agua Verde y su productividad es menor a la del sistema de producción de Mora (*R. glaucus*, Benth), que deja una menor HV.

**4.2.3** Análisis de sostenibilidad social de la Huella Hídrica. Debido a la inexistencia de sistemas de acueducto y alcantarillado en el área de estudio, no fue posible realizar el cálculo del Índice de Riesgo de Calidad de Agua (IRCA). No obstante, se conoció mediante visitas a campo y procesamiento de encuestas que cerca del 10% de los predios de la zona cuentan con pozos sépticos que no tienen un buen manejo de sanidad. Por otro lado, no se evidencia sistemas de recolección de residuos generados en cada una de las etapas de los sistemas de producción, y no se presenta un manejo adecuado de los mismos, lo que contribuye a la generación de enfermedades asociadas a problemas respiratorios y digestivos. Finalmente, no se identificaron zonas críticas por escasez en la oferta de agua (Guauque & Barreto 2017).

Los resultados obtenidos en este trabajo son similares a los encontrados por Builes (2013), quien determinó que en la cuenca del río Porce no se presenta déficit en la disponibilidad de agua, pero se identificaron enfermedades estomacales y dengue, y baja cobertura de acueducto y alcantarillado.

## **4.5 PROPUESTA DE SOSTENIBILIDAD**

La siguiente propuesta de lineamientos se construyó para dar respuesta a las problemáticas identificadas a lo largo del desarrollo del estudio, como cambio en el uso del suelo, pérdida de cobertura de bosques y contaminación del agua a partir de los resultados de la evaluación de las HH de los sistemas predominantes de producción agrícola en la microcuenca La Plata (Tolima, Colombia).

**4.5.1** Disminución de la frontera agrícola y aumento de cultivos agroforestales en la microcuenca La Plata, Ibagué – Tolima.

La propuesta que tiene como objetivo general, disminuir la frontera agrícola es decir la presencia de monocultivos y aumentar los cultivos agroforestales en la microcuenca La Plata, Ibagué - Tolima, lo cual se lleva a cabo mediante las estrategias o actividades que se presentan en la Tabla 11.



**Tabla 10.**Objetivos, estrategias y acciones planteadas para disminución de la frontera agrícola y aumento en la implementación de cultivos agroforestales en la microcuenca La Plata, Ibagué – Tolima

Objetivo	Estrategia	Línea de Acción
Disminuir la frontera agrícola en la microcuenca, por medio de la implantación de cultivos agroforestales.	Fomento del uso, manejo y adecuación de sistemas agroforestales.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacitar a los agricultores de la zona acerca del proceso de implantación de sistemas agroforestales.</li> <li>• Asesorar a los productores sobre las especies a utilizar en sistemas agroforestales.</li> <li>• Generar un asocio con alguna entidad pública o privada que permita suministrar las semillas de las especies elegidas para implantar sistemas agroforestales.</li> <li>• Crear viveros comunitarios que permitan elegir las mejores plántulas para la siembra.</li> </ul>

Fuente: los autores.

#### 4.5.2 Ampliación de las áreas de conservación y protección en la microcuenca La Plata, Ibagué – Tolima.

La propuesta que tiene como objetivo general, ampliar las áreas de conservación y protección en la microcuenca La Plata, Ibagué - Tolima, lo cual se lleva a cabo mediante las estrategias y/o actividades que se presentan en la Tabla 12.

**Tabla 11.** Objetivos, estrategias y acciones planteadas para la ampliación de las áreas de conservación y protección en la microcuenca La Plata, Ibagué – Tolima.

Objetivo	Estrategia	Línea de Acción
Ampliar las áreas de conservación y protección de la microcuenca que se han visto afectados por la expansión de la frontera agrícola y el asentamiento de personas en la zona.	Implementar en cada predio de la microcuenca, un área específica destinada a bosque de conservación.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instruir a los habitantes de la zona sobre las ventajas de implementar las áreas de conservación.</li> <li>• Identificar y definir las áreas que van a ser destinadas a zonas de conservación en cada predio.</li> <li>• Enriquecer las zonas con árboles de especies endémicas y de beneficio para el ecosistema.</li> <li>• Realizar el manejo frecuente de las zonas establecidas para conservación.</li> </ul>

Fuente: los autores.

#### 4.5.3 Descontaminación del recurso hídrico en la microcuenca La Plata, Ibagué – Tolima.

La propuesta que tiene como objetivo general, descontaminar el recurso hídrico en la microcuenca La Plata, Ibagué - Tolima, lo cual se lleva a cabo mediante las estrategias y/o actividades que se presentan en la Tabla 13.

**Tabla 12.** Objetivos, estrategias y acciones planteadas para la descontaminación del recurso hídrico en la microcuenca La Plata, Ibagué – Tolima.

Objetivo	Estrategia	Línea de Acción
Descontaminar el recurso hídrico en la microcuenca, causado por el uso de agroquímicos (que contiene compuestos nitrogenados), empleados en los sistemas de producción agrícola predominantes.	Instruir a los agricultores acerca del uso y manejo adecuado de los agroquímicos utilizados.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacitar a las personas con el fin de indicarles las dosis adecuadas a utilizar de agroquímicos que beneficien el cultivo y generen menores impactos negativos al agua.</li> <li>• Eliminar la disposición de residuos sólidos a los cuerpos de agua en la zona, enfocados a que participen en los programas de posconsumo “CIERRA EL CICLO” del ministerio del medio ambiente, ya que los residuos sólidos de agroquímicos no se pueden reciclar.</li> <li>• Fomentar el uso eficiente y sostenible del agua y la gestión integral del recurso hídrico para los usuarios del sector agrícola.</li> </ul>

Fuente: los autores.

## 5. CONCLUSIONES

La Huella Hídrica (HH) de los sistemas predominantes de producción agrícola en la microcuenca La Plata está determinada por un alto volumen de Huella Hídrica Verde y un bajo volumen de Huella Hídrica Gris. Estos volúmenes indican que la microcuenca La Plata tiene una limitada capacidad para suplir las necesidades hídricas de los sistemas de producción.

Los volúmenes de agua que se definen en la Huella Hídrica Verde (HV) en su mayoría, son aportados por el sistema de producción de Café (*Coffea arabica* Linneo), debido a que en la microcuenca de la quebrada La Plata es uno de los cultivos que mayor extensión de tierra ocupa, lo que se traduce que a mayor extensión de tierra ocupada por el sistema de producción, mayor consumo de agua de precipitación y consigo mayor volumen de HV.

La Huella Hídrica Gris (HG) obtenida refleja que, la microcuenca La Plata cuenta con suficiente agua para asimilar la contaminación que producen los aportes de Nitrógeno que se derivan de la aplicación de agroquímicos en los sistemas de producción. Sin embargo, a futuro, si estos aportes de nitrógeno y el uso de estos productos químicos se incrementan, esta capacidad de asimilación se reducirá, lo que supone un riesgo para la calidad química y física del agua de la microcuenca, con el consecuente deterioro de la calidad de vida de las personas que se acentúan en la zona y se abastecen del agua de la microcuenca en mención.

No fue posible el cálculo de la Huella Hídrica Azul (HA), debido a que en la microcuenca La Plata los sistemas de producción agrícola predominantes son en secano y no utilizan riego. Sin embargo, la pérdida de las coberturas vegetales boscosas por la extensión de la frontera agrícola y los cambios de uso del suelo en la microcuenca La Plata podría generar un *Hotspot ambiental*, es decir, una situación de insostenibilidad de agua verde. Esta situación de insostenibilidad se traduce en que, a futuro en la zona, los sistemas de



producción requieran la implementación de sistemas de riego para suplir las necesidades hídricas de los mismos, lo que supondría, además, un aumento en los volúmenes de HA y, por ende, un aumento en la HH.

Como los sistemas de producción predominantes en la microcuenca La Plata suplen sus necesidades hídricas con el agua verde, su rentabilidad económica, en términos de productividad aparente del agua y la tierra, es menor en comparación a sistemas que, además, implementan sistemas de riego. Esta condición, limita la economía del uso del agua en la microcuenca y eleva el coste de manejo en las etapas de producción.

Conocer el volumen de agua consumido o contaminado para cada uno de los sistemas de producción agrícolas presentes en una microcuenca, en función de su localización, sistema de manejo y prácticas agrarias utilizadas, permite establecer indicadores que faciliten la implementación de medidas tendientes a gestionar de manera efectiva del recurso hídrico y mejorar la eficiencia productiva, técnica y de asignación de recursos de los sistemas de producción.

## RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en el estudio, se plantean las siguientes recomendaciones:

Ubicar sobre la cuenca del río Combeima y la microcuenca de la quebrada La Plata, estaciones climatológicas con monitoreo y registro de datos continuo en la zona de estudio, así mismo, el restablecimiento de las que se encuentran instaladas en la zona.

Realizar estudios acerca de la productividad de los cultivos predominantes en la zona, con el fin de obtener resultados sobre coeficiente de productividad y de rendimientos de los mismos, que contribuyan a conocer las características de los cultivos.

Investigar otras características de los cultivos para la zona, como la profundidad de las raíces y ciertas variables como conductividad hidráulica y compactación de los suelos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aldaya, M., Cabrera E., Custodio E., De Stefano L., Garrido A, López E., Llamas M, Villarroya F., Willaarts B. (2012). *El agua en España: Bases para un pacto futuro*. Fundación Botín. 24 p. Recuperado de: [http://www.huellahidrica.org/Reports/Aldaya%20and%20Llamas%20\(2012\).pdf](http://www.huellahidrica.org/Reports/Aldaya%20and%20Llamas%20(2012).pdf).
- Arévalo Uribe, D. (2012). *Una mirada a la agricultura de Colombia desde su Huella Hídrica*. Medellín, Antioquia. Recuperado de: <http://infoagro.net/programas/Ambiente/pages/agricultura/casos/2.pdf>.
- Arévalo; Lozano & Sabogal (2011). *Estudio nacional de Huella Hídrica Colombia sector agrícola*. Revista internacional de sostenibilidad, tecnología y humanismo.
- Arévalo (2017). *Curso "Cálculo y evaluación de la Huella Hídrica como herramienta para la sostenibilidad territorial y la adaptación al cambio climático*. Instituto interamericano de cooperación para la agricultura (IICA).
- Arteaga Ramírez, R., Ángeles Montiel, V., & Vázquez Peña, M. A. (2010). *Programa CROPWAT para planeación y manejo del recurso hídrico*. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 2(2), 179–195. Recuperado de: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342011000200001](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342011000200001).
- Articuladores (2013). *La Huella Hídrica O Huella Del Agua*. [web log post]. Recuperado de <http://articuladores.net/free/huella-hidrica/>.
- Balzarini M.G., González L., Tablada M., Casanoves F., Di Rienzo J.A., Robledo C.W. (2008). *Manual del Usuario*, Editorial Brujas, Córdoba, Argentina.
- Builes, E. David. (2013). *Cuantificación y análisis de sostenibilidad ambiental de la huella hídrica agrícola y pecuaria de la cuenca del río Porce Cuantificación y análisis de sostenibilidad ambiental de la huella hídrica agrícola y pecuaria de la cuenca del río Porce*. (Tesis Doctoral) Universidad Nacional de Colombia Facultad. Recuperado de: <http://www.goodstuffinternational.com/images/PDF/LibroHuellahidrica.pdf>.
- Carro, R. & Gonzales, D. (2003). *El sistema de producción y operaciones*. Universidad Nacional del mar del Plata. Buenos Aires, Argentina. Recuperado de:

- [http://nulan.mdp.edu.ar/1606/1/01\\_sistema\\_de\\_produccion.pdf](http://nulan.mdp.edu.ar/1606/1/01_sistema_de_produccion.pdf).
- CEDAR. (1991). *Plan de manejo para la cuenca del río Combeima: Anexos*. Universidad del Tolima. Corporación autónoma regional del Tolima, Ibagué, Colombia. pp 446.
- CENICAFE. (Centro Nacional de Investigaciones de Café). (s.f) crecimiento y desarrollo de la planta de Café, Capitulo 2. Recuperado de: <HTTP://www.cwicafe.org/es/documents/librosustosdeproduccioncapitulo2.pdf>.
- CENICAFE. (Centro Nacional de Investigaciones de Café). (2007). *SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE CAFE EN COLOMBIA*. (H. F. Ospina, Ed.) (Blancolor). Primera edición. Recuperado de: [http://www.cenicafe.org/es/publications/sistemas\\_de\\_produccion.pdf](http://www.cenicafe.org/es/publications/sistemas_de_produccion.pdf).
- Cerdas, M., & Castro, J. (2003). *Manual Práctico Para La Producción , Cosecha Y Manejo Granadilla*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. SAN JOSE, COSTA RICA. Recuperado de: [http://www.mag.go.cr/biblioteca\\_virtual\\_ciencia/tec-Granadilla.pdf](http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/tec-Granadilla.pdf).
- Common, M., & Stagl, S. (2008). *INTRODUCCIÓN A LA ECONOMÍA ECOLÓGICA*. (Álvaro IsidroPaños Cubillo y Alfredo Cadenas Marín, Ed.) (REVERTÉ, S). Barcelona, España. <https://doi.org/B-30.006-2008>
- CORTOLIMA. Corporación Autónoma Regional del Tolima - (2009). *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. Recuperado de: <http://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/boletines/ago2012/3570.pdf>
- CORTOLIMA. (Corporación Autónoma Regional del Tolima). (2008). *Proyecto plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica mayor del río Prado*. Convenio Cortolima – Corpoica – Sena - UniTolima. 2.3 HIDROLOGÍA CUENCA MAYOR RIO COELLO La... - Cortolima. Obtenido en Julio 21, 2016, Recuperado de: [http://www.cortolima.gov.co/2006/images/stories/centro\\_documentos/coello/D\\_2\\_3\\_HIDROLOGIA\\_SUPERFICIAL.pdf](http://www.cortolima.gov.co/2006/images/stories/centro_documentos/coello/D_2_3_HIDROLOGIA_SUPERFICIAL.pdf).
- 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_Porce/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).
- 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, COLOMBIA. <https://doi.org/http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
- Domínguez Calle, E. A., Rivera, H. G., Vanegas Sarmiento, R., & Moreno, P. (2008). *Relaciones Demanda-Oferta De Aguay El Índice De Escasez De Agua Como herramientas De Evaluación Del Recurso hídrico colombiano*. Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas Y Naturales, 32, 19. <https://doi.org/0370-3908>.
- Dourt, D. R., Fraisse, C. W., & Uryasev, O. (2014). *WaterFootprint on AgroClimate: A dynamic, web-based tool for comparing agricultural systems*. Agricultural Systems, 125, 33–41. <http://doi.org/10.1016/j.agsy.2013.11.006>.
- Doorenbos, J. y Pruitt, W. O. (1980). *Necesidades De Agua De Los Cultivos. Estudios De Riego Y Drenaje*. FAO. Boletín 24. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 194 p
- ENA. (2014). *Estudio Nacional del Agua*. Bogotá D.C. Recuperado de: [http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA\\_2014.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf).
- Escobar, G. & J. Berdegué (1990). "Conceptos Y Metodología Para La Tipificación De Sistemas De Fincas: La Experiencia De RIMISP", En Tipificación De Sistemas De Producción Agrícola, Santiago de Chile, RIMISP, pp. 13-44.
- Falkenmark, M. (1995). "*Land And Water Integration And River Basin Management*". En FAO Land And Water Bulletin Number 1. Roma, Italia.
- FAO. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (s.f). Manejo agroquímico Buenas prácticas agrícolas (BPA) en la producción del Frijol valuble. Recuperado de <http://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a13595/a1359s03.pdf>.
- FAO. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2001). *Sistemas de Producción Agropecuaria y Pobreza*. (Malcolm hall, Ed.). Roma, Italia. Recuperado de: <ftp://ftp.fao.org/docrep/FAO/003/y1860s/y1860s00.pdf>.

- 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](https://doi.org/ISBN%2092-5-304219-2)
- FAO. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2007). *Sistemas Agrícolas Mundiales*. Recuperado de: <http://www.fao.org/ag/esp/revista/pdf/ag14.pdf>.
- FAO. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2009) *Guía para la Descripción de suelos*, Rome, Italy.
- 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, Recuperado de: <http://www.fao.org/nr/water/inforesdatabasescropwat.html>.
- FARFÁN V., (2014). *Agroforestería y Sistemas Agroforestales con Café*. Manizales, Caldas (Colombia), 2014. 342 p.
- Frank, F. & Viglizzo, E. (2011). *El Uso De La Huella Hídrica En La Agricultura De Secano En Diferentes Escalas*. Las Pampas, Argentina. Revista Elsevier.
- Fundación MAPFRE. (2011). *Huella hídrica, desarrollo y sostenibilidad en España*. Madrid, España. <https://doi.org/M-48591-2011>.
- García Andrade, J. M., Martines Bustamante, M. L., & Rengifo Rengifo, J. A. (2005). *Aportes Para La Restauración Hidrológica Y Lineamientos Para El Manejo Sostenible Del Recurso Hídrico En La Cuenca Del Río Combeima*. Ibagué-Tolima. Universidad del Tolima. Recuperado de: [http://www.ut.edu.co/academi/images/archivos/Fac\\_Forestal/Documentos/RESUMENES\\_TESIS\\_MAESTRIA\\_CUENCAS/JOHANA\\_GARCIA.pdf](http://www.ut.edu.co/academi/images/archivos/Fac_Forestal/Documentos/RESUMENES_TESIS_MAESTRIA_CUENCAS/JOHANA_GARCIA.pdf)
- García, A. (2013). *La huella hídrica como indicador de presiones: aplicación a la cuenca del Duero y al sector porcino español*. (Tesis Doctoral). Facultad de Biología, Ciencias Ambientales y Química, Departamento de Química Analítica, Química Física e Ingeniería Química de la Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares.
- García Morillo, J., Rodríguez Díaz, J. A., Camacho, E., & Montesinos, P. (2015). *Linking water footprint accounting with irrigation management in high value crops*. *Journal of Cleaner Production*, 87, 594–602. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.043>.
- Guevara, J. (2006). La fórmula Penman-Monteith FAO 1998 para determinar la

- evapotrans-piración de referencia, ETo. Terra Nueva Etapa, XXII, 31: 31-72.
- Gonzales, J., & Olavarria, J. (2011). *Producción Pecuaria*. Retrieved May 11, 2017, from <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/3/1024/8.pdf>
- Grijalba, C., Calderón, L & Pérez, M. (2010). Rendimiento y calidad de la fruta en Mora de castilla (*Rubus glaucus* Benth), con y sin espinas, cultivadas en campo abierto en cajica (Cundinamarca - Bogotá). 15 de marzo de 2010.
- Guaque, D. E., & Barreto, L. E. (2017). *Evaluación Del Impacto Ambiental De Los Sistemas Predominantes De Producción Agropecuaria En La Microcuenca La Plata*,(Tesis Pregrado). Ibagué- Tolima. Universidad del Tolima. Recuperado de: [http://repository.ut.edu.co/handle/001/136/browse?type=author&order=ASC&rpp=20&starts\\_with=guaque](http://repository.ut.edu.co/handle/001/136/browse?type=author&order=ASC&rpp=20&starts_with=guaque).
- Hoekstra, A Y. 2008. Water neutral: Reducing and offsetting the impacts of water footprints Value ofWater Research Report Series No.28,UNESCO-IHE, Delft
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2009). *Water Footprint Manual. Holanda: Water Footprint*. Recuperado de: <http://doc.utwente.nl/77211/1/Hoekstra09WaterFootprintManual.pdf>.
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual Setting the Global Standard* (14th ed.). London, Washington: Earthscan. Recuperado de: [http://waterfootprint.org/media/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual\\_2.pdf](http://waterfootprint.org/media/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual_2.pdf).
- ICA. (Instituto Colombiano Agropecuario). (2011a). *Manejo Fitosanitario Del Cultivo Del Granadilla (Passiflora ligularis) Medidas para la temporada invernal*. BOGOTÁ, COLOMBIA. Recuperado de: <http://www.ica.gov.co/getattachment/ee408b8b-fd44-4cca-bf0b-44b6c34972e9/-nbsp;Manejo.fitosanitario-del-cultivo-de-Granadilla.aspx>.
- ICA. (Instituto Colombiano Agropecuario). (2011b). *Manejo Fitosanitario Del Cultivo Del Mora (Rubus glaucus Benth) Medidas para la temporada invernal*. BOGOTÁ, COLOMBIA. Recuperado de: <http://www.ica.gov.co/getattachment/b7e061eb-ebd3-4f80-9518-c771712405eb/-nbsp%3BManejo-fitosanitario-del-cultivo-de-la-Mora.aspx>.
- IICA. (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). (2015). *Modelos de simulación y herramientas de modelaje: elementos conceptuales y sistematización de*

- herramientas para apoyar el análisis de impactos de la variabilidad y el cambio climático sobre las actividades agrícolas.* San José - Costa Rica. Recuperado de: <http://repositorio.iica.int/bitstream/11324/3045/1/BVE17068957e.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 José, 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 José, 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.%20Guía%20Metodológica%20de%20la%20HH.pdf).
- IDEAM. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). (2004). *Metodología Para El Cálculo Del Índice De Escasez De Agua Superficial.* Bogotá, Colombia. Recuperado de: [https://luisaraujo.wikispaces.com/file/view/METODOLOGÍA+CÁLCULO+INDICE+ESCASEZ+\(IDEAM\).pdf](https://luisaraujo.wikispaces.com/file/view/METODOLOGÍA+CÁLCULO+INDICE+ESCASEZ+(IDEAM).pdf).
- IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). (2013). *Diagnóstico de Modelos Agroclimáticos Evaluación del Riesgo Agroclimático dor Sectores* Abril de 2013. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Uso+de+Modelos+agroclim%C3%A1ticos.pdf/9f53a23d-9afa-4fda-aad3-5fe407c6cfea>.
- IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). (2015). *Estudio Nacional del Agua.* Bogotá, D.C.: IDEAM.
- Infante, H., & Ortiz, F. (2008). *Methodological Fit For The IDEAM`S Water Shortage Index In The Land-Use And Management Plan Of Pamplonita River,* Norte De Santander-Colombia. Retrieved May 12, 2017, Recuperado de: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0120-07392008000100011](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0120-07392008000100011).
- Leonel, H. F., Páez, L. A., & Pérez, F. (2000). *Imagen Ambiental Actual De La Cuenca*



- Del Rio Combeima &quot; Estudio Regional de su Configuración Espacial con Fines de Planificación y Manejo Ambiental & quot;*, Universidad del Tolima. Recuperado de: [http://www.ut.edu.co/academi/images/archivos/Fac\\_Forestal/Documentos/RESUMENES\\_TESIS\\_MAESTRIA\\_CUENCAS/HUGO FERNEY LEONEL.pdf](http://www.ut.edu.co/academi/images/archivos/Fac_Forestal/Documentos/RESUMENES_TESIS_MAESTRIA_CUENCAS/HUGO FERNEY LEONEL.pdf)
- Lozano, D., & Cortéz, N. (2016). *Evaluación de la Huella Hídrica del proceso productivo del arroz (Oryza sativa) en el municipio del Espinal – Tolima y su incidencia ambiental en el área de influencia*. (Tesis de pregrado) Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Universidad de la Salle, Bogotá DC. Recuperado de: [http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/20481/41101223\\_2017.pdf?sequence=1](http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/20481/41101223_2017.pdf?sequence=1)
- Liu C, Kroeze C, Hoekstra AY, Gerbens-Leenes 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.
- Matson, P., Parton, A., Power W., et al. (1997). *Agricultural Intensification And Ecosystem Properties*. *American Association for the Advancement of Science. University of California*. Berkeley, Estados Unidos. doi: <http://www.colby.edu/biology/B1131/Lab/Matson,%20et%20al%201997.pdf>.
- Marín, G. L. (2011). *Sistema De Producción Animal I* (1st ed.). Caldas, Colombia: Comisión Europea. Recuperado de: [https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4782/sistemas\\_produccion\\_animal\\_i.pdf](https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4782/sistemas_produccion_animal_i.pdf).
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2010). *The Green, Blue And Grey Water Footprint Of Farm Animals And Animal Products* (Vol. 1). The Netherlands . Recuperado de: <http://waterfootprint.org/media/downloads/Report-48-WaterFootprint-AnimalProducts-Vol1.pdf>.
- MINAMBIENTE. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible). (2010). *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*. Bogotá D.C. Recuperado de: [http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Presentación\\_Política\\_Nacional\\_-\\_Gestión\\_/libro\\_pol\\_nal\\_rec\\_hidrico.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Presentación_Política_Nacional_-_Gestión_/libro_pol_nal_rec_hidrico.pdf).
- MINAMBIENTE. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible). (2015). *El Riesgo En La Gestión Integral Del Recurso Hídrico | Ministerio De Medio Ambiente*. Recuperado

de:

<https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=1955:el-riesgo-en-la-gestion-integral-del-recurso-hidrico>.

Mora, J., Martínez, L., Rodríguez, P., Medina, E., Andrade, H., Barreto, L., Guauque, D., Guío, A., Muñoz, J., Segura, M., Marin, M., Canal, D., Sierra, E., Acuña, L., Izquierdo, O., Vargas, P., Barragán, M., Siachoque, R. (2017). *Servicios ecosistémicos aportados por sistemas de producción en laders de la cuenca media del río Combeima (Departamento del Tolima, Colombia): un aporte a la gestión del recurso hídrico*. (En proceso de publicación).

Movilla, B., Gonzales, A & Marulanda, E. (sf). Necesidades hídricas de dos variedades de Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en condiciones de invernadero. Universidad de Palmira. Palmira - Valle.

Muñoz, J., Guío, A., Andrade, H., et al. (2014). Esquema De Pago Por Servicios Ambientales Para La Cuenca Alta Del Río Combeima En El Municipio De Ibagué (Tolima, Colombia). Convenio de Cooperación N° 022 de 2013 celebrado entre Patrimonio Natural Fondo para la Biodiversidad y Áreas Protegidas y la Universidad del Tolima. Facultad de Ingeniería Forestal. Ibagué, Colombia.

Naciones Unidas. (1992). *Declaración Del Río Sobre El Medio Ambiente Y Desarrollo*. Recuperado el 23 de Agosto de 2012, de Declaración del Río sobre el medio ambiente y desarrollo: [http://www.bioculturaldiversity.net/Downloads/Papers/Rio\\_declaration\\_Spanish.pdf](http://www.bioculturaldiversity.net/Downloads/Papers/Rio_declaration_Spanish.pdf).

Naciones Unidas. (2014). *Agua Y Desarrollo Sostenible | Decenio Internacional Para La Acción*. Recuperado de: [http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/water\\_and\\_sustainable\\_development.shtml](http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/water_and_sustainable_development.shtml).

Naciones Unidas. (2015). *Nota Informativa Sobre Agua Y Desarrollo Sostenible*. Recuperado de: [http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/waterandsustainabledevelopment2015/pdf/03\\_sustainable\\_development\\_esp.pdf](http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/waterandsustainabledevelopment2015/pdf/03_sustainable_development_esp.pdf).

Ridout, B. G., & Pfister, S. (2013). *A New Water Footprint Calculation Method Integrating Consumptive And Degradative Water Use Into A Single Stand-Alone Weighted*

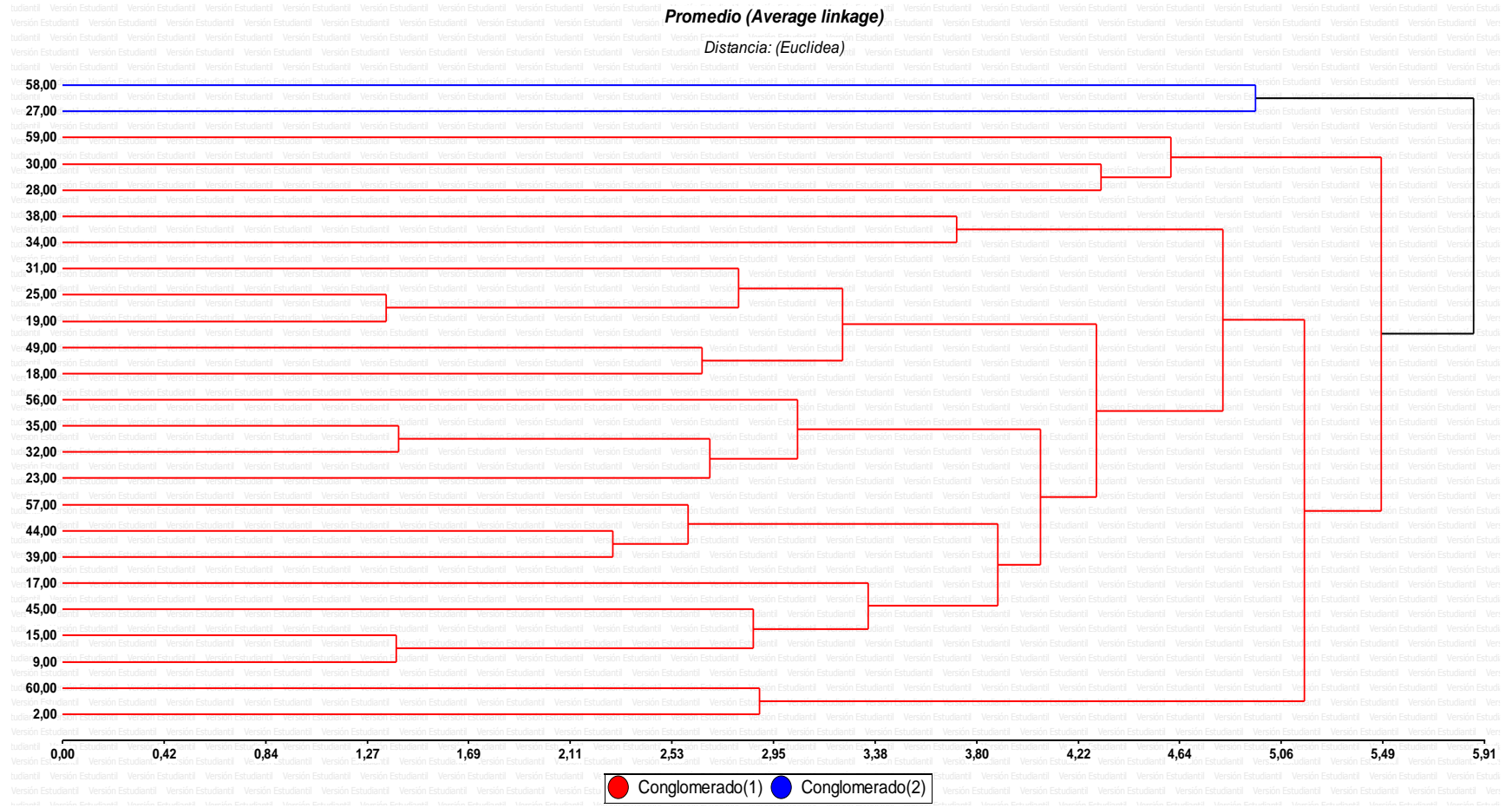
- Indicator*. The International Journal of Life Cycle Assessment, 18(1), 204–207. <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0458-z>.
- Rincón (1973). Estudio Y Plan De Manejo De La Subcuenca De La Quebrada La Plata. Facultad de ingeniería Forestal. Universidad del Tolima. Ibagué, Colombia
- Rodrigues da Silva, V. de P., Farías Bem Maracajá, K., de Araújo, L. E., Dantas, Neto, J., de Oliveira Aleixo, D., & Baracuy da Cunha Campos, J. H. (2013). *Pegada Hídrica De Individuos Com Diferentes Hábitos Alimentares*. Revista Ambiente & Agua-An Interdisciplinary Journal of Applied Science, 4(2), 57–65. <http://doi.org/10.4136/1980-993X>.
- Rodríguez Ortiz Carolina María. (2016). *Análisis de la disponibilidad de agua verde a partir del ajuste del cálculo de la evapotranspiración en zonas de vegetación natural*. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas, Departamento de Geociencias y Medio Ambiente recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/53836/1/43978122.2016.pdf>
- SADR (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). (2014) Manual técnico del cultivo de Mora bajo buenas prácticas agrícolas. Gobernación de Antioquia. Medellín, Colombia: Francisco Vélez Producción Gráfica.
- Sameral, G., Dumont, a., Aldaya, M. M., Rodríguez-Casado, R., a., G., & Llamas, M. R. (2011). *Análisis de la huella hídrica extendida de la cuenca del Guadalquivir*. Fundación Botín- Observatorio Del Agua, junio, 91.
- Schyns, J. F., & Hoekstra, A. Y. (2014). *The added value of water footprint assessment for national water policy: a case study for Morocco*. PLoS One, 9(6), e99705.
- Sevilla, J. C. (2015). *Huella Hídrica del Perú (sector agropecuario)*. Lima, Perú. Recuperado de: [http://www.ana.gob.pe/media/1256542/estudio\\_huella\\_hidrica\\_nacional.pdf](http://www.ana.gob.pe/media/1256542/estudio_huella_hidrica_nacional.pdf).
- Tolón Becerra, A., Lastra Bravo, X. B., & Fernández Membrive, V. J. (2013). *HUELLA HÍDRICA Y SOSTENIBILIDAD DEL USO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS*. Aplicación al Poniente Almeriense. Estudios previos y medidas de eficiencia. Revista Electrónica@ de Medio Ambiente, 14, 56–86. Recuperado de: [http://dx.doi.org/10.5209/rev\\_MARE.2013.v14.n1.42123](http://dx.doi.org/10.5209/rev_MARE.2013.v14.n1.42123).
- Torres, A. M. (2004). *Estudio limnológico de la cuenca del río Coello (departamento del*

- Tolima) con especial referencia al orden Ephemeroptera (Clase Insecta).*(Tesis pregrado). Programa Licenciatura en Biología y Química. Facultad de Ciencias de la Educación. Universidad del Tolima. Ibagué (Tolima, Colombia).
- Torstensson, L. (1990). *Plaguicidas en el ambiente externo. Ocurrencia, propagación, efectos.* Revisión de la literatura y propuestas de investigación. Natrurvårverket report 3536. Solan, Suecia (Según información del WWF, 1992).
- UNESCO. (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura). (2012). *LIBRO DE CONSULTA Educación para el Desarrollo Sostenible.* UNESCO. Paris, Francia. Recuperado de: <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002167/216756s.pdf>.
- United States Department of Agriculture. (1993). *Soil Survey Manual by Soil Survey Division Staff.* Handbook N°18. Issued October 1993.
- Universidad del Tolima (2003). *Proyectos De Servicios Integrados Para Jóvenes Del Cañón Del Combeima.* Convenio De Apoyo Y Cooperación Interinstitucional Entre La Universidad Del Tolima Y El Proyecto De Servicios Integrados Para Jóvenes – Subproyecto Municipal Del Municipio De Ibagué. Colombia. Recuperado [http://desarrollo.ut.edu.co/tolima/hermesoft/portal/home\\_1/rec/arc\\_6765.pdf](http://desarrollo.ut.edu.co/tolima/hermesoft/portal/home_1/rec/arc_6765.pdf).
- Velásquez, E. (n.d.). *Agua Virtual, Huella Hídrica Y El Binomio Agua-Energía: Repensando Los Conceptos.* Sevilla, España. Recuperado de: <https://drive.google.com/file/d/0Bz1JS8K0jytrZzYzNIRodmw4TzQ/view>.
- Vázquez del mercado, R., & Buenfil Rodríguez, M. O. (2012). *HUELLA HÍDRICA DE AMÉRICA LATINA: RETOS Y OPORTUNIDADES LATIN AMERICA'S WATER FOOTPRINT: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES.* *Aqua-LAC*, 41, 41–48. Recuperado de: <http://www.unesco.org/uy/ci/fileadmin/phi/aqualac/Art5-Vazquez-41-48.pdf>
- Villalba, R., Gómez, J & Parra, M. (2006). *Manual técnico cultivo de Granadilla (Passiflora ligularis Juss) en el departamento del Huila.* Cadena productiva frutícola - Secretaria técnica. Neiva - Huila.
- WFN. (Water Footprint Network). (2015). *Manual Para La Evaluación De La Huella Hídrica.* Water Footprint Network. Recuperado de <http://waterfootprint.org/media/downloads/ManualEvaluacionHH.pdf>.

- Wichelns, D. (2015). *Virtual Water And Water Footprints Do Not Provide Helpful Insight Regarding International Trade Or Water Scarcity*. *Ecological Indicators*, 52, 277–283. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.12.013>.
- WWF. (World Wildlife Fund). (2012). *Una Mirada A La Agricultura De Colombia Desde Su Huella Hídrica REPORTE COLOMBIA 2012*. Recuperado de: <http://infoagro.net/programas/ambiente/pages/agricultura/casos/2.pdf>.
- WWF. . (World Wildlife Fund). (2013). México - *Huella Hídrica*. Recuperado de <http://www.huellahidrica.org/Reports/AgroDer,%202012.%20Huella%20h%C3%ADdrica%20en%20M%C3%A9xico.pdf>.

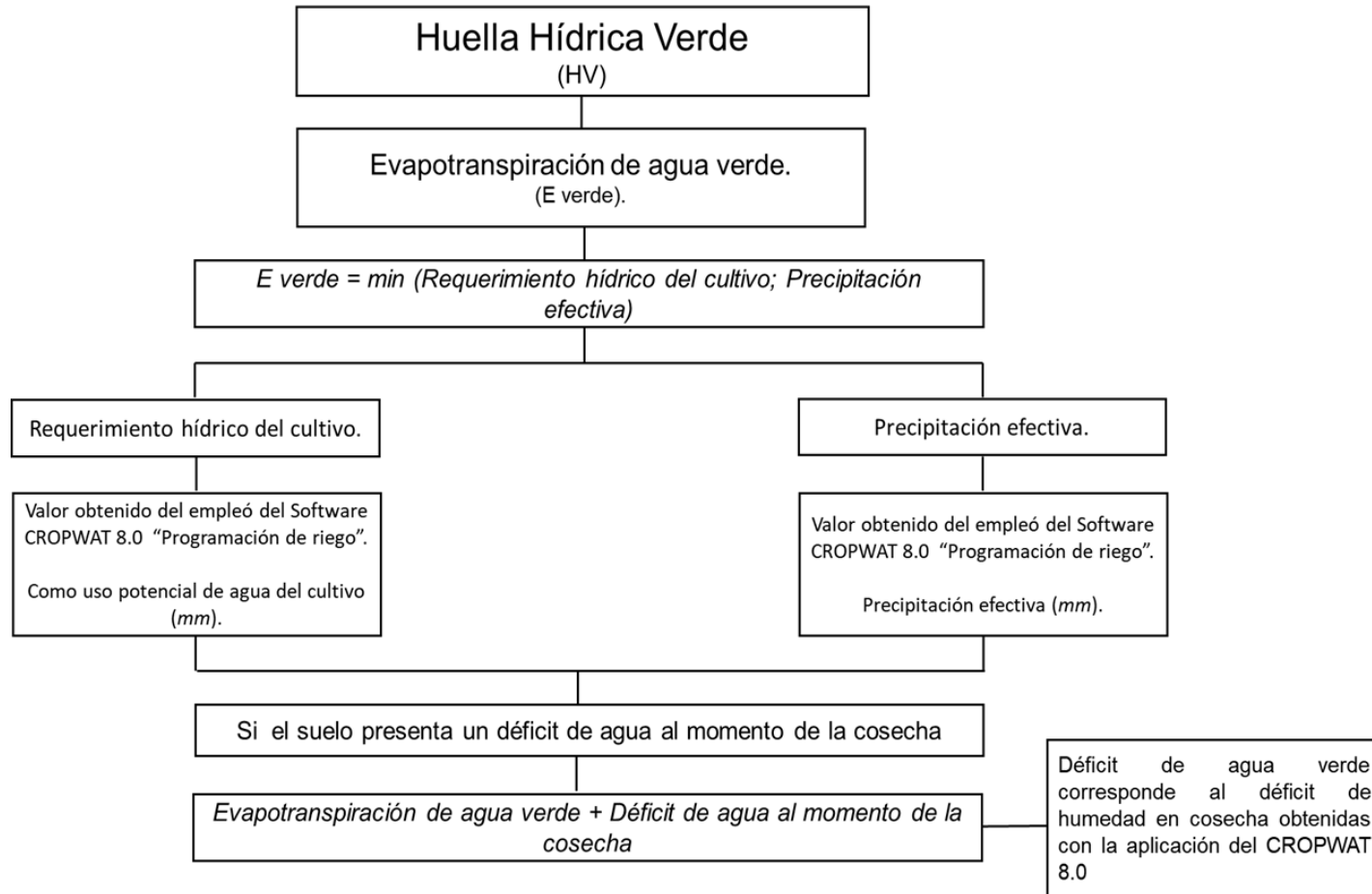
# **ANEXOS**

# Anexo A. Árbol Binario O Dendrograma.



Fuente: los autores

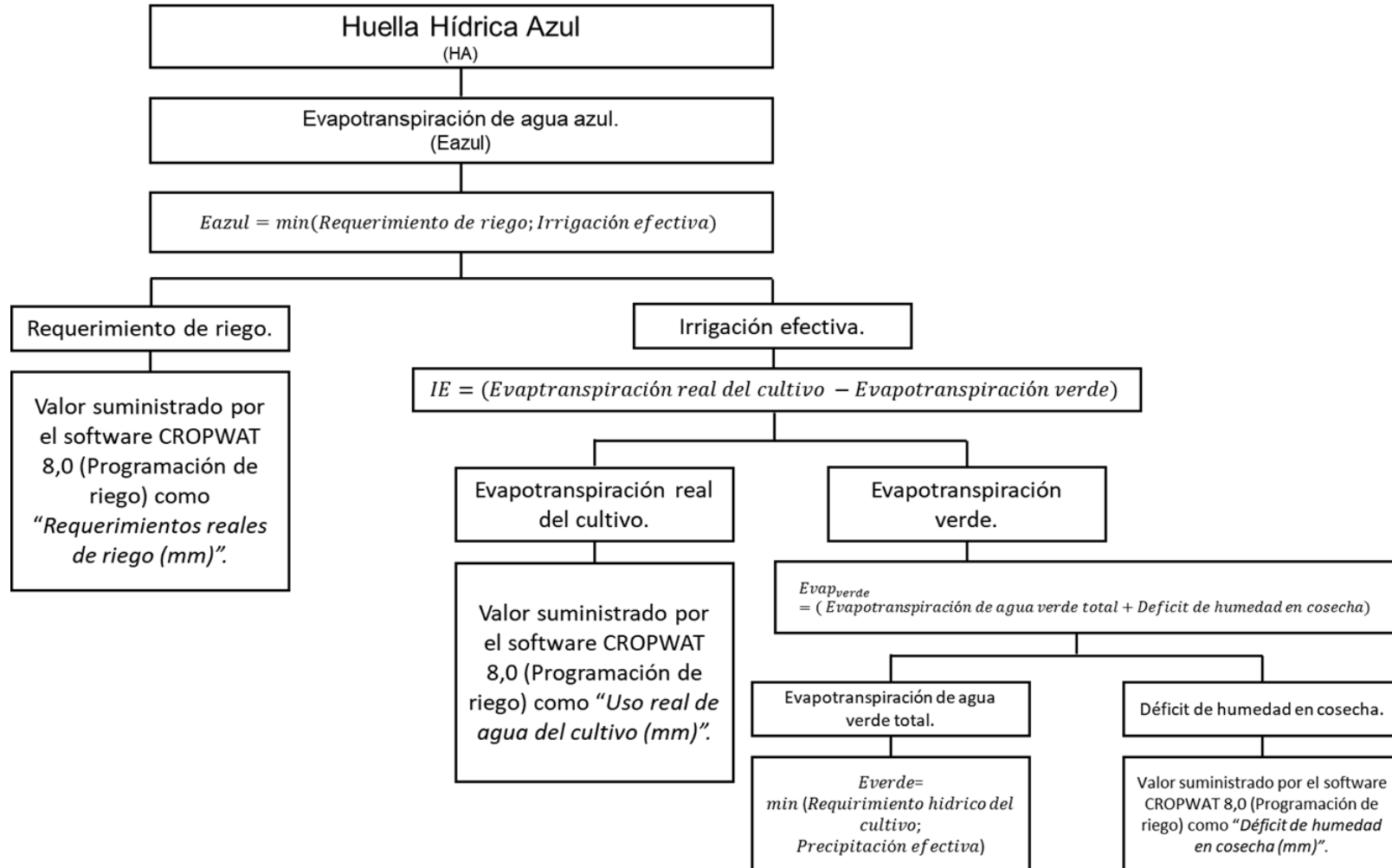
## Anexo B. Metodología De La Huella Hídrica Verde (HV).



Fuente: los autores

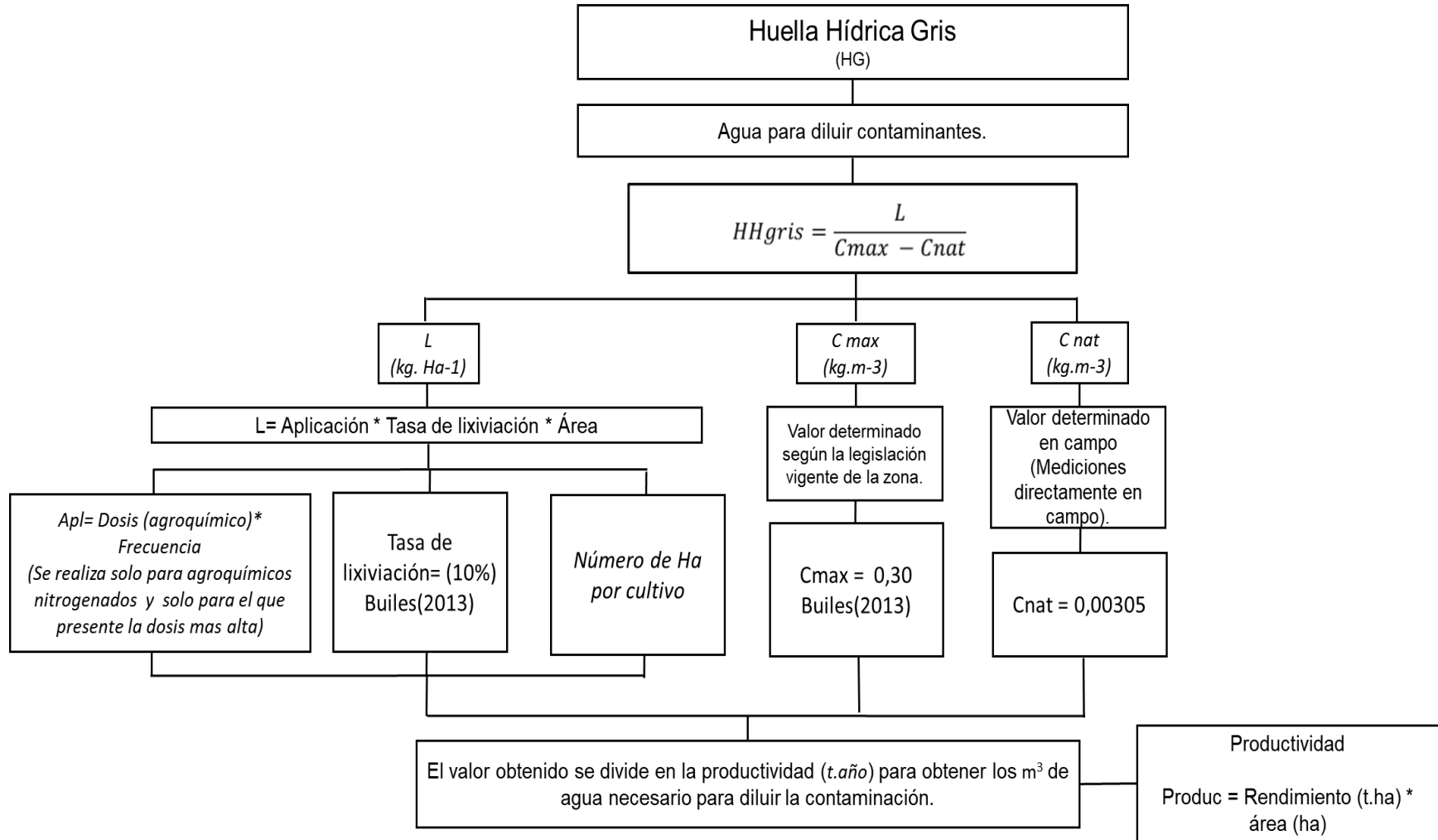


**Anexo C. Metodología De La Huella Hídrica Azul (HA).**



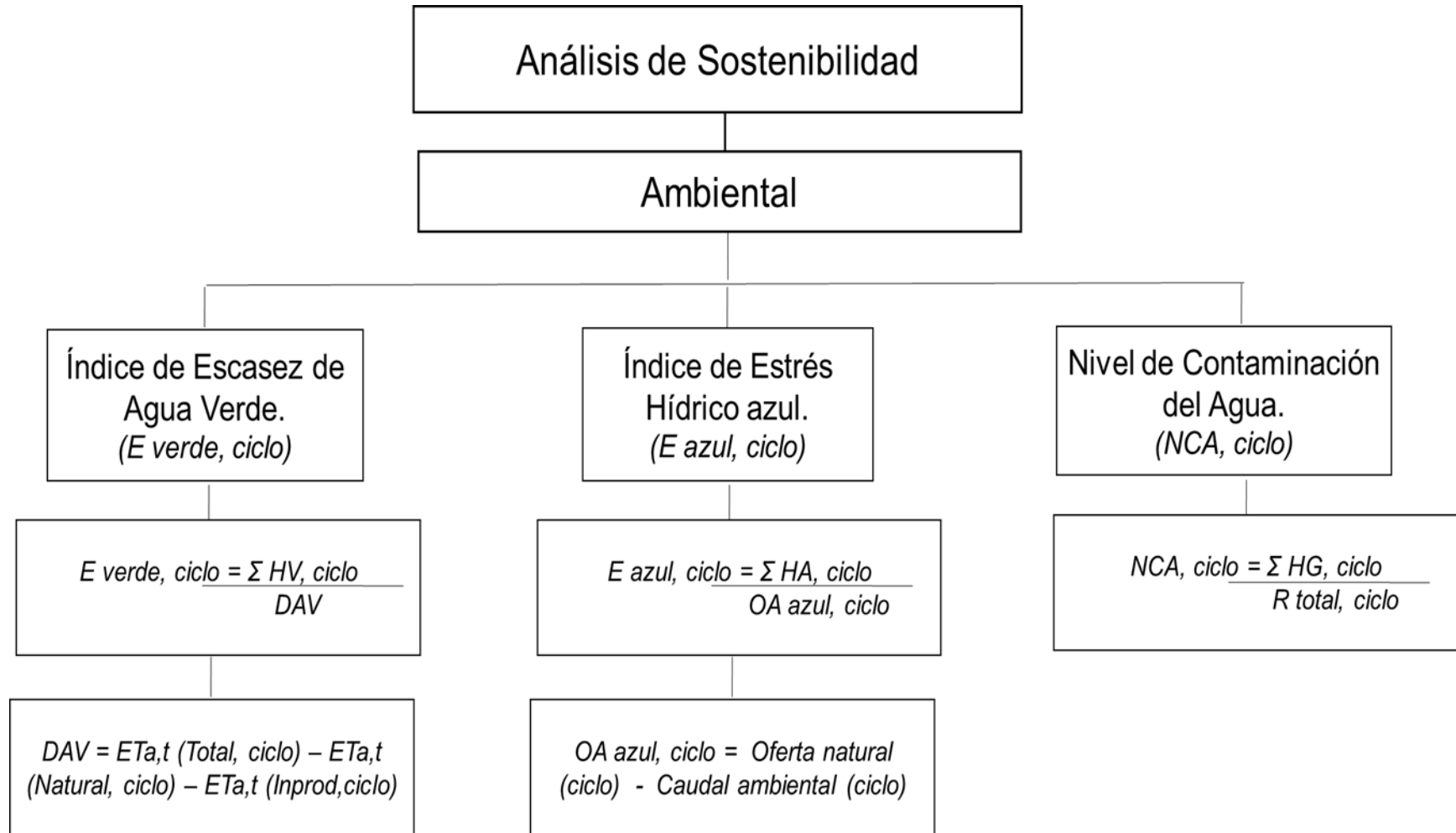
Fuente: los autores

**Anexo D. Metodología De La Huella Hídrica Gris (HG).**



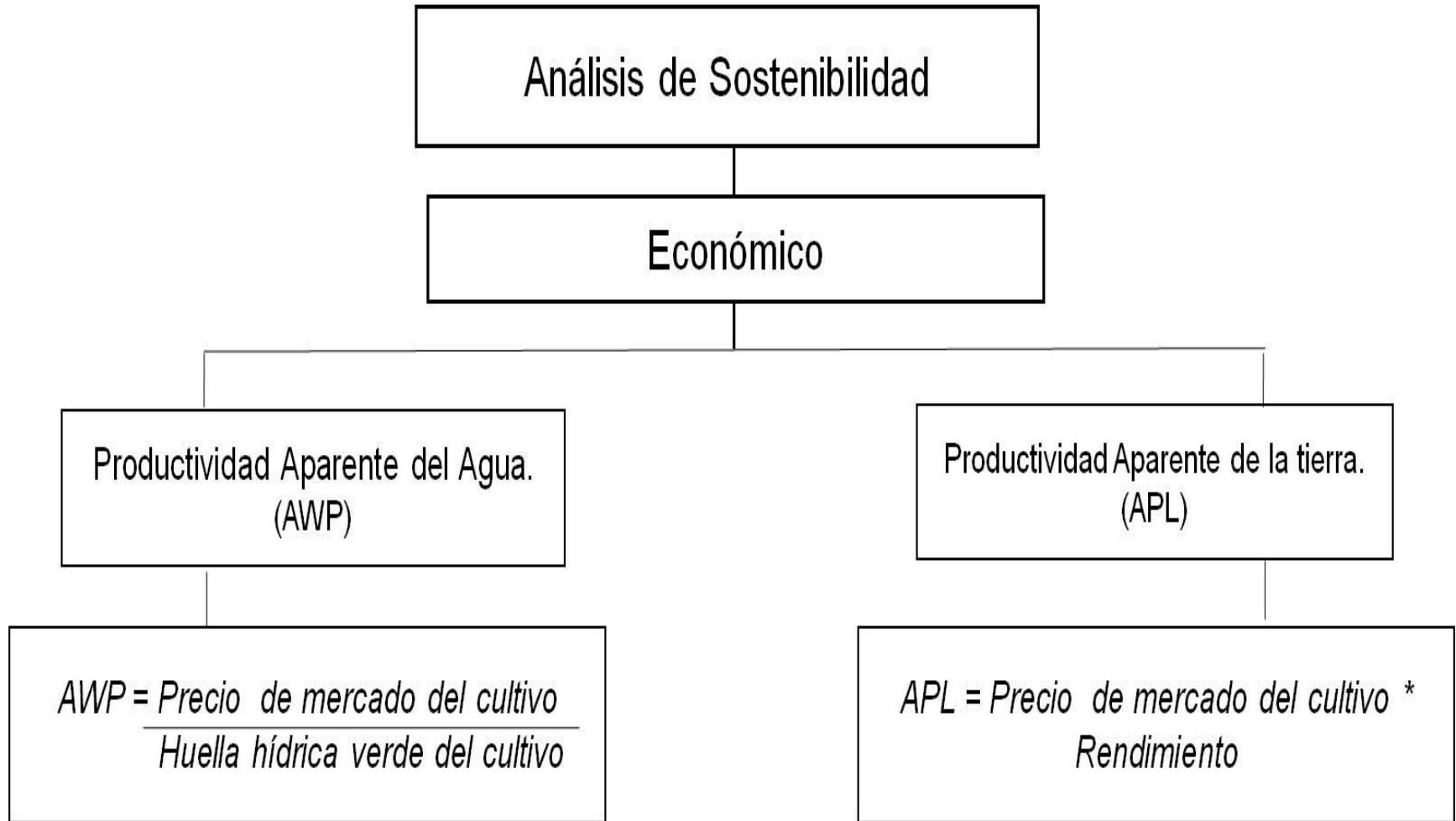
Fuente: los autores.

**Anexo E.** Metodología Del Análisis De Sostenibilidad Ambiental De La Huella Hídrica.



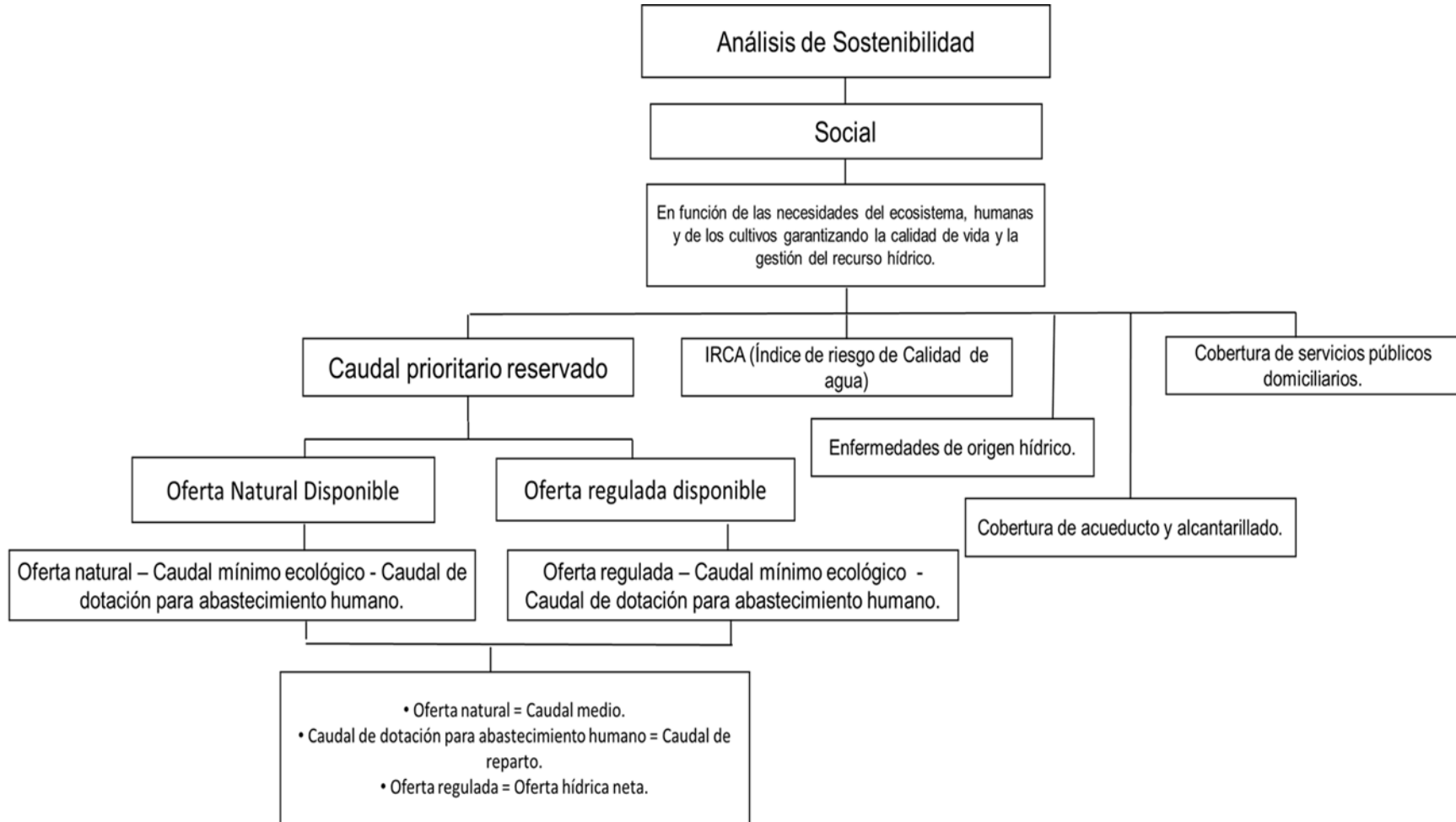
Fuente: los autores

**Anexo F.** Metodología Del Análisis De Sostenibilidad Económico De La Huella Hídrica.



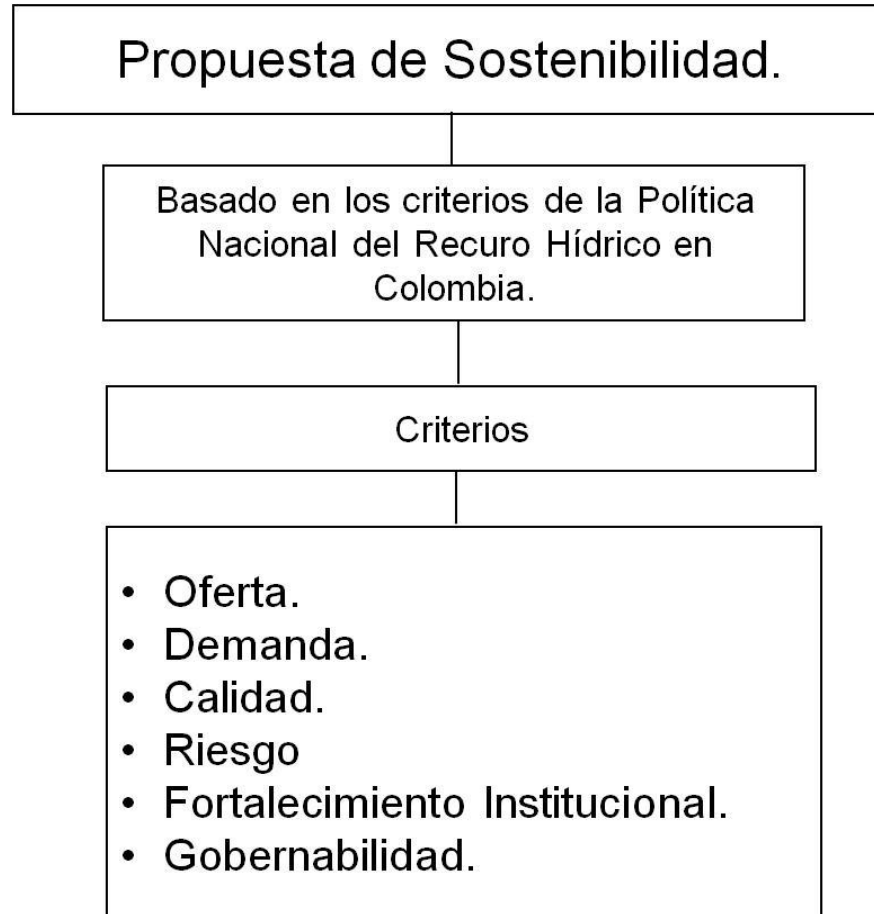
Fuente: los autores

## Anexo G. Metodología Del Análisis De Sostenibilidad Social De La Huella Hídrica



Fuente: los autores

**Anexo H.** Metodología De La Propuesta De Sostenibilidad De La Huella Hídrica



Fuente: los autores

**Anexo I. Muestreo De Calidad De Agua A Lo Largo De La Microcuenca La Plata, Ibagué – Tolima.**




Fuente: los autores

**Anexo J. Muestreo De Calidad De Suelo A Los Sistemas De Producción Agrícolas Predominantes En La Microcuenca La Plata, Ibagué - Tolima**



Fuente: los autores.



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

Los suscritos:

MAYRA ALEJANDRA BARRAGÁN MACHADO	con C.C N°	1.110.552.435
RAÚL STIVEN SIACHOQUE GARCÍA	con C.C N°	1.110.536.936
	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	<input checked="" type="checkbox"/>	Artículo	<input type="checkbox"/>	Proyecto de Investigación	<input type="checkbox"/>
Libro	<input type="checkbox"/>	Parte de libro	<input type="checkbox"/>	Documento de conferencia	<input type="checkbox"/>
Patente	<input type="checkbox"/>	Informe técnico	<input type="checkbox"/>		
Otro: (fotografía, mapa, radiografía, película, video, entre otros)					<input type="checkbox"/>

 Universidad del Tolima	<b>PROCEDIMIENTO DE FORMACIÓN DE USUARIOS</b>  <b>AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	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 DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA Y PECUARIO PREDOMINANTES EN LA MICROCUENCA LA PLATA, (IBAGUÉ, TOLIMA).**

- Trabajo de grado presentado para optar al título de:

**INGENIERO FORESTAL**

---

- 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:

---



