
“Cálculo de la Huella Hídrica en Universidades” caso de estudio Universidad Católica de Manizales, en el marco del Sistema de Gestión Ambiental



Pamela María Loaiza Gómez

Código 0T820141008

Estudiante de Ingeniería Ambiental

Adriana Carolina Quiceno Zuluaga

Código 0T820141012

Estudiante de Ingeniería Ambiental

Universidad Católica de Manizales

Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Programa de Ingeniería Ambiental

Manizales, Caldas

2018

“Cálculo de la Huella Hídrica en Universidades” caso de estudio Universidad Católica de Manizales, en el marco del Sistema de Gestión Ambiental



Pamela María Loaiza Gómez

Código 07820141008

Estudiante de Ingeniería Ambiental

Adriana Carolina Quiceno Zuluaga

Código 07820141012

Estudiante de Ingeniería Ambiental

Propuesta de trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniera Ambiental en modalidad de revisión de tema

Tutora

Ángela María Alzate Álvarez

Ingeniera de Saneamiento y Desarrollo Ambiental

Universidad Católica de Manizales

Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Programa de Ingeniería Ambiental

Manizales, Caldas 2018

Agradecimientos

Agradecemos a Dios y nuestras familias, por ser nuestra inspiración y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los éxitos mas anhelados, la realización de nuestro trabajo de grado y obtención de nuestro título universitario.

A los docentes y directivos de la facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Católica de Manizales por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación profesional; de manera especial a la docente Ángela María Álzate Álvarez tutora de nuestro proyecto, quien nos ha guiado con su paciencia, apoyo y rectitud.

Resumen

En este documento se plantea una revisión bibliográfica acerca de la Huella Hídrica, teniendo en cuenta el contexto Internacional, nacional, Regional y en Instituciones de educación superior. A partir de las revisiones en el ámbito Internacional, se observan diferentes estudios que abordan la problemática de la disponibilidad del recurso hídrico, así como también la oferta y demanda por parte de algunos países que van directamente asociados a las zonas áridas o semiáridas, con el fin de determinar que se está haciendo y que se ha logrado implementando el indicador de Huella Hídrica. A nivel nacional se han realizado estudios importantes tales como: estudio multisectorial de huella hídrica en Colombia, en el marco del estudio nacional del agua (ENA, 2014) y el estudio nacional de Huella Hídrica en Colombia sector agrícola en el año 2011, con el fin de evidenciar el panorama general del recurso hídrico para toda Colombia en sus componentes de oferta, demanda, calidad y riesgos asociados al agua y al recurso hídrico. Si bien, la región de Caldas, pese a no presentar problemas significativos en los recursos hídricos, se llevan a cabo prácticas como la agricultura y la ganadería, los cuales tienen mayor impacto y demanda sobre el recurso hídrico especialmente en presencia del fenómeno del niño, que a su vez son los que le generan el sustento económico a casi todo el departamento, para contrarrestar todos los factores negativos se realizan estudios como la exploración y la disponibilidad de pozos subterráneos de agua dulce y el encuentro por el agua, que se llevó a cabo en esta región con el fin de reunir las problemáticas y experiencias que los distintos usuarios de este recurso han tenido en torno al agua. Estas problemáticas han llevado a que se impulse la generación de políticas que ayuden a definir procedimientos para que los sectores de producción se orienten hacia el desarrollo sostenible. Finalmente, en este trabajo se expone la necesidad y se plantea una metodología para la determinación de la Huella Hídrica, teniendo en cuenta el cálculo de las Huellas azul, gris y verde, en la Universidad Católica de Manizales, con el fin de reforzar el Sistema de Gestión Ambiental e impulsar programas y proyectos de uso y ahorro eficiente de agua.

Palabras Clave: Indicadores, cálculo de Huella Hídrica Recurso hídrico, Huella Hídrica en universidades.

Abstract

In this document is contemplated a literature review of water footprint, considering the local, national and international context and besides its meaning in higher education institutions. Based on international field revision, it shows different studies about the difficulties of water resources availability, as well as, the offer and the demand from some countries which are directly associated to arid and semiarid areas, to determinate what is occurring and what has been achieved in the implementation of water footprint indicator. At national level has been done important studies such as: “Evaluación multisectorial de la Huella Hídrica en Colombia” as part of national water study (ENA, 2014), and “National study of water Footprint agricultural sector in Colombia” (Arévalo, Lozano & Sabogal, 2011), with the purpose of evincing of general panorama of hydrology resources in Colombia in consideration of components like offer, demand, quality and risk associated with water. Although Caldas region has no significant issues in water resources, some practices like agriculture and livestock are carried out, as a result, it has greater impact and demand over hydrology resources particularly in present of ENSO, despite that practices generate financial support in almost all region. To counteract all adverse factors, some studies like exploration and availability of fresh water underground well are made in this region to collect all the experiences and problems that different people have had around water resources. These problems have led to the creation of policies to help to define methods for that productive sectors have an orientation toward sustainable development. Finally, in this work is explained the necessity of water footprint and a methodology for its determination, having in count blue, gray and green prints calculus carried out in the Catholic University of Manizales, to reinforce environmental management system and drive programmes and projects about and efficient use and saving of water.

Keywords: Indicators, water footprint calculus, hydrology resources, water footprint in universities.

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
2. Justificación	3
3. Objetivos	4
3.1. Objetivo General	4
3.2. Objetivos Específicos	4
4. Metodología	5
4.1. Mapa conceptual del tema	7
5. Desarrollo del tema	9
5.1. 5.1. Capítulo I. Conceptos básicos y Normatividad Vigente sobre Huella Hídrica	11
5.1.1. Marco normativo	18
5.2. Capítulo II. Huella Hídrica Internacional	20
5.2.1. Sur América	26
5.3. Capítulo III. Huella Hídrica Nacional	32
5.3.1. Contexto nacional	32
5.4. Capítulo IV. Huella Hídrica en Instituciones Educativas	41
5.5. Capítulo V. Estimación de la Huella Hídrica para la Universidad Católica de Manizales	46
5.5.1. Análisis y Criterio de elección	46

5.5.2.	Área de estudio	48
5.5.3.	Huella Hídrica directa	48
5.5.4.	Huella Hídrica indirecta	49
5.5.5.	Análisis fisicoquímicos	50
5.5.6.	Caracterización fisicoquímica del agua residual	50
5.5.7.	Caracterización fisicoquímica del afluente	51
5.5.8.	Caracterización fisicoquímica de la cuenca abastecedora	51
5.5.9.	Normatividad	51
5.5.10.	Consideraciones	51
6.	Conclusiones	54
7.	Recomendaciones	56

Índice de Figuras

1.	Fases de elaboración del documento.	7
2.	Mapa conceptual.	8
3.	Representación global de Huella Hídrica.	12
4.	Balance hídrico del agua.	16
5.	Demanda final de la Huella Hídrica en Jing-Jin (izquierda) y Yangtze.	22
6.	Producción agrícola y consumo de grupos de productos en la Unión Europea para el periodo de 1996 a 2005.	24
7.	Huella Hídrica por habitante promedio $m^3/hab/año$	28
8.	Huella Hídrica por país y categoría de productos (1996-2005).	29
9.	Huella Hídrica en América del Sur.	30
10.	Distribución poblacional de Colombia por Área Hidrográfica, a) población Colombia 2011 y b) disponibilidad de agua Colombia.	37
11.	Distribución porcentual de la Huella Hídrica Total del sector agrícola de Colombia por producto.	38
12.	Distribución porcentual de la Huella Hídrica por Campus.	42
13.	Huella Hídrica Per Cápita por estudiante de cada Campus.	43
14.	Representación gráfica de áreas verdes de la Universidad Politécnica Salesiana-Campus Sur.	47

Índice de Tablas

1.	Ficha bibliográfica.	6
2.	Disponibilidad Hídrica y población por Área Hidrográfica en Colombia.	36
3.	Información y fuentes para cada Huella Hídrica.	53

1. Introducción

La Huella Hídrica es un indicador que está relacionado con la gestión al recurso hídrico ejecutando un proceso para la producción de bienes y servicios, es indispensable para generar estrategias de gestión en cuanto al uso de agua Contreras y Torres (2016). En detalle, la Huella Hídrica se define como el volumen de agua dulce que precisa un proceso, directa e indirectamente, para la producción de un bien o servicio. Éste indica cuando y donde se consume y se contamina en cada uno de los pasos de una cadena de producción (Vagliente y Castro, 2012). Así mismo, se puede clasificar en Huella Hídrica directa o indirecta, la primera es el agua utilizada en cada paso de producción, mientras que la segunda es la usada para obtener cada uno de los elementos, insumos y herramientas que necesita cada paso de la producción. Además, el tipo de Huella Hídrica depende de la fuente de agua. Los tipos de Huella Hídrica son: Huella Hídrica verde, azul y gris. Vagliente y Castro (2012) indican que

La Huella Hídrica azul corresponde al agua superficial o subterránea, lagos, ríos y acuíferos; el agua verde está constituida por el agua lluvia almacenada en el suelo como humedad y el agua gris es el agua contaminada y procesada para su uso (p.8).

Por otra parte, Hoekstra y Chapagain (2007) manifiestan que

La Huella Hídrica es un indicador multidimensional, que muestra el consumo de volúmenes de agua por fuente y los volúmenes contaminados por tipo de polución. La idea de considerar el uso del agua a lo largo de las cadenas de suministro ganó interés después de la introducción del concepto de la Huella Hídrica.

De lo anterior, se puede concluir la importancia de la estimación de la Huella Hídrica como indicador de sustentabilidad en las instituciones de educación superior u organizaciones en donde se implementa, esto con el fin de volver eficientes sus procesos y ser competitivos en el mercado, además de acoger las estrategias de sustentabilidad y los objetivos de desarrollo sostenible. En el presente trabajo se plasmaron conceptos básicos sobre Huella Hídrica, estudios realizados, información actual y normatividad legal vigente, después de una detallada investigación bibliográfica sobre Huella Hídrica en el contexto Internacional, nacional y en instituciones de

educación superior (Universidades), estableciendo una metodología de acuerdo a las condiciones de la Universidad Católica de Manizales.

2. Justificación

Mejorar la gestión del agua es una necesidad y una responsabilidad de cada nación, departamento, municipio e instituciones educativas. Esta va relacionada con la adecuada distribución del recurso hídrico, por esto se deben tener en cuenta los impactos negativos o la presión que se ejerce desde diferentes zonas. Teniendo en cuenta los lineamientos de la conferencia de Río de Janeiro del año 1992, en la que se estableció que los estados deben disminuir las modalidades de producción y consumo insustentables. Dicho lo anterior, se ha impulsado políticas ambientales orientadas a la implementación de indicadores o estrategias como la estimación de la Huella Hídrica, indicador que permite medir el volumen de agua utilizada para la producción de un bien o un servicio. Esta Huella se realiza con el fin de convertir una organización en un ente eficiente, competitivo y distintivo frente a otras organizaciones que no implementan este tipo de herramientas fundamentales que van en pro del desarrollo sostenible y del uso eficiente del agua.

Actualmente, el Sistema de Gestión Ambiental de la Universidad Católica de Manizales (UCM) carece del cálculo de la Huella Hídrica; sin embargo, antes de realizar dicho cálculo, es necesario realizar estudios bibliográficos y de normatividad referente a la Huella Hídrica, con el fin de tener un conocimiento más amplio para establecer protocolos, metodologías y herramientas apropiadas que se adapten a la UCM. La revisión bibliográfica refleja las buenas y malas prácticas con el recurso hídrico realizado por la comunidad universitaria; por lo tanto, concientizará al conjunto de individuos para un adecuado manejo del agua. Esta exploración bibliográfica proporciona información internacional y nacional sobre el uso del recurso hídrico que impulsará y apoyará nuevas investigaciones técnicas y metodológicas para cuantificar la cantidad de agua usada, no aprovechada y ahorrada en cada uno de los pasos que conforman una cadena de producción o en cada una de las actividades realizadas.

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

- Realizar un análisis de la información secundaria relacionada con el cálculo de la Huella Hídrica en el contexto internacional, nacional y local, especialmente en instituciones de educación superior.

3.2. Objetivos Específicos

1. Investigar acerca de la estimación de la Huella Hídrica en el contexto Internacional. y nacional.
2. Identificar la información secundaria para la medición de la Huella Hídrica en Instituciones educativas.
3. Seleccionar la o las metodologías más apropiadas para la estimación de la Huella Hídrica en el marco del sistema de gestión ambiental de la Universidad Católica de Manizales (UCM).

4. Metodología

Para este trabajo de investigación inicialmente, se llevó a cabo una revisión bibliográfica en las bases de datos como “*Ambientalex*”, “*ScienceDirect*”, “*Scopus*” y “*Google académico*” con el tema “*Huella Hídrica*”. Una vez realizada la búsqueda, se llevarán a cabo las siguientes IV fases descritas a continuación en detalle.

Fase I: En primer lugar, para la elaboración del trabajo se inició con la recolección de la información secundaria de fuentes seguras o confiables y se tuvo una selección del material a revisar entorno al tema, con el fin de obtener conceptos claves tales como definición de Huella Hídrica, Huella azul, Huella verde, Huella gris, agua virtual y entre otros términos que son importantes para llevar a cabo la investigación; además, se tomaron en cuenta las bases antes mencionadas acerca de la Huella Hídrica en el contexto internacional, hasta llegar a estudios locales (Colombia).

Fase II: Se realizó una consulta bibliográfica en la cual se ejecutaron 40 fichas bibliográficas, comprendidas de la siguiente manera: 30 en español y 10 en inglés, las cuales sirvieron de base para constatar y organizar la información del estudio de interés, no obstante, también se realizó búsquedas adicionales de artículos y citas de citas con el fin de mejorar la información. Así mismo, en esta fase también se tuvo en cuenta el Manual para la Evaluación de la Huella Hídrica (ajustando la norma).

En la Tabla 1 se encuentra el formato y contenido en las cuales se presentó la información de las fichas bibliográficas. A partir de las fichas bibliográficas, el revisor podrá tener la oportunidad de extraer la información más importante de tal manera que el lector pueda tener lo más relevante de la consulta bibliográfica y pueda generar un conocimiento más eficiente.

Tab. 1: Ficha bibliográfica.

<i>Fichas Bibliográficas</i>	
<i>Fecha de lectura:</i>	<i>Numero consecutivo de revisión:</i>
Título:	
Autor(es):	
Fuente bibliográfica:	
Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto:	
Palabras nuevas:	
Preguntas de investigación y del conocimiento que propone el autor:	
Análisis interpretativo por el revisor:	
Referencias de interés que cita el autor:	
Información tomada de formato UCM.	

Fase III: Posteriormente, se tomó una línea investigativa a partir del estudio detallado del Manual de Evaluación de la Huella Hídrica (ajustando la norma global), tomando como base el cálculo o la estimación de la Huella Hídrica en diferentes instituciones como universidades.

Fase IV: Finalmente, se realizó la comprensión y análisis de los textos consultados, con el fin de realizar una discusión crítica frente a la información de las diferentes fuentes bibliográficas de acuerdo al cálculo de la Huella Hídrica y la importancia que tiene la evaluación de la sostenibilidad ambiental, social y económica, además, se incluyó una metodología para el cálculo de la Huella Hídrica en la UCM y posteriormente se incluyó las conclusiones y recomendaciones.

Las cuatro fases mencionadas anteriormente, se esquematizan en la Figura 1.

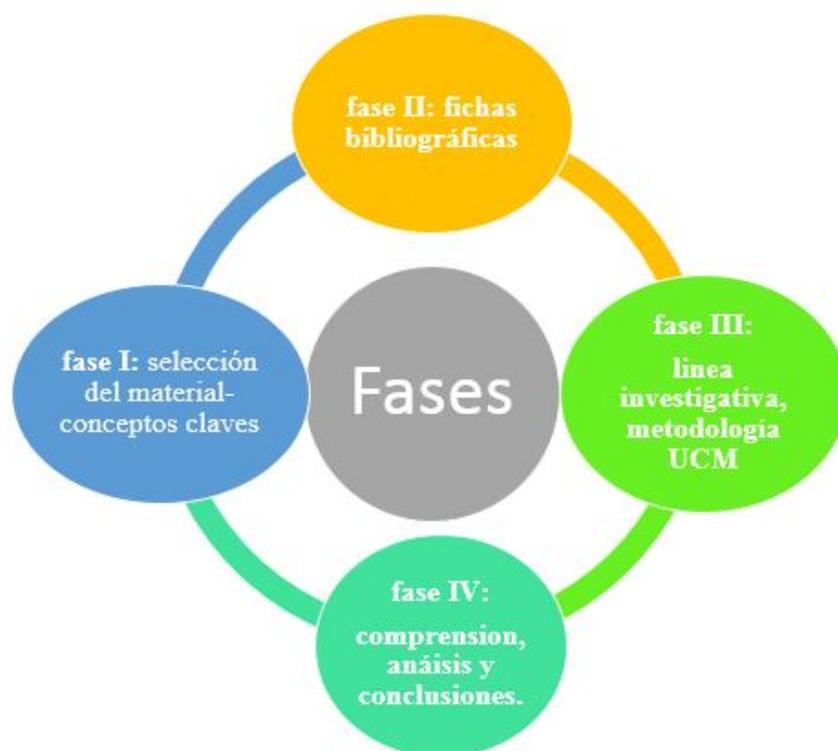


Fig. 1: Fases de elaboración del documento.

4.1. Mapa conceptual del tema

En la Figura 2 se muestra el mapa conceptual de las Huella Hídrica, el cual resume los indicadores, definición de la Huella Hídrica, entre otros.

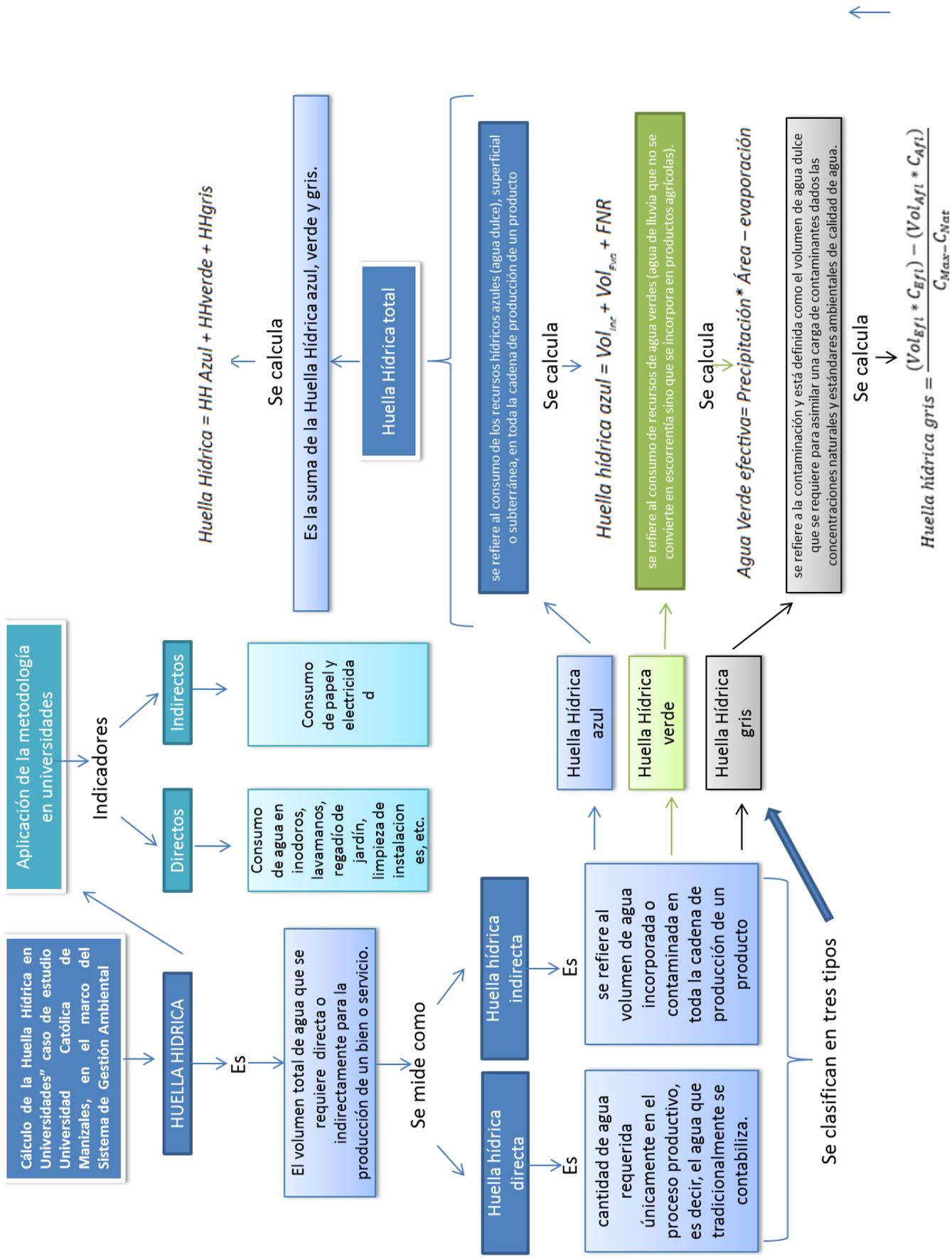


Fig. 2: Mapa conceptual. Información tomada de Narvaez y Paz (2012). Adaptación: por el autor

5. Desarrollo del tema

Para realizar la estimación de la de la Huella Hídrica y entender la importancia de implementar este indicador en cualquier organización o institución de educación superior, se debe tener claridad a cerca de los conceptos como Huella Hídrica directa, Huella Hídrica indirecta, Huella Hídrica verde, Huella Hídrica gris y Huella Hídrica azul a los cuales hace referencia el concepto de Huella Hídrica en el contexto internacional, nacional e instituciones educativas. Adicionalmente, se presenta diversos puntos acerca de la importancia de cuantificar la Huella Hídrica para mejorar la gestión integral del recurso hídrico.

A continuación, se exponen los capítulos los cuales hacen referencia a los temas que contiene este trabajo.

1. Conceptos básicos y normatividad vigente sobre Huella Hídrica.

En este capítulo se describen algunos conceptos de Huella Hídrica como: Huella Hídrica azul, Huella Hídrica verde, Huella Hídrica gris, Huella Hídrica directa, Huella Hídrica indirecta, entre otros. Y además se incluye normatividad legal vigente que va relacionada con la estimación de la Huella Hídrica y la implementación de este indicador como fuente de sustentabilidad y desarrollo sostenible.

2. Contexto Internacional de Huella Hídrica.

En este apartado, se presentan estudios relevantes de la Huella Hídrica en diversos países a nivel mundial. De estos se destacan estudios sobre la preocupación e importancia del manejo de los recursos hídricos y necesidad de impulsar políticas que contribuyan al uso eficiente de este recurso.

3. Contexto Nacional de Huella Hídrica.

En el contexto nacional, se evidenció casos de estudios puntuales, expresando las ventajas y desventajas de la Huella Hídrica en el sector comercial y agrícola. Actualmente se continúan investigando los lineamientos Internacionales y la necesidad de obtener más apoyo por parte de los gobiernos nacionales para realizar investigación sobre este indicador y ponerlo en práctica.

4. Huella Hídrica en instituciones educativas.

En este capítulo se describen estudios realizados en instituciones educativas, las cuales son una herramienta de mejoramiento a programas de ahorro y uso eficiente del agua.

5. Estimación de la Huella Hídrica para la Universidad Católica de Manizales.

Finalmente, en este capítulo se selecciona una metodología acerca de la estimación o cálculo de Huella Hídrica que puede ser adaptada y aplicada en la Universidad Católica de Manizales, con el fin de mejorar el sistema de gestión ambiental de la Universidad.

5.1. 5.1. Capítulo I. Conceptos básicos y Normatividad Vigente sobre Huella Hídrica

Un estudio de Huella Hídrica puede emprenderse por muchas razones diferentes. Por ejemplo, una nación puede estar interesada en conocer su dependencia de recursos hídricos extranjeros o puede estar interesada en saber la sostenibilidad del uso del agua en las áreas donde los productos importados hacen uso intensivo del agua en su origen.

Una autoridad de cuenca hidrográfica puede estar interesada en saber cuál es el conjunto de Huellas Hídricas de las actividades humanas dentro de la cuenca que violan los requisitos de caudal ambiental o las normas de calidad del agua en cualquier momento. La autoridad de cuenca hidrográfica puede también querer conocer a que grado los recursos hídricos escasos en la cuenca son asignados para cultivos de exportación de bajo valor.

Una compañía puede estar interesada en saber su dependencia sobre los escasos recursos hídricos en su cadena de suministros o cómo puede contribuir a disminuir más los impactos sobre los sistemas de agua durante toda su cadena de suministros y dentro de sus propias operaciones.

La fase de cálculo de la Huella Hídrica es la fase en la cual los datos son reunidos y los cálculos son desarrollados. El alcance y nivel del detalle en los cálculos dependen de las decisiones tomadas en la fase previa. Después de la fase de cálculo está la fase de evaluación de sostenibilidad, en la que la Huella Hídrica es evaluada desde una perspectiva medioambiental, así como también desde una perspectiva social y económica.

Las definiciones que se encuentran a continuación fueron extraídas del Manual para la evaluación de la Huella Hídrica de la Water Footprint Network.

■ **Huella Hídrica (Huella Hídrica)**

La huella hídrica es un indicador del uso de agua dulce que hace referencia tanto al uso directo del agua de un consumidor o productor, como a su uso indirecto. La Huella Hí-

drica puede considerarse como un indicador integral de la apropiación de los recursos de agua dulce, ya que se utiliza para medir el volumen total de agua dulce usado para producir los bienes y servicios producidos por una empresa, o consumidos por un individuo o comunidad. El uso de agua se mide en el volumen de agua consumida a través de tres conceptos los cuales son Huella Hídrica azul, Huella Hídrica verde y Huella Hídrica gris, donde se establecen respectivamente el agua consumida, evapotranspirada o contaminada, como se observa en la Figura 3 (Waterfootprint, 2002, p.5).

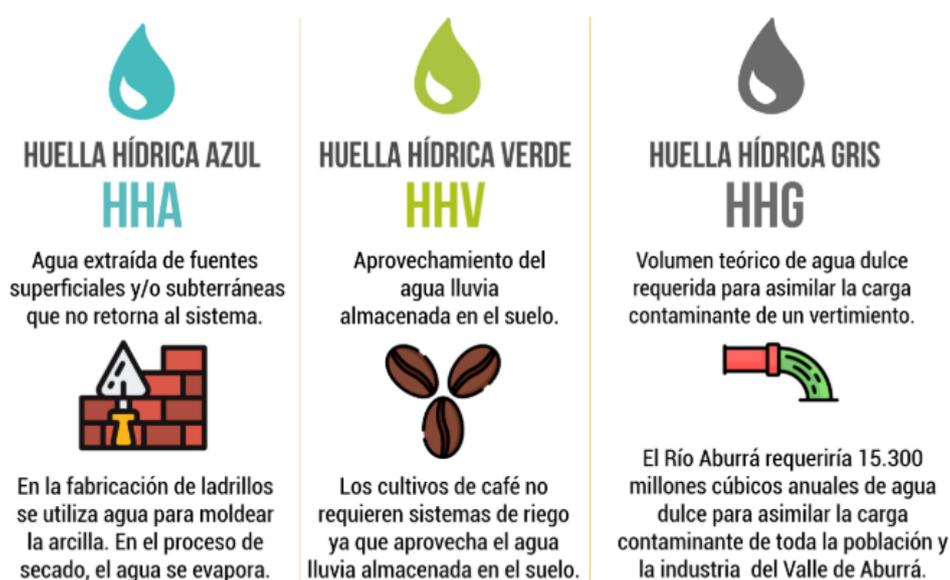


Fig. 3: Representación global de Huella Hídrica.
Información tomada de (Esfera Viva, 2017).

La huella hídrica evalúa tanto el uso de agua directo como lo es el agua que se utiliza para cocinar los alimentos, como el indirecto que va ligado al agua utilizada para producir dichos alimentos. La Huella Hídrica puede ser calculada para cualquier grupo definido de consumidores (por ejemplo, individuos, familias, pueblos, ciudades, provincias, estados o naciones) o productores (por ejemplo, entes públicos, empresas privadas o el sector económico) (Waterfootprint, 2002, p.5).

El concepto de la Huella Hídrica se presenta por primera vez por Hoekstra y Hung (2002); Wackernagel y Rees (1996); desde entonces ha sufrido una evolución y desarrollo continuo. Una de sus posibles aplicaciones según la ENA del 2014 es la implementación en cuencas hidrográficas, que se presenta como una oportunidad de complementar y en-

riquecer los análisis territoriales para la gestión del agua, con alcance local, regional o nacional (ENA, 2014, p.22).

■ **Huella Hídrica Azul**

Se refiere al consumo de los recursos hídricos azules (agua dulce), superficial o subterránea, en toda la cadena de producción de un producto. En cuanto al consumo se refiere a la pérdida de agua en cuerpos de agua disponibles en la superficie o en acuíferos subterráneos en el área de la cuenca. La pérdida ocurre cuando el agua se evapora, no regresa a la misma cuenca, es dispuesta al mar o se incorpora a un producto (Waterfootprint, 2002, p.5).

La Huella Hídrica azul tiene amplia aplicabilidad y puede ser medida en todos los ámbitos de consumo de individuos, naciones, productos, productores o consumidores, siendo esta el agua dulce incorporada a alguna actividad o producto que no se reincorpora a su fuente original.

■ **Huella Hídrica Gris**

Se define como el volumen teórico de agua dulce necesario para asimilar la carga contaminante vertida a un cuerpo receptor con base en las normas de calidad ambiental; y se entiende que contiene los valores necesarios para garantizar agua de buena calidad para el ambiente y para las personas (ENA, 2014, p.23).

El cálculo de Huella Hídrica tiene una alta aplicabilidad en industrias cuyos efluentes cuentan con vertimientos de alta carga contaminante como industrias textiles, metálicas, alimenticias, entre otras. Principalmente se tiene en cuenta parámetros y valores de caudal, temperatura, pH, DBO, DQO, SST, entre otros; esto depende de los residuos químicos y biológicos que se tengan en el efluente.

■ **Huella Hídrica Verde**

Se refiere al consumo de recursos de agua verdes (agua de lluvia que no se convierte en escorrentía sino que se incorpora en productos agrícolas) (Waterfootprint, 2002, p.5).

La Huella Hídrica verde hace referencia al agua almacenada en el suelo, y se cuantifica

mediante la estimación del agua evapotranspirada por la vegetación asociada a un proceso antrópico (cultivos) que no tiene como origen el agua de riego. La Huella Hídrica verde permite una aproximación numérica a la competencia del sector agropecuario y los ecosistemas naturales a causa de la ampliación de la frontera agropecuaria (ENA, 2014, p.22).

La aplicación de esta Huella presenta gran relevancia en el desarrollo de cultivos de consumo humano y desarrollo agrícola en general; de igual manera, es importante calcularla en producción pecuaria. En cuanto a productos industriales esto dependerá de la cadena de suministros que tengan procedencia de las anteriormente expuestas, principalmente productos alimenticios.

■ **Agua verde**

El concepto de agua verde significaba originalmente la humedad del suelo; fue presentado por primera vez en 1993 por la profesora Malin Falkenmark (FAO, 2000), con el propósito de dar señales y concientizar respecto al agua disponible para el crecimiento de la biomasa y su participación en la evapotranspiración. Más tarde, la FAO retomó el concepto primario y actualizó la definición del agua verde, considerándola como el flujo vertical de agua, es decir, agua almacenada en el suelo que soporta la vegetación en seco y que se mantiene en el suelo, pero que no hace parte del proceso de recarga a fuentes de agua superficial o subterránea.

El concepto de agua verde permite considerar los ecosistemas naturales como usuarios visibles del agua, sometidos a una competencia por el recurso hídrico que es cuantificable por este medio (ENA, 2014, p.22).

■ **Huella Hídrica Indirecta**

Se refiere al volumen de agua incorporada o contaminada en toda la cadena de producción de un producto (Waterfootprint, 2002, p.5).

Por ejemplo, en la producción de cerveza la Waterfootprint (2002) expone que

Durante el crecimiento del cultivo de cebada se consume y se contamina agua, que sería la Huella

Hídrica Indirecta de la producción de cerveza y en la producción de cerveza se consume y se contamina agua, que sería la HH Indirecta del producto terminado (p.5).

- **Huella Hídrica Directa**

Huella Hídrica directa o consumo directo de agua la cantidad de agua requerida únicamente en el proceso productivo, es decir, el agua que tradicionalmente se contabiliza. No obstante, la obtención de un producto, por lo general, implica la entrada de varias materias primas, productos intermedios y una serie de servicios en las distintas etapas del proceso productivo (Moratilla et al., 2010, p.23).

- **Agua virtual**

El concepto de “agua virtual” fue introducido por el profesor John Anthony Allan a principios de los años noventa (Allan, 1993), y hace referencia al volumen de agua requerida o contaminada para la producción de un producto o servicio, medida a lo largo de su cadena de suministro; de esta forma, si una nación exporta o importa un producto, se exporta o importa el agua virtual asociada a dicho producto. El contenido de agua virtual de un producto es equivalente a su Huella Hídrica en términos cuantitativos. No obstante, aunque el agua virtual solo se refiere al volumen de agua contenido virtualmente en el producto, la huella hídrica ofrece la posibilidad de un análisis multidimensional, que es espacial y temporalmente explícito, orientado a entender la interacción de las actividades antrópicas y la relación del agua con la cuenca (ENA, 2014, p.22).

- **Huella Hídrica interna de una región**

Se define como el volumen de agua anual utilizado de los Recursos Hídricos regionales para producir los bienes y servicios que dicha región consume (Moratilla et al., 2010, p.23).

- **Huella Hídrica externa de una región**

Se define como el volumen anual de Recursos Hídricos utilizados en otras regiones para producir bienes y servicios consumidos por los habitantes de dicha región (Moratilla et al., 2010, p.23).

■ Balance hídrico del uso directo de agua

El balance hídrico contempla las entradas y salidas, así como las pérdidas de agua del sistema en estudio (Waterfootprint, 2002, p.12).

La determinación del balance hídrico (ver Figura 4) es el paso más importante para el cálculo de la Huella Hídrica, que posteriormente se agregará para obtener el balance hídrico total de todo el sistema analizado. Se debe tener identificados los datos (volumen y concentración) de afluente y efluente, correspondientes a la unidad evaluada como se evidencia en el siguiente esquema. Además de identificar los procesos en que se consume agua así como aquellos en que se escurre, regresando a la cuenca sin ser contaminada (Waterfootprint, 2002, p.12).



Fig. 4: Balance hídrico del agua.
Información tomada de Waterfootprint (2002, p.12).

■ Uso y consumo de agua

En la evaluación de Huella Hídrica, el uso de agua se refiere al volumen de agua facturado y el consumo a la Huella Hídrica Azul (Waterfootprint, 2002, p.35).

■ WFN

La Water Footprint Network es una comunidad internacional y dinámica de aprendizaje que busca conectar las diversas comunidades interesadas en la sostenibilidad, la equidad y la eficiencia del uso del agua. La misión de la Water Footprint Network es promover la transición hacia el uso sostenible, equitativo y eficiente de los recursos de agua dulce en todo el mundo (Waterfootprint, 2002, p.4).

La Water Footprint Network lleva a cabo el mantenimiento y desarrollo de estándares (métodos, directrices y criterios) para la contabilidad de la Huella Hídrica, la evaluación del impacto de la Huella Hídrica y la reducción y compensación de los impactos negativos, también el desarrollo de herramientas prácticas para apoyar a las personas y organizaciones interesadas en la contabilidad de la Huella Hídrica, la evaluación del impacto y su reducción (Waterfootprint, 2002).

- **Afluente**

Volumen de agua que se usa para las actividades evaluadas (Waterfootprint, 2002, p.4). El afluente para realizar el cálculo de huella hídrica se expresa por ejemplo para un plantel como la unidad de volumen facturado de agua. En el caso de que el medidor de agua sea compartido, se debe distribuir este entre las unidades que lo comparten (Waterfootprint, 2002, p.13).

- **Efluente**

Volumen de agua contaminada y descargada al alcantarillado público o ríos, después de ser usada en actividades evaluadas (Waterfootprint, 2002, p.4).

Para el cálculo de Huella Hídrica el efluente, a diferencia del afluente, debe ser calculado en base a encuestas y especificaciones técnicas, ya que no se tiene un registro de efluente generado. En el caso de las actividades administrativas estos datos pueden ser estimados a partir de encuestas realizadas a los funcionarios sobre el uso de fuentes (inodoros, lavamanos, duchas) (Waterfootprint, 2002, p.13).

- **FAO:** Food and Agriculture Organization of the United Nations (Waterfootprint, 2002, p.4).

5.1.1. Marco normativo

Para el desarrollo de este trabajo de Huella Hídrica se tuvieron en cuenta algunas normas establecidas por los organismos de control Ambiental.

Inicialmente, se tiene la Ley 99 de diciembre de 1993, por la cual se creó el Ministerio de Medio Ambiente, con el fin de reordenar el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA), y se dictan otras disposiciones MINAMBIENTE (2010). Esta Ley presenta diversas notas de vigencia entre ellas se tiene como más reciente la creación del Instituto Colombiano de Desarrollo Rural (INCODER), y se determinó su estructura en 2003 Ley General Ambiental de Colombia (1999).

De acuerdo con el Decreto 1076 de 2015 actualizado el 6 de agosto de 2018 y que incorpora las modificaciones introducidas al Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiental y Desarrollo Sostenible a partir de esta fecha (Función Pública, 2018). Este Decreto entre sus artículos contempla el otorgar permisos autorizaciones ambientales para la utilización de los recursos renovables; realizar investigación de los recursos naturales con investigación básica y aplicada; protección y aprovechamiento de las aguas, entre otros.

Por otra parte, Arévalo et al. (2011) afirman para la gestión del recurso hídrico, en cuanto al marco jurídico se documentan en los siguientes documentos:

- Código de Recursos Naturales Renovables estipulado en el Decreto Ley de 2811/74, del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de 2014, para prevenir, solucionar los problemas ambientales y la regulación de los recursos naturales renovables (Negrete et al., 2014).
- La Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico publicado y que tiene como objetivos a desarrollar para un periodo de doce años (2010 – 2022). En estos doce años de propuesta se desea cumplir determinadas líneas de acción a corto plazo (2014), medio plazo (2018) y largo plazo (2022), de esta manera se busca garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico, la conservación de los ecosistemas que regulan la oferta de

agua y tener en cuenta la oferta, demanda, calidad, riesgo, fortalecimiento institucional y la gobernabilidad para la gestión del recurso hídrico (Sostenible, 2010).

- El Decreto 1090 de junio de 2018, “*Por el cual se adiciona el Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en el Programa para el Uso Eficiente y Ahorro de Agua y se dictan otras disposiciones*” Murillo (2018).
- También hay autores como Arévalo et al. (2011) que resaltan que

En las Políticas Ambientales: Biodiversidad, Humedales, Páramos, Espacios Oceánicos y Zonas Costeras, Producción Más Limpia, Residuos Sólidos, Gestión Ambiental Urbana, Salud Ambiental. Políticas Sectoriales: Agua Potable y Saneamiento, Agropecuario, Energía, Transporte, Industrial, entre otros. Esta políticas son complemento referente al marco jurídico general, que fue formulado y publicado en el 2010, por parte del Grupo de Recurso Hídrico del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, la Política Nacional de Gestión Integral de Recursos Hídricos, planteada como instrumento orientador de la gestión integral del agua (p.105).

Actualmente el concepto de Huella Hídrica no ha sido incluido en documentos de política a nivel nacional en Colombia, no obstante, se ha manifestado interés en conocer los resultados de los primeros estudios nacionales por parte del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, IDEAM, Corporaciones Autónomas Regionales, entre otros; de forma que el concepto pueda ser incorporado como herramienta de política en el futuro próximo (IDEAM, 2013, p. 106).

5.2. Capítulo II. Huella Hídrica Internacional

En el presente capítulo, se analiza el cálculo de Huella Hídrica teniendo en cuenta diferentes estudios realizados en el contexto internacional, abordando temáticas en diferentes sectores como: sector agrícola, industrial, turístico y urbano. Adicionalmente, se contemplan conceptos como la Huella virtual enfocada a la importación y exportación de productos, sostenibilidad y sustentabilidad del recurso hídrico en diferentes entes territoriales y su relación con la creación de políticas y mejoras en los procesos productivos tanto de bienes como servicios.

Se plantea una jerarquía en el mejoramiento de acciones que contribuyan al uso eficiente del recurso hídrico. Con este fin, se tomó como principal foco de interés países en donde se realizan diversos estudios sobre Huella Hídrica e implementan estrategias en pro de la conservación del mismo.

Inicialmente, Ercin et al. (2011), afirmaron que la *“Huella Hídrica (Huella Hídrica) es un indicador del consumo y contaminación de agua dulce, que contempla las dimensiones directa e indirecta”*. Este concepto introducido en 2002 por el Dr. Arjen Hoekstra, ha sido desde entonces de gran referencia en la literatura. Inicialmente, la Huella Hídrica contemplaba dimensiones directa e indirecta, también llamada *“Huella Hídrica directa”* y *“Huella Hídrica indirecta”* descritas de la siguiente manera:

La Huella Hídrica directa se define como el consumo y la contaminación de agua dulce que realizan tanto consumidores como productores (Olcina y Sotelo, 2013, p.4). Y la Huella Hídrica indirecta de un consumidor o productor se define como el consumo de agua dulce y la contaminación que está detrás de los productos que son, consumidos o producidos. Así, pues, se considera que es igual a la suma de la Huella Hídrica de todos los productos consumidos por el consumidor o de todos los insumos (no hídricos) utilizados por el productor (Olcina y Sotelo, 2013, p.4).

Atzori et al. (2019) manifiestan la preocupación sobre el pronóstico del aumento en la población mundial y que esto traerá como consecuencia que se requiera mayor cantidad de alimentos y

en consecuencia, un aumento considerable en el consumo de los recursos hídricos. En ese caso, es necesario tomar decisiones para mejorar la eficiencia del recurso hídrico. Como una posible solución de fuentes alternativas, se ha buscado el agua de mar como una de ellas, ya sea desmineralizada o mezclada con agua dulce. Atzori et al. (2019) compararon la Huella Hídrica en cultivos de achioria en diferentes medios como el convencional sin suelo en agua dulce (hidroponía azul), cultivo con suelo convencional en macetas y cielo abierto y mezclas de agua en un sistema sin suelo con 10% del agua de mar (hidroponía marina) y potes irrigados con un 10% de agua de mar. En los resultados se observó una reducción significativa en Huella Hídrica en sistemas hidropónicos azules e hidropónicos marinos con valores de 64% y 75% respectivamente. Así mismo, los autores manifiestan que, pese a que los resultados son poco eficientes en producción de biomasa, un uso controlado del agua de mar en un cultivo sin suelo puede reducir la extracción de agua dulce dedicada al cultivo de alimentos, pues se encontró en los resultados que hay mayor tolerancia a la sal en condiciones hidropónicas.

Por otra parte, Bazrafshan et al. (2018) realizaron estudios de la Huella Hídrica sobre la producción de azafrán en Irán durante los años de 2008 – 2014. Esta investigación se realizó en cultivos de azafrán; ya que, es uno de los productos importantes a parte del petróleo, además, los cultivos son en casi su totalidad en suelos áridos y semiáridos. Este estudio nace como una necesidad debido a la escases de agua en la región. Los resultados mostraron que la Huella Hídrica verde es muy baja, por el contrario, el Huella Hídrica azul más la Huella Hídrica blanca es muy alta. Para esto se tuvo en cuenta las variedades con bajo requerimiento de agua y la adaptación a los períodos húmedos puede ser muy útil para extender el cultivo en regiones con suficiente precipitación, especialmente en las temporadas de cultivo, lo que puede llevar a una estrategia sostenible en un país con escasez de agua.

En China, Liao et al. (2019) manifiestan que el acceso a energía limpia y asequible se incluye como uno de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de acuerdo como lo reportan las Naciones Unidas en 2015. Los autores, describen modelos, datos y hallazgos a partir de la cantidad de Huella Hídrica de la demanda de energía final en los dos megalópolis en 2010.

Finalmente, concluyen y analizan las implicaciones sociales, económicas y políticas de nuestro estudio. En los resultados de este estudio, destacan que mediante el método MRIO Ambiental Extendido, la Huella Hídrica del sector energético de las ciudades de Jing-Jin-Ji y Delta del Yangtze generan un gran consumo energético, por lo que la Huella Hídrica correspondiente al autoabastecimiento con dependencia externa; por ejemplo, cerca del 75 % del nexo agua-energía de Jing-Jin-Ji está más allá de límite de la región y la región de Delta del Yangtze requiere mucha más agua para su demanda final energética. Una solución a esto es, el de emplear agua externa e importar productos de uso intensivo de agua, que es una forma eficaz de aliviar el estrés hídrico en regiones con escasez de agua sin comprometer la demanda final de diversos productos como la energía (ver Figura 5). Sin embargo, se debe tener en cuenta que dado que las regiones exportadoras a menudo son abundantes en agua y tienden a adoptar tecnologías menos eficientes en el uso del agua, las actividades comerciales de productos intensivos en agua pueden aumentar la huella Hídrica a escala nacional de acuerdo como lo expresa Feng y Chen (2016).

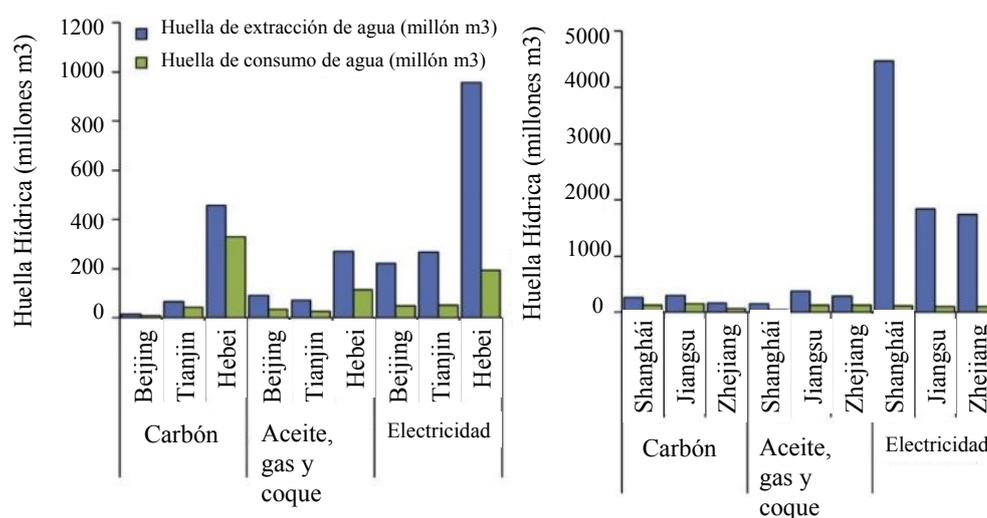


Fig. 5: Demanda final de la Huella Hídrica en Jing-Jin (izquierda) y Yangtze. Información tomada de Liao et al. (2019).

En ese sentido, Karandish et al. (2018) formularon puntos de referencia de la Huella Hídrica en la producción de cultivos y la identificación de niveles del consumo de agua y contaminación por tonelada de cultivos, como estrategia para contrarrestar el uso ineficiente del agua. Para ellos determinaron los niveles de referencia de la Huella Hídrica para el clima tanto en la Huella Hídrica azul como para la gris; seguidamente, estimaron el potencial del ahorro del agua para el ahorro del agua, así como el potencial para reducir la Huella Hídrica gris y finalmente se comparó las productividades económicas medias de agua de la producción de cultivos en el pasado con las productividades actuales, encontrando que las aguas subterráneas comprenden hasta el 83 % del consumo total de agua azul de los cultivos de regadío, con la mayor proporción en áreas áridas y en cereales. La reducción de la Huella Hídrica de los cultivos en niveles de referencia puede ahorrar cerca del 32 % del agua subterránea en comparación con el año actual, así mismo, reducir la huella de agua gris subterránea relacionada en un 23 %.

Como se observa los anteriores autores, reportan que la Huella Hídrica es de relativa importancia en el sector de los alimentos, no obstante, hay otro campos que también son de interés como en los municipios, industrias manufactureras, entre otros (Vanham y Bidoglio, 2013). Vanham y Bidoglio (2013) presentó la contabilidad de la Huella Hídrica para la Unión Europea en cuanto a producción de productos agrícolas en términos de cantidad producida, consumida o cantidad de Huella Hídrica y el contenido de agua virtual. Entre los que mayor consumo representa son la carne y los aceites vegetales, sin embargo, los autores manifiestan que pese al elevado consumo agua virtual en el caso de la producción de trigo y papas, este es menor en comparación con el resto del mundo.

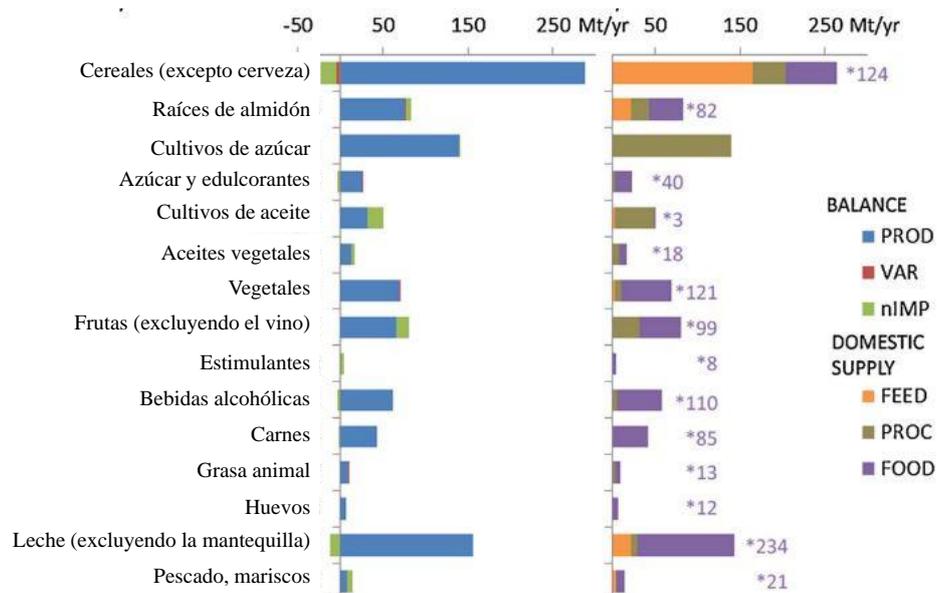


Fig. 6: Producción agrícola y consumo de grupos de productos en la Unión Europea para el periodo de 1996 a 2005.

Información tomada de (Vanham y Bidoglio, 2013, p.68)

De los países que han reportado estudios de Huella Hídrica, se destaca España que cuenta con más estudios encaminados a este tipo de investigaciones. De acuerdo con Chapagain y Hoekstra (2004), la Huella hidrológica global media es de $1240\text{ m}^3/\text{cápita}$ y año y países de sur de Europa como como España y Portugal con 2325 y $2264\text{ m}^3/\text{cápita}$ y año respectivamente, poseen casi la mayor Huella hidrológica mundial tras EEUU con $2480\text{ m}^3/\text{cápita}$ y año).

Estas comparaciones le permiten a cada país implementar estrategias y proponer alternativas que permitan implementar indicadores como el cálculo de la Huella Hídrica. Con base a esto, cada país es autónomo y direcciona cada investigación a diferentes problemáticas y temas de interés global; al ser el agua uno de los temas más destacados surge la necesidad de conocer el consumo local, es decir, conocer la oferta y la demanda de cada territorio con el fin de identificar los bienes y servicios de cada país, que va asociado al consumo de la población y la exportación de los productos a otros lugares del mundo.

De igual manera, es importante mencionar que el sector agrícola es uno de los factores más preocupantes en cuanto al consumo del recurso hídrico; ya que, la utilización de este para el regadío de cultivos es significativa; pues depende en gran medida de las estaciones y la evaluación de los procesos evapotranspirativos de los cultivos que se presentan en España. Sin

embargo, para estimar la demanda evapotranspirativa de distintas cosechas, teniendo en cuenta las diferentes estaciones suele ser el modelo CROPWAT (Hoekstra y Mekonnen, 2011; Smith et al., 2002), que es uno de los métodos más empleados hoy en día. Este método es de gran utilidad, pero es solo una primera aproximación, ya que, asume que las necesidades Hídricas de los cultivos se satisfacen completamente, lo cual no ocurre con frecuencia en países áridos o semiáridos, como es el case de España. En otras palabras, la demanda evapotranspirativa calculada suele ser mayor que la real; en cambio la producción en toneladas por hectárea es menor de la supuesta (Ercin et al., 2011).

Según datos reportados por Chapagain y Hoekstra (2004) en España las cosechas en términos hidrológicos, suponen un consumo de recursos hídricos azules y verdes españoles de 50,000 Mm³/año (Chapagain y Hoekstra, 2004; Tolón et al., 2013) , mientras que el consumo de agua azul para la producción animal, considerando los servicios de agua exclusivamente, supone unos 259 Mm³/año (MIMAN, 2007). Adicionalmente, a esta última cifra habría que sumarle el agua virtual contenida en las cosechas utilizadas para alimentar el ganado. Por otra parte, el abastecimiento urbano representa solo el 5 % del agua que se utiliza (unos 5 km³/año, con un valor de 4,200 millones de euros y el sector industrial el 15 % restante (de estos algo más de la mitad corresponden a importaciones, es decir, es agua virtual importada) (MIMAN, 2007; Tolón et al., 2013) .

Es significativo tener en cuenta que España importa en total 45 km³ /año y exporta 31 km³/Es significativo tener en cuenta que España importa en total 45 km³ /año y exporta 31 km³/año, es decir, resulta un balance negativo de 14 km³/año. En España se utilizan algo más de 17 km³/año para producir productos agrícolas que se exportan, es decir, no constituyen una necesidad estricta alimenticia, aunque si tienen una notable importancia en la economía nacional. El agua virtual correspondiente a los alimentos importados es del orden de 27 km³/año, es decir, superior al agua virtual exportada por el mismo concepto. Ahora bien, es muy probable que el valor económico de los productos agrícolas exportados tales como cítricos, hortalizas, aceite de oliva, entre otros, sea superior al de los productos agrícolas importados (soja, maíz, entre otros.) (MIMAN, 2007).

Como bien sabemos, tras varios estudios sobre la oferta y demanda del recurso hídrico se dice que el agua existente en el planeta puede cubrir en su totalidad la extensión de tierra habitada por los humanos, es decir el agua disponible puede abastecer a la población. Pero la invitación que sugieren estos mismos estudios es proponer diversas alternativas que permitan reducir o minimizar todos los impactos negativos ocasionados al recurso hídrico y esto se puede lograr a partir de la cuantificación del consumo promedio de los habitantes, balances de materia, indicadores de consumo y entre otros ítems importantes para crear conciencia y responsabilidad a cerca de la importancia de este recurso. De esta forma se estará logrando vivir en un país sostenible en el tiempo.

De acuerdo a lo reportado por Maite Aldaya et al. (2008), España se evidencia y se realiza una comparación específica con otros países competitivos en la producción de alimentos tales como la manzana y el kiwi a bajo coste, en Chile y Nueva Zelanda, por tal motivo unos de los factores a tener en cuenta es el costo del transporte, clima, suelos y la comercialización como tal y no precisamente se refiere a que España presenta falencias en el recurso hídrico para producir esta fruta, sino que le representa un ahorro económico y por ende hídrico.

En el caso de los cultivos principales como el maíz, cereales y demás alimentos básicos es importante reconocer que es mejor transportar mil toneladas de trigo que transportar los millones de metros cúbicos requeridos para producir el trigo, por esto el reconocimiento y utilidad que tiene el comercio de agua virtual y Huella ecológica es lo que permite entender los intereses no solo a nivel social y económico sino ambiental (Ercin et al., 2011).

5.2.1. Sur América

En la región de Sur América también resaltan algunos estudios los cuales son de importancia en esta investigación; por ejemplo: Vázquez y Buenfil (2012) visualizaron patrones y tendencias del uso del agua que no son muy tomados en cuenta referentes a los flujos del comercio en agua virtual. De igual manera, destacan como Brasil y Argentina son los mayores exportadores de agua en Sur América. Finalmente, los autores proponen que el principal reto para reducir,

se puede enfocar en los hábitos de estudio referente al consumo, permitiendo de esta manera, la utilización más eficiente del agua en países como Brasil, Bolivia, Ecuador, Uruguay y Paraguay. Por otra parte, Rendón (2015) manifestó que en Perú aunque el término de Huella Hídrica es nuevo, en el año 2012 gracias a la intervención del país Sueco por medio de una cooperativa (COSUDE), que lleva 50 años trabajando en el desarrollo local y que su principal iniciativa en cuanto al recurso hídrico mediante un proyecto llamado SuizAgua Andina que consiste en la creación de una norma ISO para este recurso, con el fin de darle una adecuada gestión ambiental a está en países como Perú y Chile. Con la implementación de estas normas ISO en las entidades u organizaciones se pueden crear y adaptar nuevas alternativas y herramientas tecnológicas que permitan competir con nuevas organizaciones e invertir en estas asegurando una tasa de retorno a corto, mediano o largo plazo.

Durante el año 2012 y 2013 se realizaron diversos estudios en Perú como el seminario internacional de Huella Hídrica con la colaboración de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), la Huella Hídrica del esparrago y la Huella Hídrica del arroz, campaña de sensibilización sobre la Huella Hídrica en la ciudad de Arequipa, Taller de Fortalecimiento Profesional en Gestión Integrada de Recursos Hídricos, organizado por el Centro de Investigación en Geografía Aplicada (CIGA) de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), en donde también hubo colaboración del ANA y del Global Water Partnership. Todos estos estudios, campañas y talleres tuvieron como finalidad realizar grandes aportes de la estimación de la Huella para disminuirla y proponer el eficiente uso y ahorro de tan importante recurso (Ortiz y Sánchez, 2013).

En las zonas áridas o semiáridas, es decir ambientes que son muy secos en donde el recurso hídrico no es abundante como lo es Guanacaste Costa Rica, se presentan problemáticas y afectaciones por los consumos de agua relacionados con el turismo de sol y playa, en donde trae implicaciones de carácter social, ambiental y económico y por ende es recomendable hacer uso de políticas públicas para una adecuada gestión ambiental (Hernández y Picón, 2013).

Con base en la disponibilidad, uso, demanda, ordenamiento y gestión del recurso hídrico se deben orientar las actuaciones relacionadas al turismo de sol y playa y restablecer las costumbres del turista que en su visión está el derrochar, es decir, consumir más de lo que se puede y

guiarlas por los escenarios naturales y sociales de la región ya que la satisfacción de estos no radica en sobrepasar el bienestar de los habitantes locales generándoles impactos posteriores como escasez de agua y problemas de contaminación atmosférica.

El estudio de la Huella Hídrica en distintos países permite aportar valores y datos importantes con el fin de analizar las falencias y decadencias del recurso hídrico, es decir esclarecer los mitos a cerca de la escasez de agua con el fin de cambiar la visión que se tiene sobre la seguridad alimentaria y la Huella Hídrica y poner en marcha una buena gestión del agua para optimizar los procesos y reducir el consumo a partir de regadíos inteligentes, utilización de agua superficial y subterránea en cultivos de alta demanda y valor económico, sistemas de recirculación y nuevos métodos para evitar o controlar la evapotranspiración de las cosechas.

En la Figura 7 se puede observar los valores de la Huella Hídrica por países. De allí se desprende que existen países con alta Huella Hídrica por habitante, como Estados Unidos, que cuenta con $2482\text{ m}^3/\text{hab}/\text{año}$, mientras que, en contraste, Botswana es uno de los países con la Huella Hídrica más pequeña con $622\text{ m}^3/\text{hab}/\text{año}$ (Chapagain y Hoekstra, 2004).



Fig. 7: Huella Hídrica por habitante promedio $\text{m}^3/\text{hab}/\text{año}$.
Información tomada de (Chapagain y Hoekstra, 2004).
Adaptación: por el autor

Entre 1996 – 2005 la Huella promedio global anual fue de $9,087\text{ Gm}^3/\text{año}$. De este valor global, el 92 % correspondió a la producción agrícola, 4,4 % a la producción industrial y 3,6 % al uso doméstico. El 74 % de lo consumido correspondió a la Huella Hídrica verde, 11 % a la Huella Hídrica azul y 15 % a la Huella Hídrica gris (Chapagain y Hoekstra, 2004).

El la Figura 8 muestra los volúmenes de la Huella Hídrica por países y principales productos.

En la Figura 9 se evidencia la Huella Hídrica de los principales productos que acogen la canasta familiar en diferentes países desde los años 1996 a 2005, dentro de los cuales se encuentran cereales, cultivos oleaginosas, carne, productos industriales, suministros de agua doméstica y otros. Donde el país que mayor Huella Hídrica de estos productos es Nigeria y el menor República Democrática del Congo. El mayor consumidor de productos industriales es Bolivia seguido de estados unidos donde de igual manera presenta ser el mayor consumidor de carne y cereales, el de agua doméstica es Nigeria y otros Portugal.

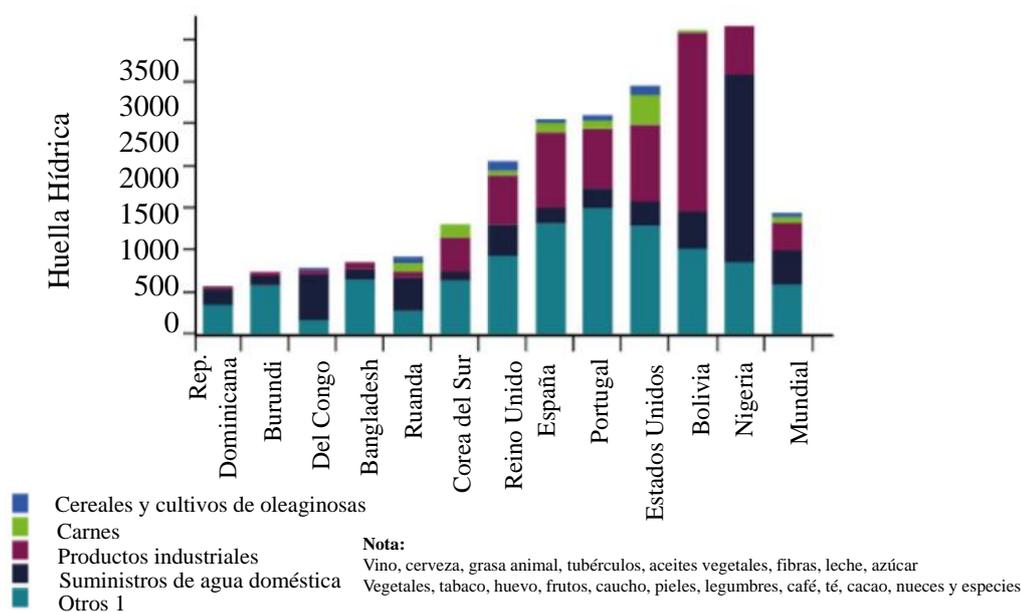


Fig. 8: Huella Hídrica por país y categoría de productos (1996-2005).
Información tomada de (Chapagain y Hoekstra, 2004).

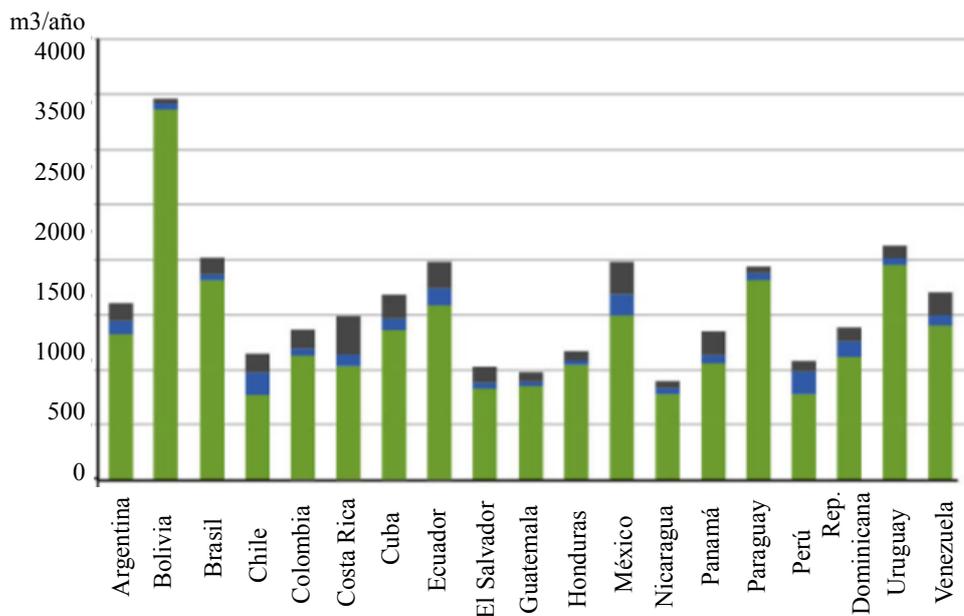


Fig. 9: Huella Hídrica en América del Sur.
 Información tomada de (Vázquez y Buenfil, 2012).
 Adaptación: por el autor

En cuanto a la Huella Hídrica en América del Sur el país con mayor Huella Hídrica al igual que en la gráfica anterior es Bolivia, seguido de Uruguay y Brasil y la menor Nicaragua.

Por último, Llerena (2011) manifestó en la investigación en Ambato (Ecuador) de la importancia de implementar políticas en función del cuidado de los recursos hídricos. Esto debido a que el ser humano tiende a destruir el medio ambiente. Como se aprecia en los anteriores estudios, la evolución en la evaluación de la Huella Hídrica en la investigación en los últimos años, se ha enfocado en la dimensión global sobre la gestión del agua; ya que, los productos que tienen un considerable consumo de agua suelen ser objeto del comercio internacional, lo que conlleva a que se debe realizar el estudio del comercio virtual del agua y los efectos de los países que externalizan su Huella Hídrica; de igual manera Hoekstra (2017) manifiesta que las tasas de renovación de agua dulce son limitadas, por lo que debemos estudiar el desarrollo de los patrones de consumo, producción y comercio en relación con limitaciones y por último menciona un enfoque integral que requiere la consideración del consumo de agua azul, el enfoque tradicional en la gestión del agua, y el análisis de la contaminación del agua en el mismo marco analítico.

A continuación abordaremos la temática de Huella Hídrica nacional donde se tendrán en cuenta casos de estudio en Colombia, teniendo como eje focal casos de estudio enfocados a la agricultura, siendo esta actividad que presenta mayor impacto en esta área a nivel nacional.

5.3. Capítulo III. Huella Hídrica Nacional

En este capítulo del documento se aborda el tema de Huella Hídrica teniendo en cuenta estudios realizados a nivel nacional, teniendo en cuenta su estudio en diferentes sectores, a nivel regional y casos de estudio puntuales y su eficiencia en la interacción de mejoras para la optimización de procesos y efectividad como herramienta de educación ambiental.

5.3.1. Contexto nacional

Colombia tiene una superficie total de 1'141,748 km²; es el tercer país más grande de América del Sur, ocupa el séptimo puesto como uno de los países con mayor disponibilidad de recursos Hídricos renovables. Así mismo, Colombia pese a tener grandes riquezas en cuanto a recursos hídricos, no cuenta con un gran número de estudios en este caso.

En los últimos años se han ejecutado varias investigaciones sobre el cálculo, desarrollo de herramientas calcular, beneficios y ventajas de la huella Hídrica a nivel nacional. A continuación, algunas investigaciones desarrolladas a nivel nacional son presentadas. Vale la pena resaltar que la FAO ofrece un software para la determinación de la huella Hídrica de un proceso. El software es CROPWAT y, según los reportes, ha sido bien recibido por la comunidad nacional.

García y Toro (2013) presentaron un análisis de la huella Hídrica de un barrio de la ciudad de Bogotá. Tuvieron en cuenta el sector comercial, las viviendas unifamiliares y multifamiliares. Midieron cantidad de agua azul, agua verde y agua gris. La principal fuente de recolección de datos útiles para la determinación de la huella Hídrica fue la encuesta. Y los resultados ofrecieron información del mal uso del recurso agua. Recomendando al final más apoyo del gobierno, más investigación sobre este indicador y programas que incentiven el buen uso del recurso.

En 2018 Sánchez y colaboradores sobre el diseño de una herramienta virtual o software para calcular la huella Hídrica durante la producción de café en municipios del sur de Huila: Acevedo, San Agustín, Isnos y Pitalito. La experiencia utiliza la experiencia de los cafeteros como fuente de información y datos del recurso agua usado en la producción de café. Finalizaron la

investigación con el diseño de una aplicación montada sobre la red, por lo tanto de licencia libre, con el fin de que los cafeteros del sur del Huila cuenten con una herramienta que facilite su toma de decisiones sobre la manera de trabajar el recurso hídrico sobre el cultivo (Sánchez et al., 2018).

Cruz (2017); Lozano y Cortéz (2016) usaron el software CROPWAT con el fin de determinar el indicador huella Hídrica. El primero, enfoco sus esfuerzos para obtener el indicador de la producción de Tomate en el municipio de Fómeque del departamento de Cundinamarca; la fuente de datos para la determinación fue el IDEAM; los resultados arrojan que el agua gris es la más usada debido a la implementación de fertilizantes e insumos agrícolas para combatir plagas, enfermedades y aumentar el rendimiento de producción; sin embargo, a nivel nacional el agua más consumida es la verde debido al uso de aguas lluvias (Cruz, 2017). El segundo, determina la huella Hídrica del cultivo de arroz de una finca ubicada en el municipio del Espinal del departamento del Tolima, determinando que en el cultivo de esa finca se consumen 923,92 m³ de agua por hectárea cultivada. Lo anterior indicó, dato para resaltar, que el agua consumida está por debajo del consumo promedio de otros lugares, además, sugieren que con un Sistema de Gestión bien organizado el consumo de agua puede disminuir (Lozano y Cortéz, 2016).

Prias (2015) comparó la huella Hídrica para producción de tomate cultivado a campo abierto y en invernadero. Los lugares analizados fueron provincia de Alto Ricaurte (Boyacá) y provincia de Guanenta (Santander). Los datos necesarios para cuantificar la huella Hídrica fueron extraídos de los inventarios y registros del cultivo. Determinaron que a campo abierto se consumen 17411,6 m³ por cada tonelada de tomate producida y 1207,4 m³ de agua por cada tonelada producida en invernadero. Lo anterior debido a que en invernadero los recursos son mucho mejor controlados. Proponen mejorar la gestión del recurso agua.

Uribe (2014) determinó la huella Hídrica de la central hidroeléctrica Miel I de Isagen S.A. ESP., ubicada en el municipio de Norcasia dentro del departamento de Caldas y es surtida de agua principalmente por el río Cauca y Magdalena. La huella Hídrica azul se calculó en 2011,

2012 y 2013 y posteriormente se totalizó el valor para cada año obteniendo así que fueron 1,188 m³/GJ, 2,137 m³/GJ y 1,847 m³/GJ respectivamente; para el cálculo se empleó los resultados de evaporación. Se determinó también que esta central no afecta la disponibilidad de agua, ni por cantidad ni por calidad, en la cuenca del río La Miel, indicando que la central tiene un impacto positivo sobre el tramo analizado de la cuenca del río La Miel.

Delgado et al. (2013) ejecutaron un plan educativo sobre huella Hídrica de algunos productos alimenticios a 35 líderes comunitarios de varios corregimientos del municipio de Villavencio en el departamento del Meta, para lo cual, se determinó la huella Hídrica de productos alimenticios de la ciudad de Bogotá DC. A partir de este cálculo, los líderes se percatan del mal consumo de agua, lo que generó en ellos un sentido de responsabilidad para transmitir lo aprendido a los pobladores de sus veredas para apropiarse con responsabilidad sobre la gestión del recurso hídrico.

Castillo et al. (2018) muestran la cuantificación de la huella Hídrica de la ciudad de Bogotá en los sectores: doméstico, industrial, agrícola y disposición de residuos sólidos. Este ejercicio reflejó las deficiencias que tienen las entidades administrativas y entes de control para monitorear las actividades poblacionales para manejar el recurso agua. Además, se determinó un indicador de huella Hídrica total, en otras palabras, la huella Hídrica doméstica, industrial, agrícola y de disposición de residuos sólidos es de 9489,58 millones de m³, de los cuales, 4555,14 millones de m³ son del sector agrícola; sector con mayor requerimiento de agua para su desempeño. Concluyen que el consumo de agua en la ciudad de Bogotá no es sostenible y que se precisan planes de gestión para el recurso agua en todas las dimensiones de la sociedad..

Finalmente, Ercin et al. (2011) reportaron la problemática en los ingredientes de cafeína, los cuales se emplean en baja cantidad; sin embargo, la Huella Hídrica es considerablemente alta (53 L por botella). Adicionalmente, manifiestan que los dos problemas principales existen en Colombia debido al cultivo de café: son la pérdida de especies de aves y erosión del suelo. Finalmente, La contaminación de los recursos hídricos superficiales y subterráneos re-

sultantes del uso de fertilizantes es un problema ambiental importante debido al cultivo de café.

Las metodologías, indicadores y principios usados para determinar la Huella Hídrica aún están en constante evolución, debido a que, aun presenta deficiencia para tener en cuenta la disponibilidad de agua y su escasez. Aunque, vale la pena resaltar que el simple hecho de definir el concepto de Huella Hídrica ha sido un importante paso para incentivar el manejo del recurso hídrico. Lo anterior se demuestra en los estudios sobre Huella Hídrica realizados en Colombia, los cuales reflejan el apoyo e interés por poner en marcha este indicador para realizar una buena gestión del recurso agua para ir en pro de los objetivos de desarrollo sostenible. Además, para dicha gestión es indispensable tener en cuenta que el sector agrícola es el campo productivo en el país que genera mayor presión sobre las fuentes de agua y que hacia esa línea se deben generar los desarrollos de Huella Hídrica a nivel nacional.

El estudio nacional de Agua en su versión 2010 establece que la oferta hídrica en el 2010 (IDEAM, 2013), la oferta Hídrica de Colombia en año medio asciende a 2,300 km³/año, la cual está distribuida según la zonificación hidrográfica en Colombia en tres niveles.

- Primer nivel: 5 Áreas Hidrográficas.
- Segundo nivel: 41 Zonas Hidrográficas.
- Tercer nivel: 309 Subzonas Hidrográficas.

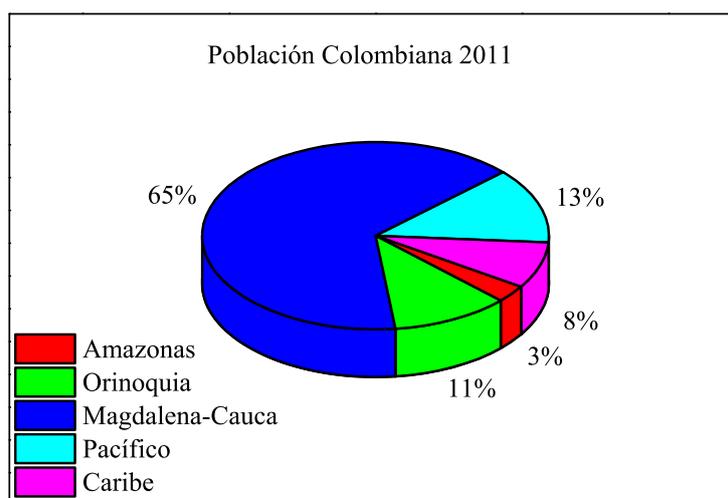
La demanda asociada a la distribución geográfica de la población en Colombia, no coincide con la disponibilidad de recursos hídricos; por lo anterior, se puede ver en la Tabla 2 como existe una mayor demanda en el área hidrográfica de Magdalena – Cauca, donde se encuentran asentados la mayor parte de los colombianos, la cual no cuenta con la mayor disponibilidad de agua; mientras las zonas de la Amazonia y Orinoquia, donde se concentra la mayor disponibilidad de agua del país, cuenta con una población de apenas cerca del 10% de la población nacional (Arévalo et al., 2011).

Tab. 2: Disponibilidad Hídrica y población por Área Hidrográfica en Colombia.

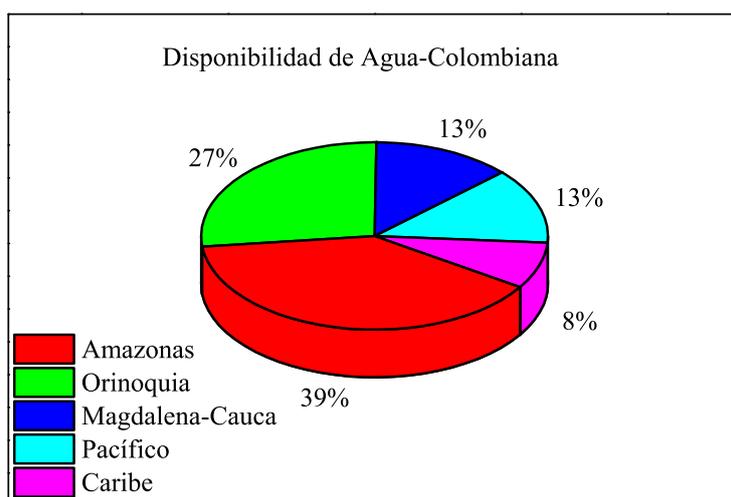
Área Hidrográfica	Población Colombiana 2011 (×1000 <i>hab</i>)	Disponibilidad Hídrica Colombia (<i>Km</i>³/<i>año</i>)
Amazonas	1,153	893
Orinoquia	4,848	616
Magdalena	30,464	303
Pacífico	5,941	297
Caribe	3,564	190
TOTAL	45,971	2,299

Información tomada de Arévalo et al. (2011).

En cuanto a los diferentes sectores y su implicación asociada al consumo de agua, se ha tomado como base la información contenida en el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) – Abril de 2010, la cual permite tener una primera aproximación a los sectores de la economía en términos del análisis del consumo del recurso hídrico; resultados que ratifican al sector agrícola como principal consumidor de agua en Colombia (ver Figura 10) (Arévalo et al., 2011).



(a)



(b)

Fig. 10: Distribución poblacional de Colombia por Área Hidrográfica, a) población Colombia 2011 y b) disponibilidad de agua Colombia.

Información tomada de (Arévalo et al., 2011).

Según el Estudio nacional de Huella Hídrica Colombia Sector Agrícola en el 2011 reportado por Arévalo et al. (2011). En los resultados de este estudio se logró apreciar que los cultivos de café contienen un alto peso en la Huella Hídrica en comparación a otros cultivos, esto posiciona al café como el cultivo más importante del Colombia en términos de Huella Hídrica. Sin embargo, importante hacer un análisis detallado por componentes de los seis primeros productos, los cuales suman las tres cuartas partes de la Huella Hídrica total de la producción agrícola

nacional en el año de estudio. En cuanto a la Huella Hídrica Verde, la participación del café prevalece, lo cual se explica que por ser el principal cultivo agrícola, y el mayor en consumo de agua asociada a la precipitación por la gran disgregación del área cultivada de café en el territorio nacional. Así mismo, es de resaltar que sólo cuatro cultivos: café, plátano, maíz y caña de azúcar sumaron más del 50% de la Huella Hídrica verde de la producción agrícola en el año de estudio (Arévalo et al., 2011, p.109).

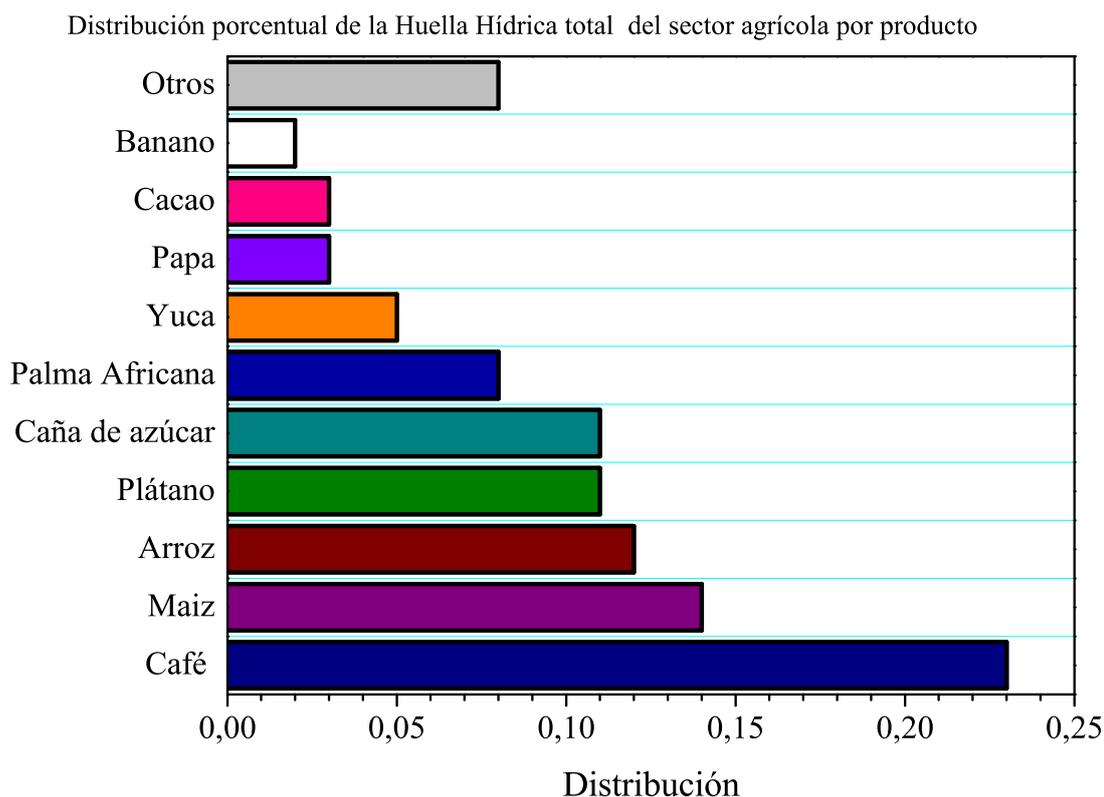


Fig. 11: Distribución porcentual de la Huella Hídrica Total del sector agrícola de Colombia por producto.

Información tomada de Arévalo et al. (2011)

Adaptación: por el autor

Como se planteó anteriormente el sector agrícola en Colombia acoge una alta demanda del recurso hídrico; pero la atención de medición de Huella Hídrica también se presenta en organizaciones o entidades como herramienta para la educación ambiental enfocada a la gestión del recurso hídrico; este caso de estudio se llevó a cabo en comunidades rurales de Villavicencio donde de acuerdo a la importancia del recurso hídrico y el inadecuado manejo del mismo, se propició una conciencia más solidaria tanto para el recurso, como para el cuidado del medio

ambiente en general, buscando alternativas sostenibles y eficientes para el manejo de este.

Delgado et al. (2013) afirmaron que a partir del concepto de Huella Hídrica propuesto por Hoekstra y Hung (2002), se permitió la estimación de agua necesaria para la producción de bienes y servicios, adicionalmente, se plantearon talleres participativos con la comunidad rural de Villavicencio. Esto con el fin de generar cambios de percepción sobre el uso del agua por medio del cálculo de la Huella Hídrica para consumo de alimentos y proporcione conciencia ciudadana para genera cambios en la relación del hombre con la naturaleza y la sociedad. Este trabajo se llevó a cabo bajo la metodología de la investigación acción basada en Elliott (2000), con el propósito esencial de operar un cambio en un medio (en la gente y en el medio ambiente). Se contó con la participación de 35 líderes comunitarios de los corregimientos cuatro y siete de Villavicencio, con los cuales se implementó la estrategia educativa a través de talleres.

Delgado et al. (2013) afirmó que se presentaron algunas de las percepciones antes y después de la implementación de la estrategia de educación ambiental, donde se observa un cambio en la percepción sobre el uso del agua en sus hogares, donde reconocen cuánta agua ha sido empleada únicamente en la producción de alimentos sin considerar otros bienes y servicios de consumo.

Según estudios realizados en la capital del país, el cálculo de Huella Hídrica en la ciudad de Bogotá para el año 2013, fue de gran relevancia al momento de identificar aspectos e impactos ambientales importantes al momento de medir la contaminación del recurso hídrico en esta ciudad, así mismo el cálculo de Huella Hídrica, reiterando que entre los años 1993 al 2008 las políticas, normativas e incremento del costo del servicio tuvieron resultados favorables en cuanto a la disminución del uso del recurso en esta ciudad, pasando de un consumo de 165,5 l/persona/día a 108,0 l/persona/día logrando una disminución del 17,6 % (Ivanova, 2013).

A partir del contexto nacional e internacional consultado, a continuación se describe el contexto nacional de Huella Hídrica en Instituciones educativas abordando las metodologías, indicadores y pautas a tener en cuenta para la medición de Huella Hídrica en estos planteles, como tam-

bién las alternativas de mejoras en la reducción del consumo inapropiado del recurso hídrico y programas de uso eficiente y ahorro del agua.

5.4. Capítulo IV. Huella Hídrica en Instituciones Educativas

En el presente capítulo se aborda el cálculo de Huella Hídrica en Instituciones Educativas como una herramienta de mejoramiento continuo para la implementación de nuevas tecnologías y programas de ahorro y uso eficiente del agua, como también los métodos más confiables para el cálculo de Huella Hídrica en estos planteles, herramientas, formulas e indicadores que pueden ser útiles en determinados casos de estudio.

A través de los años las comunidades educativas han manifestado su atención por disminuir el volumen de agua utilizado en labores cotidianas como lo son lavamanos en baños, utilización de agua en retretes, regadío de jardín, duchas de gimnasio, llaves laboratorios, cafetería, entre otras. Por ende, se han dado a la tarea de buscar no solo alternativas físicas, sino también metodologías que enfoquen el gasto inapropiado del recurso en un proceso habitual, siendo el cálculo de Huella Hídrica una alternativa efectiva para lograr dichos objetivos.

En ese orden de ideas, algunas instituciones educativas han realizado estudios en sus instalaciones relacionados con la Huella Hídrica, por ejemplo: la Universidad de Córdoba realizaron la cuantificación de la Huella Hídrica en dichas instalaciones en el Campus de Montería en el año de 2014. De este estudio se determinó que la Huella Hídrica azul no representa riesgo para la disponibilidad de agua por ser esta sostenible; en el caso de la huella verde, presenta un riesgo para la disponibilidad de agua en la zona de estudio, debido a que, puede estar en un punto insostenible. Finalmente, se manifiesta que es necesario distinguir un problema directamente relacionado y analizar los procesos que haga uso directo o indirecto para desarrollar actividades del área y tiempo de estudio (Contreras y Torres, 2016). En ese sentido, la Universidad Tecnológica Metropolitana realizó el cálculo de Huella Hídrica para el año 2012, donde se basó en la metodología de la water footprint network y se aplicó a todos los procesos educativos y administrativos que se realizan en los Campus que posee la Universidad (Campus centro, Campus Providencia y Campus Macul) que se encuentran en la Región Metropolitana, esto incluye a todas las dependencias asociadas a cada Campus. Además, el estudio consideró todas las actividades institucionales que tengan relación con el consumo de agua, electricidad y papel correspondiente a dicho año, también se consideró el papel que se utiliza en las foto-

copiadoras que se encuentran ubicadas dentro de las dependencias de la Universidad pero que corresponde a una empresa externa (Ortiz y Sánchez, 2013).

Para efectos de cálculo de Huella Hídrica Directa en esta institución y demás procesos asociados a la Huella Hídrica Azul y Gris realizados en la Universidad; se consideró el consumo de agua realizado en todas las dependencias pertenecientes a la Universidad; en cuanto a la Huella Hídrica Gris, se tuvo en cuenta el efluente producto de la contaminación del DBO_5 en la descarga de agua a la institución durante el año de 2012 (Ortiz y Sánchez, 2013).

Este estudio arrojó resultados en términos de la Huella Hídrica por campus, considerando la Huella Directa e Indirecta por cada Campus. En la Figura 12 se observa que la Huella Hídrica del Campus Central es de $31,591 \text{ m}^3/\text{año}$ y corresponde al 48 % de la Huella Hídrica Total, el Campus Macul posee una Huella Hídrica de $24,555 \text{ m}^3/\text{año}$ y representa el 37 % de la Huella Hídrica Total y el Campus Providencia con un consumo de $9,670 \text{ m}^3/\text{año}$ representa el 15 % de la Huella Hídrica total (Ortiz y Sánchez, 2013).

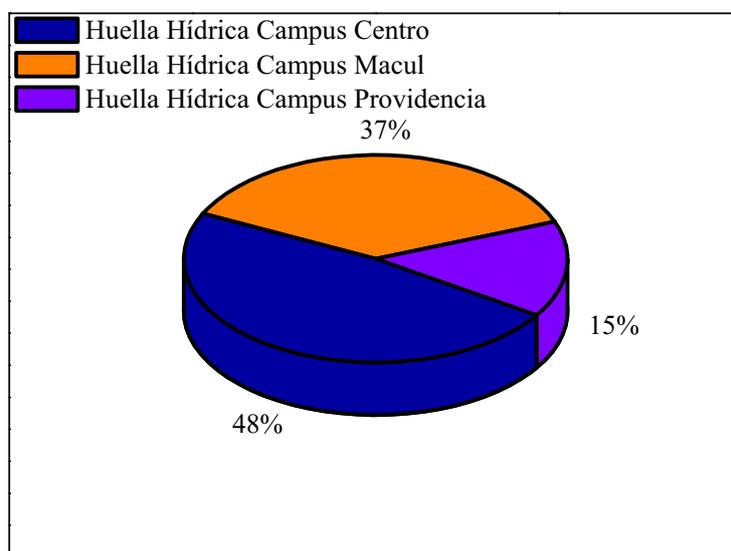


Fig. 12: Distribución porcentual de la Huella Hídrica por Campus.
Información tomada de (Ortiz y Sánchez, 2013).
Adaptación: por el autor

Por otra parte, además de la determinación de la Huella Hídrica de cada Campus perteneciente a la Institución, con los datos obtenidos se estableció que para el Campus Centro, con

una cantidad de 2,139 alumnos, se tiene una Huella Hídrica por estudiantes de $15 \text{ m}^3/\text{año}$; así mismo, para el Campus Macul, con una cantidad de 3,107 alumnos, obtuvo una Huella Hídrica por estudiantes de $7,9 \text{ m}^3/\text{año}$ y para el Campus Providencia con 1,323 una Huella por estudiantes de $7,31 \text{ m}^3/\text{año}$ (Figura 13). De igual manera, que la Huella Hídrica por estudiante es mayor en el campus centro. Lo que se podría explicar porque la Huella Hídrica es mayor en el campus centro y tiene un menor número de estudiantes que el de Macul. La Huella Hídrica Per Cápita promedio por estudiante $9,99 \text{ m}^3/\text{año}$, aproximadamente $10 \text{ m}^3/\text{año}$ (Ortiz y Sánchez, 2013).

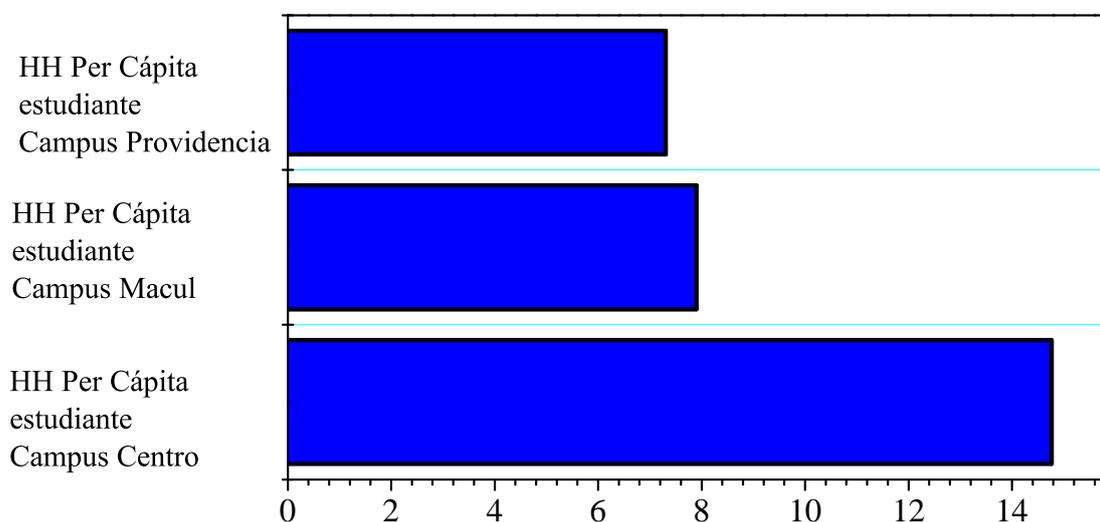


Fig. 13: Huella Hídrica Per Cápita por estudiante de cada Campus.

Información tomada de (Ortiz y Sánchez, 2013).

Adaptación: por el autor

Por otra parte, se estimó la Huella Hídrica de la Universidad Tecnológica Metropolitana para el año 2012 en $65816,39 \text{ m}^3/\text{año}$, de los cuales el 77 % corresponde a la Huella Hídrica Directa y el 23 % a la Huella Hídrica Indirecta. Con el objeto de conocer la cantidad de agua necesaria o utilizada para brindar el servicio educativo anual a un estudiante regular, se obtuvo el cociente entre la Huella Hídrica total de la Universidad Tecnológica Metropolitana y la totalidad de estudiante para el período de interés. Por tanto, la Huella Hídrica por estudiante es $10,02 \text{ m}^3/\text{año}$. Finalmente, en la etapa de evaluación de la Huella Hídrica se establece un

plan de estrategias de reducción de la contabilidad de la misma. Durante la elaboración de las estrategias se consideraron propuestas que si se ejecutan disminuirían tanto la Huella Hídrica Directa como Indirecta (Ortiz y Sánchez, 2013).

Teniendo en cuenta, que el Manual para centros educativos ha sido una herramienta utilizada en alternativas de mejoramiento del uso del recurso hídrico en instituciones, allí se establecen una serie de estrategias y compromisos en la diferentes áreas, tanto individuales como colectivas para disminuir la Huella Hídrica en instituciones educativas, teniendo diferentes enfoques, donde entra el papel del educador, estudiante, sector administrativo, empleados en las diferentes áreas e inclusive cambios en métodos, materiales y equipos para disminuir el potencial de gasto del recurso hídrico en instituciones.

A partir de esto se puede identificar mejoras significativas en los procesos manejando adecuadamente el recurso en las instituciones, como por ejemplo proponer a la dirección de la sede centro la instalación de tecnologías ahorradoras de agua (llaves temporizadoras, cisternas con doble descarga, electrodomésticos eficientes, entre otros.) en caso de sustitución o mejora de las instalaciones, además de esto cambiar los hábitos de riego del jardín: regando en horas donde los rayos del sol no sean tan potentes, preferentemente por la noche, cuando no haya viento y teniendo en cuenta la meteorología. Aproximadamente un 30 % del agua se pierde por evaporación cuando se riega en horas de sol. Y por supuesto implementar campañas y participación activa tanto de los docentes como alumnos de la importancia del uso eficiente y ahorro del agua para disminuir la Huella Hídrica en instituciones y así contribuir a la disminución del uso de este recurso (Aracena, 2015).

La Autoridad Nacional del Agua (ANA) del Ministerio de Agricultura y Riego a través de la Autoridad Administrativa del Agua (AAA) Jequetepeque Zarumilla en Piura Perú, realizaron una campaña informativa de cultura del agua a cientos de estudiantes de diferentes instituciones educativas donde midieron su Huella Hídrica. El aplicativo 'Huella Hídrica' permitió a los alumnos conocer la cantidad de agua que consumen diariamente en sus actividades, como el tiempo y veces que utilizan este vital elemento al bañarse, cepillarse los dientes, lavado de manos, uso de inodoro, preparación de alimentos, lavado de un vehículo y actividades dentro de los planteles educativos, entre otras actividades (Piura, 2016).

De esta manera, los estudiantes pudieron conocer su consumo promedio de agua por persona y se plantearon compromisos tanto de las instituciones como de los estudiantes en pro del buen manejo del recurso hídrico (Piura, 2016).

De esta revisión referente a las Universidades, se pudo observar que aunque hay estudios de Huella Hídrica, estos no son tan numerosos como en otras actividades económicas. Sin embargo, la determinación en las Universidades debería ser incluida en las políticas de esta institución, pues como se ha reportado por diferentes autores, el crecimiento de la población aumenta y en este caso también aumenta el número de estudiantes en las instituciones de educación superior.

5.5. Capítulo V. Estimación de la Huella Hídrica para la Universidad Católica de Manizales

5.5.1. Análisis y Criterio de elección

El presente estudio tiene como fin establecer un protocolo de correlación entre el cálculo de la Huella Hídrica y el uso del recurso hídrico en la Universidad Católica de Manizales, fortaleciendo el Sistema de Gestión Ambiental a través de la selección y comparación entre metodologías apropiadas para la estimación de la huella hídrica. Para ello se tuvo en cuenta distintas metodologías implementadas en instituciones educativas, por ejemplo: Castillo (2016) realizó el cálculo de la Huella Hídrica en la Universidad Católica del Perú, teniendo en cuenta el personal humano distribuido en estudiantes de pregrado, estudiantes de maestría, estudiantes de doctorado, estudiantes de intercambio, personal docente, personal administrativo y personal obrero, que se estimó en un total de 35915 personas. En ese sentido Ortiz y Sánchez (2013) estimaron la Huella Hídrica en la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito Campus Sur empleando la Huella Hídrica total por componentes, a partir de la metodología descrita por la Water Foot-Print Network. Para la Huella Hídrica verde, se cuantificó las áreas verdes de esta universidad como se muestra en la Figura 14; para la Huella Gris tuvieron en cuenta el SST, DQO este último para la determinación de la contaminación del efluente y finalmente la Huella Hídrica Azul por medio de las facturas emitidas por la empresa prestadora del servicio. Para la Huella Hídrica Indirecta con base en la electricidad fue por medio de las facturas de energía y para la Huella Hídrica de consumo de papel de acuerdo con los diferentes tipos de papel adquirido en la Universidad. Los autores manifiestan la necesidad de reducir la Huella Hídrica del papel; ya que, esta representó el 99,96 % de la Huella Hídrica indirecta y el consumo energético tan solo el 0,04 %.

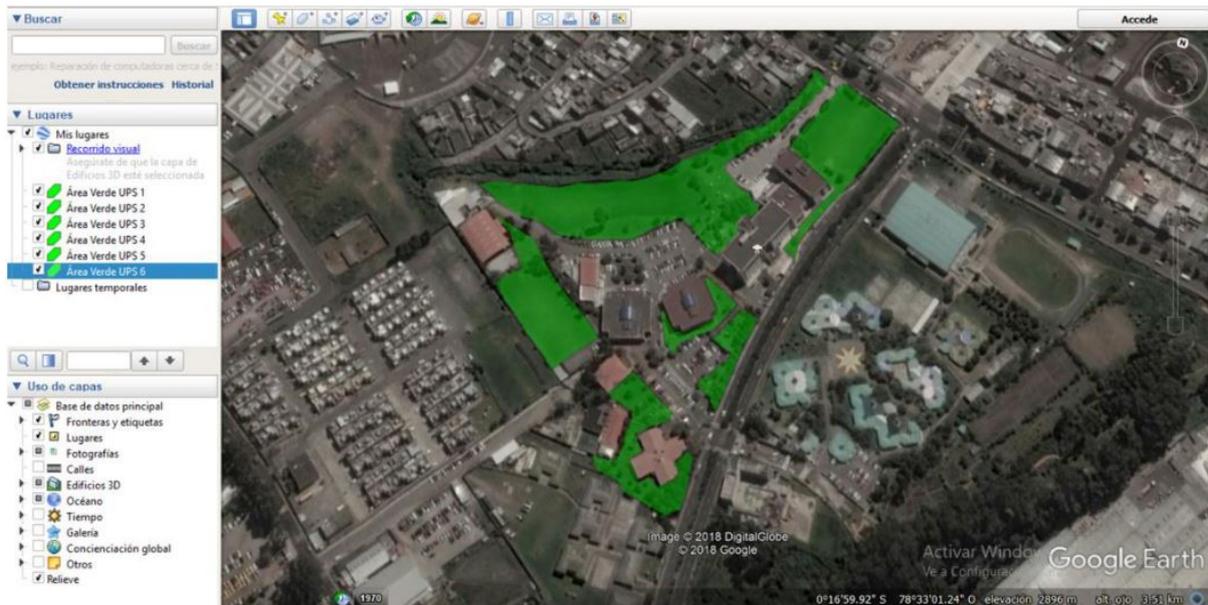


Fig. 14: Representación gráfica de áreas verdes de la Universidad Politécnica Salesiana-Campus Sur.

Información tomada de (Ortiz y Sánchez, 2013).

Fuente: Google Earth, 2018

En la Universidad de Córdoba Contreras y Torres (2016) adaptaron la metodología descrita por la Water Footprint a dicha Universidad. En el caso de la Huella Hídrica azul aparte de los recibos, se tuvo en cuenta el factor de no retorno; ya que, uno de los principales usos del agua es para actividades de servicios sanitarios, aseo de áreas, laboratorios, áreas deportivas, entre otros.

Para esta estimación y de acuerdo con la literatura (Water FootPrint Network), para determinación de dicha huella se debe considerar la estimación de la Huella Hídrica directa e indirecta como se describen a continuación. Adicionalmente, se deben realizar caracterizaciones fisico-químicas tanto al agua residual como al afluente y la cuenca abastecedora. Finalmente, se debe tener en cuenta la Resolución 0631 de 2015 la cual es necesario para la comparación de parámetros y valores máximos permisibles en relación a vertimientos.

Según las metodologías anteriormente planteadas, que se rigen por la Water Footprint Network son muy generales y no son muy aplicables a instituciones educativas, es por eso que para el caso de estudio en la Universidad Católica de Manizales se realizaron ajustes con el fin de que puedan ser utilizadas en futuras investigaciones. De esto se pudo coincidir que la me-

todoología que demostró mayor viabilidad para ser aplicado en la UCM fue la propuesta según la Medición de La Huella Hídrica de La Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur, pero también es importante resaltar que se tomó información de la Universidad Católica del Perú, ya que en algunos casos maneja estándares de cálculo más simples e indicadores que pueden ser adquiridos de manera más sencilla; teniendo en cuenta que para el cálculo de Huella Hídrica gris en la Universidad Católica del Perú relacionan la normatividad y DBO, y en la anterior la DQO y datos de contaminación del efluente.

5.5.2. Área de estudio

Se debe identificar la zona de estudio, describir la ubicación de la UCM e incluir un mapa de la Universidad, así mismo, se debe reseñar las características generales del medio natural, como el clima, geología y geomorfología del área. Del área se debe tener en cuenta el área construida y no construida en la cual se debe considerar las áreas verdes, pistas, áreas de deporte y estacionamientos, entre otros(Castillo, 2016).

5.5.3. Huella Hídrica directa

Inicialmente, se debe determinar la Huella Hídrica directa mediante la Ecuación 1, se debe estimar las Huellas Hídricas azul, verde y gris como se observa a continuación:

$$\text{Huella Hídrica} = HH \text{ Azul} + HH \text{ verde} + HH \text{ gris} \quad (1)$$

Seguidamente, se estima la Huella Hídrica azul de acuerdo con la Ecuación 2

$$\text{Huella Hídrica azul} = Vol_{inc} + Vol_{Eva} + FNR \quad (2)$$

donde el Vol_{inc} es el volumen de agua incorporada al proceso (vol/tiempo); el Vol_{Eva} es el volumen de agua evaporado (vol/tiempo) y FNR es la pérdida de flujo de retorno, el cual se refiere al volumen de agua que no regresa a la misma cuenca de origen.

Huella verde de acuerdo con la Ecuación 3.

$$\text{Agua Verde efectiva} = \text{Precipitación} * \text{área} - \text{evaporización} \quad (3)$$

donde la precipitación está determinada como la cantidad de precipitación que cae sobre la zona objeto de estudio y se expresa en mm de agua/tiempo; el área de zonas verdes de la institución expresadas en m^2 y la evaporización como el volumen de agua verde evaporada expresada en volumen por unidad de tiempo.

Finalmente, se calcula la Huella Hídrica gris mediante la Ecuación 4

$$\text{Huella Hídrica} = \frac{(Vol_{Efl} * C_{Efl}) - (Vol_{Afl} * C_{Afl})}{C_{Max} - C_{Nat}} \quad (4)$$

donde Vol_{Efl} es el volumen efluente; C_{Efl} es la concentración en el efluente con base al parámetro utilizado para la cuantificación; Vol_{Afl} es el volumen del afluente y C_{Afl} es la concentración en el afluente con base parámetro utilizado para la cuantificación (Arévalo et al., 2011).

La cuantificación de la Huella Hídrica deberá tener en cuenta cada bloque (facultad, unidad, edificio, programa, escuela).

5.5.4. Huella Hídrica indirecta

Como se mencionó en el sec.5.1 la Huella Hídrica indirecta hace referencia al volumen de agua contaminada, en el caso de la Universidad Católica de Manizales, adicionalmente se debe tener en cuenta consumos adicionales como electricidad, diferentes tipos de papel y alimentos.

Es necesario aclarar que para los consumos adicionales se debe determinar cada uno de ellos de la siguiente manera.

1. Huella Hídrica Indirecta asociada al consumo de electricidad

Para este cálculo es necesario conocer la fuente y el tipo de energía con la que cuenta la Universidad. Adicionalmente, se debe saber si la energía suministrada es de plantas hidroeléctricas, por biomasa, combustión, energía solar, entre otras.

Para este tipo de estudios el consumo de electricidad usada por la Universidad se debe expresar en kW/h, multiplicada por un factor de conversión para una hidroeléctrica, que en este caso dependerá de las fuentes empleadas para la generación de electricidad empleada por la institución (Ecuación 5).

$$WF_{Electricidad} = Consumo\ de\ electricidad \left(\frac{kW}{h} \right) \times Factor\ de\ conversión \quad (5)$$

2. Huella Hídrica Indirecta asociada al consumo de papel

Este ítem hace referencia al papel empleado en unidades de masa multiplicado por el valor de la Huella Hídrica de acuerdo con el tipo de papel y la cantidad utilizada en el periodo de estudio; finalmente se multiplica por el factor de conversión como se observa en la Ecuación 6.

$$WF_{Papel} = Consumo\ de\ papel \left(\frac{Toneladas}{año} \right) \times Factor\ de\ conversión \quad (6)$$

5.5.5. Análisis fisicoquímicos

Para las caracterizaciones fisicoquímicas de las aguas se recomienda utilizar el *Standard Methods* (última edición disponible) y las caracterizaciones que se deben tener en cuenta para la Huella Hídrica en la Universidad son:

5.5.6. Caracterización fisicoquímica del agua residual

Esta caracterización debe tener como alcance los vertimientos (aguas residuales) por parte de la Universidad Católica de Manizales hacia los cuerpos de agua, para la cual se deben tener en cuenta las variables como: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendedos Totales (SST), Caudal, pH, Temperatura y otras que variables opcionales de acuerdo al origen por ejemplo residuos químicos y biológicos de laboratorios.

5.5.7. Caracterización fisicoquímica del afluente

Aguas de Manizales S.A.E.S.P es una entidad que provee los servicios de acueducto y alcantarillado a la Universidad Católica de Manizales, bajo la Ley 142 de 1994 de Servicios Públicos expedida por el Ministerio de Minas.

5.5.8. Caracterización fisicoquímica de la cuenca abastecedora

Según datos facilitados por la empresa Aguas de Manizales S.A.E.S.P, actualmente la ciudad de Manizales cuenta con dos vertientes principales, en primer lugar la vertiente de Chinchiná compuesta por los afluentes de Romerales, California, la Maria, Cajones y Chinchiná y que aporta un 65 % del agua. El 35 % restante lo aportan el río Blanco, quebradas Pinares, La Guerra, La Arenosa, La Ye y Olivares, ubicadas a 3,0 Km al nororiente de la ciudad de Manizales vía a la vereda las palomas, esta zona tiene una extensión aproximada de 4,343 hectáreas a una altura entre los 2,200 y los 3,800 m.s.n.m.

Para este estudio es necesario realizar una caracterización fisicoquímica de las cuencas abastecedoras y condiciones en las que actualmente se encuentra la fuente receptora, esto con el fin de medir el impacto ocasionado sobre la calidad por parte de la Universidad Católica de Manizales.

5.5.9. Normatividad

Como se mencionó al inicio de este capítulo, se debe tener en cuenta la Resolución 0631 de 2015 Expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, por el cual establece los límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a los cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público.

5.5.10. Consideraciones

- El alcance y objetivo de este estudio debe considerarse que el cálculo de la Huella Hídrica va tener una visión integral y establecer la manera idónea aplicando la metodología a toda la Universidad teniendo en cuenta bloques administrativos y bloques educativos.

- Para la obtención de la información y correlación de datos para la estimación de la Huella Hídrica, se recomienda emplear fuentes bibliográficas para los índices de consumo de agua de acuerdo a los materiales empleados como el caso del papel y electricidad.
- Otros puntos que pueden ser tenidos en cuenta son los cultivos de zonas verdes que se realicen dentro de la época de estudio y los vertimientos los cuales puede ser suministrados por planeación con respecto a la ubicación del pozo de descarga de aguas residuales.
- En el caso de tener dificultad respecto a los cálculos, se recomienda emplear el software CROPWAT (versión más nueva) desarrollado por la Organización de las Naciones Unidas para Agricultura y Alimentación. Dicho software puede dar agilidad en los cálculos de agua para cultivos y necesidades de riego de acuerdo a la base de datos según clima y suelos.
- e acuerdo con la Water Footprint Network, en la Tabla 3 se detalla información para cada Huella Hídrica.

Tab. 3: Información y fuentes para cada Huella Hídrica.

<i>Huella Hídrica</i>	<i>Fuente</i>	<i>Información</i>	<i>Forma de estimación</i>
Azul	Facturas emitidas mensualmente por la empresa de energía eléctrica de Manizales (CHEC del Grupo EPM)	Facturación mensual de agua en metros cúbicos (m^3)	Consumo total
Verde	Datos bibliográficos	Superficie de cobertura de áreas verdes	Estimación espacial
	Verificación en campo	Tipos de coberturas de áreas verdes	Dependiendo de las características de la superficie se puede asumir un porcentaje de cobertura de pasto y arbustos.
Gris	Datos bibliográficos	Concentración de afluentes por parámetros	Información bibliográfica sobre la calidad del agua potable.
	Resultados de laboratorio	Concentración de efluente por parámetros	Medición de ciertos parámetros de la calidad del agua
	Normativa en materia Hídrica	Concentración máxima establecida por la ley por parámetros	
Indirecta	Informes de monitoreo de la calidad del agua	Concentración de afluente por parámetros	Concentración de parámetros establecidos por bibliografía.
	Datos de la Universidad Católica de Manizales	Consumo de materiales por parte de la institución	
	Equivalentes de Huella Hídrica para materiales consumidos	Equivalentes de Huella Hídrica para materiales consumidos	

Información tomada de (Ortiz y Sánchez, 2013).

Adaptación: por el autor

6. Conclusiones

A partir del contexto local se encontró que no se han realizado estudios frente al cálculo de la Huella Hídrica en instituciones de educación superior, por esto es fundamental tener aproximaciones frente a este tema que no presenta implementación.

La Huella Hídrica nacional refleja que el principal sector productivo que imprime un gran impacto sobre las fuentes de agua es la agricultura. Lo anterior desafía al Estado para generar políticas que definan los procedimientos que la agricultura y otros sectores deberían establecer para que sus medios de producción estén encaminados hacia el desarrollo sostenible.

Se calculó el área de las zonas verdes de la Universidad Católica de Manizales con el fin de estimar la huella hídrica verde obteniendo 5 áreas con valores Zona 1: Perímetro 214,49 m y Área: 1,943,99 m²; Zona 2: Perímetro 177,14 m y Área: 929,65 m²; Zona 3: Perímetro 63,18 m y Área: 189,26 m²; Zona 4: Perímetro 95,25 m y Área: 287,14 m²; Zona 5: Perímetro 189,4 m y Área: 383,97 m².

Se acogieron dos tipos de metodologías con el fin de adaptarlas a la UCM, resaltando de cada uno los parámetros más apropiados y completos para tener confiabilidad en los datos.

En este trabajo se logró indagar a partir de la revisión bibliográfica de cuarenta fichas bibliográficas la estimación de la Huella Hídrica Internacional, nacional, local y en instituciones educativas, de las cuales se pudo observar la importancia de esta. De esto se puede considerar que los conceptos de la Huella Hídrica es un parámetro importante en la implementación de políticas en pro del medio ambiente. Así mismo, el hecho de abordar la eficiencia del agua en los cultivos y el suministro de productos básicos, pueden influir en fomentar la solución en la gestión sostenible del agua. En ese sentido, y teniendo en cuenta el cambio climático y los cambios globales, en la literatura se expresa la necesidad de implementar en la educación básica acciones para la reducción de la Huella Hídrica azul, verde y gris, pues teniendo en cuenta lo expresado por Vanham y Bidoglio (2013) uno de los retos es de la seguridad alimentaria y

la sostenibilidad ambiental. Para ello se establece que hay que reducir el consumo de Huella Hídrica sin importar si hay o no escasez de agua.

Este rastreo bibliográfico mostró la gestión que hasta el momento a nivel nacional se ha realizado sobre Huella Hídrica en Colombia. La Huella Hídrica nacional refleja que los principales sectores productivos y sociales que imprimen un gran impacto sobre las fuentes de agua es la agricultura. Lo anterior desafía al estado para generar políticas que definan los procedimientos que la agricultura y otros sectores deberían establecer para que sus medios de producción estén encaminados hacia el desarrollo sostenible, por lo tanto, una producción que no atente contra las fuentes de agua principalmente. A futuro se espera contar con una Huella Hídrica que dote a un consumidor de información tan completo que éste sepa el nivel de contribución que tiene su consumo con el medio ambiente o que tan nocivo puede ser con el recurso hídrico.

De acuerdo a los análisis realizados de la información obtenida se redactó un documento final dictando los lineamientos para dicha medición, además se plasmaron pautas de mejora que aporta la medición de la Huella Hídrica en la UCM con el fin de reforzar el Sistema de Gestión Ambiental y programas y proyectos enfocados al recurso hídrico, para ello se identificó la información de calidad para el cálculo de Huella Hídrica en diversas universidades, y se realizó una metodología para la determinación de la Huella Hídrica en la Universidad Católica de Manizales.

Con base a la información obtenida, se planteó un análisis crítico constructivo a partir de las diferentes metodologías propuestas y factores de incidencia que puedan afectar o beneficiar la medición de Huella Hídrica al momento de efectuarse. Para el criterio de selección en la metodología, se tuvo en cuenta la descrita por la Water FootPrint Network y adaptaciones descritas por Contreras y Torres 2016; Ortiz y Sánchez 2013; Sánchez et al. 2018, con el fin de tener un mejor ajuste conforme a la Universidad Católica de Manizales.

7. Recomendaciones

Durante la realización de esta investigación, no solo se ha generado la revisión bibliográfica de las 40 finchas, sino que también se realizó una metodología para la el cálculo de la Huella Hídrica para la Universidad Católica de Manizales. Esta metodología tiene como fin establecer el protocolo para la determinación de las Huella azul, gris y verde y reforzar el Sistema de Gestión Ambiental y programas y proyectos de uso y ahorro eficiente de agua.

Con base en lo anterior, se recomienda dar continuidad a este estudio y realizar el cálculo de la Huella Hídrica en la Universidad para lo cual se menciona algunas perspectivas que pueden ser incluidas en investigaciones futuras.

- Realizar el cálculo de la Huella Hídrica azul, gris y verde de cada una de las Facultades de la Universidad..
- Realizar campañas en la Universidad Católica de Manizales con el fin de concienciar a la comunidad estudiantil, profesores y administrativos con el fin de hacer un buen uso de los recursos hídricos.
- Se considera conveniente que la universidad Católica de Manizales instale medidores tanto de agua como de luz en cada bloque del plantel de la sede central. Esto con el objetivo de obtener indicadores más exactos de acuerdo de las zonas de interés que se tiene para el cálculo de Huella Hídrica; de esta manera establecer predicciones más efímeras en la equivalencia del consumo estudiantes por área.
- Es importante incorporar tecnologías o métodos de disminución de volumen de agua gastada en los inodoros como por ejemplo la inclusión al tanque de botellas con material rocoso que ocupe espacio en el mismo o sistemas de recirculación.
- Se aconseja que al momento de adquirir los datos de consumo de papel en oficinas se revise el número de impresiones en los computadores y no de manera oral; puesto que por lo general son adulterados los datos.

Referencias

- Allan, J. (1993). Fortunately there are substitutes for water otherwise our hydropolitical futures would be imposible. Technical report, In ODA, Priorities for water resources allocation allocation and management, ODA., London.
- Aracena, G. (2015). Manual para centros educativos. Serie del Consumo Responsable. Technical report, Superintendencia de servicios sanitarios, Santiago de Chile.
- Arévalo, D., Lozano, J., y Sabogal, J. (2011). Estudio nacional de Huella Hídrica Colombia Sector Agrícola. *Revista internacional de sostenibilidad, tecnología y humanismo*.
- Atzori, G., Guidi Nissim, W., Caparrotta, S., Santantoni, F., y Masi, E. (2019). Seawater and water footprint in different cropping systems: A chicory (*Cichorium intybus* L.) case study. *Agricultural Water Management*, 211(May 2018):172–177.
- Bazrafshan, O., Ramezani Etedali, H., Gerkani, Z., Moshizi, N., y Shamili, M. (2018). Virtual water trade and water footprint accounting of Saffron production in Iran. *Agricultural Water Management*, 213(October 2018):368–374.
- Castillo, Á., Castro, M., Gutiérrez, Á., y Aldana, C. (2018). Estimación sectorial de la huella hídrica de la ciudad de Bogotá generada en el año 2014. *Revista UIS Ingenierías*, 17(2):19–32.
- Castillo, M. (2016). *Huella Hídrica del campus de la Pontificia Universidad Católica del Perú en el 2014*. PhD thesis, Universidad Católica del Perú.
- Chapagain, A. y Hoekstra, A. (2004). Water footprints of nations. (Value of Water Research Report Series; No. 16). Technical report, Unesco-IHE Institute for Water Education.
- Contreras, Y. y Torres, C. (2016). *Cuantificación de la Huella Hídrica en las instalaciones de la Universidad de Córdoba Campus Montería, para el año 2014*. PhD thesis, Universidad de Córdoba.

- Cruz, M. (2017). *Análisis y evaluación de la Huella Hídrica de un cultivo de tomate (Lycopersicon esculentum) en el Municipio de Fómeque departamento de Cundinamarca*. PhD thesis, Universidad Militar Nueva Granada.
- Delgado, S. M., Trujillo, J. M., y Torres, M. A. (2013). La Huella Hídrica como una estrategia de educación ambiental enfocada a la gestión del recurso hídrico: ejercicio con comunidades rurales de Villavicencio. Technical Report 36, Universidad de Caldas.
- Elliott, J. (2000). *El cambio educativo desde la investigación acción*. Morata Ediciones, Madrid, tercera edición.
- ENA (2014). EVALUACIÓN MULTISECTORIAL DE LA HUELLA HÍDRICA EN COLOMBIA Resultados por subzonas hidrográficas en el marco del Estudio Nacional del Agua 2014. In Campuzano, C. P., González, J., Gúzman, A., y Rodríguez, C., editors, *Dirección componente Huella Hídrica en ENA*, pages 1–160. IDEAM, Cambridge, primera edición.
- Ercin, A. E., Aldaya, M. M., y Hoekstra, A. Y. (2011). Corporate Water Footprint Accounting and Impact Assessment: The Case of the Water Footprint of a Sugar-Containing Carbonated Beverage. *Water Resources Management*, 25(2):721–741.
- Esfera Viva (2017). Huella Hídrica verde azul gris Esfera Viva.
- FAO (2000). *EL ESTADO MUNDIAL DE LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN*. Organización de las Naciones Unidas.
- Feng, L. y Chen, B. (2016). Scarce Water footprint of energy production in China. *Energy Procedia*, 88:176–181.
- Función Pública (2018). Decreto 1076 de 2015 Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible - Gestor Normativo Función Pública. Technical report, Departamento Administrativo de la Función Pública.
- García, N. I. y Toro, J. (2013). *Evaluación de la Huella Hídrica generada por los sectores comerciales y de vivienda del barrio la Florida (Bogotá D.C.)*. PhD thesis, Universidad Libre.

-
- Hernández, A. y Picón, J. C. (2013). Huella hídrica en tierras secas: el caso del turismo de sol y playa en Guanacaste (Costa Rica). *Revista de Ciencias Ambientales*, 45(1):41–50.
- Hoekstra, A. y Hung, P. (2002). Virtual water trade: a quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. Technical Report 11, IHE Delft.
- Hoekstra, A. Y. (2017). Water Footprint Assessment: Evolvement of a New Research Field. *Water Resources Management*, 31(10):3061–3081.
- Hoekstra, A. Y. y Chapagain, A. K. (2007). Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern. *Integrated Assessment of Water Resources and Global Change: A North-South Analysis*, pages 35–48.
- Hoekstra, A. Y. y Mekonnen, M. M. (2011). Value of Water Research Report Series No. 53 Global water scarcity: Value of Water. Technical Report 53, UNESCO-IHE Institute for Water Education, The Netherlands.
- IDEAM (2013). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Technical report, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial República de Colombia, Bogotá.
- Ivanova, Y. (2013). *Evaluación de la Huella Hídrica de la ciudad de Bogotá como una herramienta de gestión del recurso hídrico en el área urbana*. PhD thesis, Pontificia Universidad Javeriana.
- Karandish, F., Hoekstra, A., y Hogeboom, R. J. (2018). Groundwater saving and quality improvement by reducing water footprints of crops to benchmarks levels. *Advances in Water Resources*, 121(September):480–491.
- Ley General Ambiental de Colombia (1999). Ley 99 de 1993. Technical report, Ministerio del Interior.
- Liao, X., Zhao, X., Jiang, Y., Liu, Y., Yi, Y., y Tillotson, M. R. (2019). Water footprint of the energy sector in China's two megalopolises. *Ecological Modelling*, 391(November 2018):9–15.

-
- Llerena, L. S. (2011). *La Huella Hídrica de Ambato y el derecho de vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado*. PhD thesis, Universidad Técnica de Ambato.
- Lozano, D. C. y Cortéz, N. G. (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. Technical report, UNIVERSIDAD DE LA SALLE, Bogotá.
- Maite Aldaya, Manuel Ramón Llamas Madruga, Alberto Garrido Colmenero, y Consuelo Varela Ortega (2008). Importancia del conocimiento de la huella hidrológica para la política española del agua. Technical Report 29, Universidad Complutense de Madrid, Madrid.
- MIMAN, M. d. M. A. (2007). Evaluación y conclusiones generadas del ciclo de debate El uso del agua en la economía española Situación y perspectivas. Technical report, Ministerio de Medio Ambiente, Bogotá.
- MINAMBIENTE, M. d. A. V. y. D. T. (2010). Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. Technical report, Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, Bogotá.
- Moratilla, F. E., Moreno, M. M., y Barrena, M. F. (2010). La Huella Hídrica en España The Water Footprint in Spain. *Revista de Obras Públicas*, pages 21–38.
- Murillo, L. G. (2018). Decreto 1090 De 2018. Technical report, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Bogotá.
- Narvaez, L. D. y Paz, A. (2012). Metodología para determinar la huella hídrica en un centro médico. Technical Report 1, Universidad Mariana.
- Negrete, R. E., Burgos, M. S., García, M. d. P., y Montes, C. (2014). Decreto 2811 del 1974. Technical report, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Bogotá.
- Olcina, J. y Sotelo, M. (2013). Las demandas de huella Hidrica y su precio, en España Diferencias territoriales. *Anales de Geografía*, 33(2):41–79.
- Ortiz, C. y Sánchez, R. G. (2013). *Universidad politécnica salesiana sede quito*. PhD thesis, Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito Carrera.

- Piura, A. (2016). Cientos de estudiantes calcularon su huella hídrica durante campaña organizada por la Autoridad Nacional del Agua. Technical report, Ministerio de Agricultura y Riego, Perú.
- Prias, A. J. (2015). Análisis de Huella Hídrica de los sistemas productivos de tomate a campo abierto y bajo invernadero en Colombia. Technical report, Andrés Julián Prias Gómez Universidad De Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá.
- Rendón, E. (2015). La huella hídrica como un indicador de sustentabilidad y su aplicación en el Perú. Technical Report 1, Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú.
- Sánchez, I. I., Medina, F., y Cabrera, J. M. (2018). Diseño de software para calcular la huella de carbono e hídrica durante la producción de café. *Ingeniería solidaria*, 14(24):1.
- Smith, M., Kivumbi, D., y Division, W. D. (2002). Use of the FAO CROPWAT model in deficit irrigation studies. Technical report, International Atomic Energy Agency, Rome, Italy.
- Sostenible, M. d. A. y. D. (2010). Dirección de Gestión Integral del Recurso Hídrico Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible Dirección de Gestión Integral del Recurso Hídrico.
- Tolón, A., Lastra, X. B., y Fernández-Membrive, V. J. (2013). Huella hídrica y sostenibilidad del uso de los recursos water footprint and sustainability of water resources use. *M+A. Revista Electrónica de Medio Ambiente*, 14:56–86.
- Uribe, M. (2014). *Evaluación de la Huella Hídrica azul y gris de la Central Hidroeléctrica Miel I de Isagen S.A E.S.P.* PhD thesis, Universidad EAFIT.
- Vagliente, A. y Castro, R. (2012). La medicion de Huella Hidrica Eficiencia responsabilidad social ambiental. Technical report, Universidad Naacional de Villa María, Villa María - Argentina.
- Vanham, D. y Bidoglio, G. (2013). A review on the indicator water footprint for the EU28. *Ecological Indicators*, 26(2013):61–75.
- Vázquez, R. y Buenfil, M. (2012). Huella Hídrica de América Latina: retos y oportunidades latin america's water footprint: challenges and opportunities. *Aqua-LAC*, 4:41–48.

Wackernagel, M. y Rees, W. (1996). *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*. *New Society Publishers, Philadelphia*.

Waterfootprint (2002). *Manual para la evaluación de la Huella Hídrica*. Technical report, Waterfootprint.