

**Sostenibilidad Hídrica en cultivos de cebolla larga, Junca (*Allium Fistulosum* Linnaeus)
en la cuenca media del río Otún del departamento de Risaralda.**

Ligia Castellanos Echavarría

San Miguel Pérez Lozano

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente

Pereira - Risaralda

2018

**Sostenibilidad Hídrica en cultivos de cebolla larga, Junca (*Allium Fistulosum* Linnaeus)
en la cuenca media del río Otún del departamento de Risaralda.**

Ligia Castellanos Echavarría

San Miguel Pérez Lozano

Trabajo de grado para optar el título de Ingenieros Ambientales

Director

Carlos Mario Duque Chaves

Ingeniero Ambiental MSc

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente

Pereira - Risaralda

2018

AGRADECIMIENTOS

En esta investigación se tuvo el apoyo del Ing. Agrónomo Ph.D Manuel Francisco Polanco Puerta y como asesor de trabajo de grado el Ing. M.Sc. Ambiental Carlos Mario Duque Chaves; este apoyo profesional sumado a la información del IDEAM, Aguas y Aguas de Pereira y todos los programas y software de información geográfica y áreas afines, garantizan un documento de información y apoyo a los agricultores, que de los primeros pasos hacia la sostenibilidad hídrica de la cuenca media del Rio Otún y sirva como documento informativo y de consulta para la hidrología académica nacional.

Agradezco a Dios por el valor y entendimiento que me dio para sacar adelante esta carrera, a mis padres por el apoyo incondicional que a diario me brindan, a mi hijo por enseñarme a ser perseverante, por su comprensión, su apoyo y por estar ahí cada vez que lo necesito, al Ingeniero Carlos Mario Duque Chaves por su entrega y compromiso para con nosotros durante todo este proceso y a mi compañero San Miguel Perez Lozano por su paciencia, lealtad, comprensión y colaboración que me brindó en toda mi carrera.

Ligia Castellanos Echavarría.

Mi agradecimiento a Dios por bendecirme permitiéndome alcanzar la meta propuesta; a mi esposa, hijas, nieta, yerno y toda mi familia, por ser la motivación de salir adelante, además por la comprensión y apoyo incondicional, en los momentos de fatiga y dificultad; al Ingeniero Carlos Mario Duque Chaves por su magna colaboración, dirección, compromiso, edificación y transmisión del conocimiento durante todo el proceso académico y a mi compañera de tesis de investigación Ligia Castellanos Echavarría, por su dedicación, paciencia y apoyo, creyendo en mí al decidir transitar esta etapa de la vida conmigo.

San Miguel Pérez Lozano.

CONTENIDO

RESUMEN	9
1. INTRODUCCIÓN	11
2. OBJETIVOS	12
2.1. Objetivo General	12
2.2. Objetivos específicos	12
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
4. JUSTIFICACIÓN	14
5. MARCO DE REFERENCIA	16
5.1. Marco Teórico.....	16
5.1.1. Sostenibilidad hídrica en el sector agrícola.	16
5.1.2. Orígenes.	16
5.1.3. Tipos de agua en la Huella Hídrica.	17
5.1.4. Estado del Arte	21
5.2. Metodologías para evaluación y medición de la Huella Hídrica.	24
5.3. Evapotranspiración.....	25
5.3.1. Evaporación.....	25
5.3.2. Transpiración:.....	25
5.4. Cultivo de cebolla larga o junca (<i>Allium Fistulosum</i> L.).....	26
5.5. Sistemas De Riego.	28
5.5.1. Riego por aspersión:	28
5.5.2. Riego por microaspersión:.....	28
5.5.3. Riego por multicompuertas:	29
5.5.4. Riego por goteo:	29
5.5.5. Riego Subterráneo:	29
5.5.6. Sistema de riego Santeno:	29
5.6. Área de Estudio.....	29
5.7. Índice de Presión Hídrica a los Ecosistemas.....	31
6. MARCO LEGAL	35
7. METODOLOGÍA	37
7.1. Caracterización de la zona de estudio en términos de Gestión de Recurso Hídrico:	37
7.2. Análisis de Huella Hídrica	37
7.3. Formulación de estrategias.....	40
8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	41
8.1. Caracterización de la zona de estudio.	41

8.2.	Caracterización del área de investigación.....	43
8.2.1.	Caracterización del cultivo.....	44
8.3.	Requerimiento Hídrico del cultivo.....	46
8.3.1.	Determinación de la Huella Hídrica Azul y verde del cultivo de cebolla de rama por medio del Software CropWat 8.0	49
8.4.	Cálculos de la HH con CropWat 8.0 Clima/ETo	51
8.4.1.	Estimación de la Huella Hídrica Verde.	60
8.4.2.	Estimación de la Huella Hídrica Azul.	61
8.4.3.	Estimación de la huella hídrica gris.....	62
8.4.4.	Análisis de resultados frente a otros estudios de la huella hídrica en cultivos de hortalizas.	66
9.	<i>ESTRATEGIAS PARA EL FORTALECIMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO.....</i>	68
9.1.	Sistema de riego por goteo.....	68
9.1.1.	Ventajas del sistema de riego por goteo.	69
9.2.	Fertilización.	70
9.3.	Captación y almacenamiento de aguas lluvias.....	72
	<i>CONCLUSIONES.....</i>	74
	<i>RECOMENDACIONES.....</i>	75
	<i>BIBLIOGRAFÍA.....</i>	76

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1 . Fases de la evaluación de la Huella Hídrica.....	20
Imagen 2 Proceso de la evapotranspiración.	26
Imagen 3 Ubicación de la cuenca rio Otún.	30
Imagen 4 Estaciones climatológicas e Hidroclimatológica.	42
Imagen 5 Finca Buena vista (área de trabajo de campo).	42
Imagen 6 Información para cálculo de la pendiente del terreno y área.....	43
Imagen 7 Proceso de cosecha en la finca Buenavista.	44
Imagen 8 Fertilización manual con gallinaza en la finca Buenavista.	44
Imagen 9 Deshierbe en el cultivo de cebolla Finca Buenavista.	46
Imagen 10 Información para cálculo de Rad.y ETo.	52
Imagen 11 Cálculo de la precipitación efectiva.	52
Imagen 12 Valores Kc para el cultivo de cebolla larga junca.....	55
Imagen 13 Parámetros del cultivo de la cebolla larga junca (Suelo).	56
Imagen 14 Requerimiento de Agua del Cultivo (RAC) primera cosecha.....	56
Imagen 15 Temperatura y Precipitación zona de estudio año 2017.....	57
Imagen 16 Estación Lisbrán - Porcentaje Humedad para el año 2017.....	58
Imagen 17 Requerimiento de Agua del Cultivo (RAC) segunda cosecha.	59
Imagen 18 Fertilización del cultivo con gallinaza sin compostar en la finca Buenavista.....	64
Imagen 19 Gallinaza compostada.	65
Imagen 20 Gallinaza sin compostar.	65
Imagen 21 sistema de riego por goteo.	69
Imagen 22 Esquema de sistema de riego por goteo.	70
Imagen 23 Fertilización con gallinaza.	71
Imagen 24 Contaminación por descalcete de la cebolla larga junca, en la Finca Buenavista.....	72
Imagen 25 Captación y almacenamiento de aguas lluvias para riego.....	73

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Listado de Siglas y Acrónimos	8
Tabla 2. Huella Hídrica Verde anual para el sector agrícola.	18
Tabla 3. Huella Hídrica Azul anual para el sector agrícola.	19
Tabla 4. Estudios de Huella Hídrica en Latinoamérica utilizando las metodologías WFN y LCA.	20
Tabla 5. Parámetros morfométricos de la cuenca del río Otún.	30
Tabla 6. Usos De Suelo Rural Agrupados por Municipio.	31
Tabla 7. Subzonas Hidrográficas Con IPHE Crítico.....	32
Tabla 8. Usos del suelo en la cuenca del río Otún.	33
Tabla 9 Estudios de Huella Hídrica realizados en Colombia.	36
Tabla 10. Características de cultivos transitorios.....	48
Tabla 11. Registros Hidroclimatológicos año 2017.....	50
Tabla 12 Igualdad para conversión de medidas.	51
Tabla 13 Conversión de medidas.	51
Tabla 14 Coeficiente único del cultivo Kc.....	53
Tabla 15 Duración de las etapas de crecimiento.....	53
Tabla 16 Rangos profundidad radicular.....	54
Tabla 17 Rendimientos de productividad del cultivo.	54
Tabla 18 Valor como abono de la gallinaza compostada.....	66
Tabla 19 Cuadro comparativo de HH con estudios de cultivos de hortalizas.....	66

Tabla 1. Listado de Siglas y Acrónimos

Siglas	Significado
CARDER	Corporación Autónoma Regional de Risaralda
CENICAFE	Centro Nacional de Investigaciones de Café
CHEC	Central Hidroeléctrica de Caldas
COSUDE	Agencia para el Desarrollo y la Cooperación Suiza
CTA	Corporación Centro Técnico Arquitectónico
EIS	Grupo Ecología, Ingeniería Y Sociedad
ENA	Estudio Nacional de Agua
GSI-LAC	Good Stuff International Latinoamérica y Caribe
HH	Huella Hídrica
HHA	Huella Hídrica Azul
HHG	Huella Hídrica Gris
HHV	Huella Hídrica Verde
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
IICA	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
IPHE	Índice de Presión Hídrica a los Ecosistemas
IUA	Índice de Uso de Agua
LCA	Life Cycle Assessment (Análisis del Ciclo de Vida)
MADS	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
PNGIRH	Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico
REDH	Red Hydroclimatológica de Risaralda
UTP	Universidad Tecnológica de Pereira
VW	Virtual Water (Agua Virtual)
WFN	Water Footprint Network (Red de Huella Hídrica)
DAV	Disponibilidad de Agua Verde

Fuente: Elaboración propia.

RESUMEN

El estudio de investigación propone evaluar mediante la metodología de Huella Hídrica –H.H. sistemas de producción agrícola en un área geográficamente delimitada, cuyas características ambientales, sociales y económicas representan un ecosistema estratégico que requiere la implementación de lineamientos puntuales de planificación y ordenamiento frente al recurso hídrico. La cuenca media del río Otún se ubica entre los municipios de Pereira, Dosquebradas y Santa Rosa de Cabal, en el departamento de Risaralda, constituye una fuente importante para el abastecimiento de agua, igualmente, para el desarrollo de los diferentes servicios ecosistémicos que se presentan en la región.

Las dinámicas antrópicas presentes en la zona de estudio, especialmente las relacionadas con producción agrícola, han generado que la subzona hidrográfica del Río Otún cuente con un Índice de Presión Hídrica a los Ecosistemas en “Crítico”, según la evaluación multisectorial de Huella Hídrica en Colombia elaborada en el marco del Estudio Nacional de Agua –ENA 2014, el cual se realiza con una periodicidad de cada 4 años.

Por su ubicación, así como el interés ambiental y económico, el estudio se centra geográficamente en la cuenca media del río Otún, sobre la cual se analizará la gestión del recurso hídrico en la producción agrícola, específicamente en la producción de cebolla larga junca, mediante el indicador de Huella Hídrica, permitiendo identificar estrategias y lineamientos para disminuir la presión sobre los ecosistemas presentes.

Palabras Claves: Huella, hídrica, Riego, humedad, azul, verde, lluvia.

ABSTRACT

The research study proposes to evaluate agricultural production systems using the H.H. method, in a geographically delimited area, which's environmental, social and economic characteristics represent a strategic ecosystem that requires the implementation of specific guidelines for planning and ordering against water resources. The middle basin of the Otún River is located between the municipalities of Pereira, Dosquebradas and Santa Rosa de Cabal, in the department of Risaralda; it constitutes an important source for the water supply, also, for the development of the different ecosystem services.

The anthropic dynamics present in the area of study, especially those related with agricultural production, have generated that the hydrographic subzone of the Otún River has a Water Pressure Index to the Ecosystems in "Critical", according to the multisector evaluation of Water Footprint in Colombia elaborated in the framework of the National Water Study -ENA 2014, which is carried out every 4 years.

Due to its location, as well as the environmental and economic interest, the study focuses geographically on the Otún river basin, on which the management of water resources in agricultural production will be analyzed through the Water Footprint indicator, allowing the identification of strategies and guidelines to reduce the pressure on the ecosystems present.

Keywords: footprint, water, irrigation, humidity, blue, green, rain.

1. INTRODUCCIÓN

La escasez de agua y el uso ineficiente de este recurso amenazan la futura producción de alimentos en el mundo y, por lo tanto, la seguridad alimentaria y los medios de vida de millones de productores y consumidores (IICA, 2017a), conscientes de esta realidad, se propone analizar la huella hídrica que en un cultivo de cebolla larga junca, presente en la cuenca media del río Otún del departamento de Risaralda.

La cuenca media del río Otún está ubicada en los municipios de Dosquebradas, Pereira y Santa Rosa de Cabal; en este último se encuentran los corregimientos, El Español, El Manzanillo, Santa Barbará, La Capilla y Cedralito y Las Mangas, específicamente en la vereda San Marcos, el cultivo de la cebolla de Rama tiene mayor influencia económica en el área de estudio, con una amplia extensión cultivada. El 80% de la producción de Risaralda (tercer productor de cebolla larga en Colombia) se genera en la cuenca media del río Otún. (Vélez, 2017).

La cebolla larga junca es un cultivo exigente en agua, aun cuando puede resistir largos periodos de sequía sin marchitarse, disminuye su productividad ante la ausencia hídrica. El cultivo requiere entre 20 y 30 mm semanales, la información que se puede encontrar sobre las necesidades hídricas de esta hortaliza es mínima, sin embargo, se considera que el requerimiento de agua está en el rango entre los 200 y 300 m³ por hectárea semanal, dependiendo de la estructura del suelo (Collazos et al. 1998).

La inclusión del cálculo de la huella hídrica en el estudio desarrollado, busca conocer la apropiación frente a la utilización de agua en el cultivo de cebolla larga o junca, mediante la utilización de indicadores que permiten estimar la cantidad de recurso que se encuentra ligado al proceso productivo.

En los trabajos de campo y cálculos para generar indicadores de H.H., se utilizarán herramientas como el software Cropwat8.0, dichos trabajos de campo se llevan a cabo en la **finca Buenavista**, de la vereda San Marcos, municipio de Santa Rosa de Cabal, específicamente en la cuenca media del Río Otún.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Analizar la huella hídrica en un cultivo de cebolla larga o junca, de clima frío-moderado en la cuenca media del Río Otún del departamento de Risaralda.

2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar la zona de estudio determinando las condiciones actuales de uso del recurso hídrico y su relación con sector agrícola.
- Estimar huella hídrica de los sistemas de producción agrícola de cebolla larga en la cuenca media del río Otún.
- Identificar alternativas de gestión integral del recurso hídrico en el sector agrícola, específicamente en el cultivo de cebolla larga junca.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La escasez de agua y el uso ineficiente de este recurso amenazan la futura producción de alimentos en el mundo y, por lo tanto, la seguridad alimentaria y los medios de vida de millones de productores y consumidores (IICA, 2017a), en este sentido, la gestión del recurso hídrico se ha convertido en una necesidad actual para gobiernos locales, regionales y nacionales, requiriendo la implementación de instrumentos de planificación, así como políticas públicas que permitan racionalizar y mejorar la eficiencia en su utilización.

Como herramienta para fortalecer lo anterior, la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico –PNGIRH, formulada por el gobierno colombiano en el año 2010, propone a un horizonte 12 años diferentes estrategias para garantizar la sostenibilidad de estos recursos mediante una gestión y un uso eficiente y eficaz, articulados al ordenamiento y uso del territorio y a la conservación de los ecosistemas que regulan la oferta hídrica, considerando el agua como factor de desarrollo económico y de bienestar social, e implementando procesos de participación equitativa e incluyente (MADS, 2014).

De acuerdo con el diagnóstico elaborado como base para la formulación de la PNGIRH, dentro de las problemáticas y conflictos identificados, los desperdicios e ineficiencias en los sistemas de suministro de agua para actividades productivas, especialmente de tipo agrícola, afectan considerablemente la disponibilidad del recurso en el territorio nacional, poniendo en juego la estabilidad de los diversos sectores socioeconómicos. (Minambiente, 2104).

El sector agropecuario se presenta como el principal usuario de agua en el mundo, y Colombia no es la excepción (IDEAM, 2015). Las estimaciones realizadas para la formulación de la PNGIRH las demandas de agua por parte del sector agrícola en el año 2010 representaron el 54% del total de los recursos demandados a nivel nacional, estando por encima del uso doméstico, industrial, pecuario y de servicios.(González, M. 2010).

Los problemas de planificación y uso del recurso hídrico en sectores estratégicos como el agrícola, se acrecientan debido a las diferentes presiones que se ejercen sobre los ecosistemas naturales; situaciones como el aumento de la frontera agrícola, la utilización inadecuada de agroquímicos, el manejo de residuos sólidos y ausencia de procesos tecnificados, entre otros, inciden considerablemente en la generación de impactos ambientales no solo en el agua, sino en los recursos naturales.

Para el sector agrícola, el uso del recurso hídrico constituye un desafío en términos de planificación y gestión, el cual se requiere fortalecer con el fin de iniciar acciones orientadas a la adaptación al cambio climático, así como al empoderamiento de la gobernanza del agua como estrategia para garantizar la equidad, accesibilidad y sustentabilidad del recurso.

En este sentido, las estrategias deben integrar nuevos enfoques y metodologías de evaluación, los cuales vinculen indicadores de análisis que permitan comparar sistemas tradicionales de agricultura con nuevos procesos tecnológicos que permitan su tecnificación.

4. JUSTIFICACIÓN

El uso de la Huella Hídrica como herramienta de apoyo a la gestión integral de los recursos hídricos ha sido adoptada en instituciones nacionales. Las proyecciones de demanda hídrica total para Colombia a 2022, elaboradas en el marco del Estudio Nacional del Agua –ENA por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible –MADS y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales –IDEAM en el año 2014, ubican al sector agrícola con los requerimientos más altos en comparación con los demás sectores socioeconómicos, proyectándose un uso de agua total de 39.526 millones de metro cúbicos, representando un incremento del 135,8% en comparación con la información disponible para año 2012.

En este sentido, la información disponible en el año 2010 y 2014 del ENA (estudio que se realiza cada 4 años) ratifican los requerimientos del sector agrícola en términos de recurso hídrico, siendo necesaria la implementación de acciones puntuales frente a su racionalización, así como uso eficiente.

La cuenca hidrográfica como espacio de interacción socioecológica, en la cual confluyen una diversidad de actores, sirve como soporte para las relaciones entre el aprovisionamiento de los servicios ecosistémicos y las interacciones sociales, propias de los procesos de desarrollo que dan lugar a los diferentes cambios en las coberturas y usos del suelo. Estas dinámicas requieren a corto y mediano plazo acciones puntuales de planificación, orientadas no solo a la gestión de los recursos hídricos, sino a garantizar un equilibrio entre el componente social y económico, representado en el aprovechamiento de los recursos naturales existentes en estos territorios.

La incorporación del concepto Huella Hídrica como instrumento de análisis y evaluación del estado actual del agua y sus tendencias, fue utilizado en Colombia como componente metodológico en el ENA 2014, siendo el primer estudio nacional desarrollado por una entidad pública que apropia este enfoque. De acuerdo con Arévalo *et al.* (2014), en Colombia se tiene la suficiente cantidad de agua para satisfacer los requerimientos de los sectores económicos agrícola, pecuario, doméstico, energético y minero-energético, así como de la población, no obstante, existen 22 subzonas hidrográficas críticas en donde es clara una competencia entre el sector agropecuario y las áreas protegidas del país, debido a la presión que existe sobre las áreas protegidas declaradas por la ampliación de la frontera agrícola y pecuaria.

El río Otún constituye la principal fuente abastecedora de agua para la ciudad de Pereira (Risaralda) y un territorio estratégico por los diferentes servicios ecosistémicos que allí se desarrollan. Las dinámicas naturales, económicas y sociales presentes en la cuenca media y alta del río Otún, han generado el desarrollo de proyectos de investigación orientados a fortalecer la Gestión Integral de Recurso Hídrico –GIRH, así como procesos enfocados a su planificación mediante la formulación del Plan de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas, el cual se encuentra en desarrollo.

De acuerdo con la Corporación Centro Técnico Arquitectónico (CTA), Good Stuff International Latinoamérica y Caribe (GSI-LAC), Agencia para el Desarrollo y Cooperación

Suiza(COSUDE), IDEAM (2015), la subzona hidrográfica perteneciente al río Otún y otros directos al Cauca (área hidrográfica Magdalena-Cauca) presenta un Índice de Presión Hídrica a los Ecosistemas –IPHE en una categoría “crítica”, siendo una cuenca con competencia entre el sector agropecuario y los ecosistemas estratégicos para la provisión de servicios ecosistémicos, principalmente asociado a la ampliación de la frontera agrícola.

Finalmente, de acuerdo con el ajuste al Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del Río Otún realizado en la fase de diagnóstico y socializado en el año 2018. En la unidad de gestión hidrológica “Zona Alta” que hace referencia al área aferente de la bocatoma multipropósito Nuevo Libare, punto en el que se realiza la captación de agua para los municipios de Pereira y parte de Dosquebradas, se identificó un IUA (Índice de Uso de Agua) en una categoría “MUY ALTO”, situación que evidencia la fuerte presión que presenta el recurso en este punto, razón por la cual el recurso hídrico está presentando agotamiento en este punto. (POMCA Otún, 2017). Cabe resaltar que en esta zona se configuran actividades agrícolas y pecuarias que pueden aumentar la presión sobre el recurso hídrico.

En ésta zona se localiza el primer centro poblado sobre la cuenca (La Florida), en donde se desarrollan actividades agropecuarias, tales como cultivos de cebolla, cilantro, avícolas entre otros. En ésta zona se configura un conflicto alto por el IUA, principalmente debido a la gran demanda en la bocatoma aludida. (POMCA Otún, 2017).

A partir de lo anterior, se considera pertinente realizar un estudio más detallado de la dinámica del recurso hídrico a partir de la utilización del indicador de Huella Hídrica, permitiendo evaluar los sistemas tradicionales de producción y nuevas alternativas para el uso eficiente del agua, como lo son sistemas de riego automatizado por goteo, o un sistema de riego tipo santeno, con el fin de proponer alternativas de gestión del recurso, así como lineamientos para su conservación.

5. MARCO DE REFERENCIA

5.1. Marco Teórico.

5.1.1. Sostenibilidad hídrica en el sector agrícola.

La sostenibilidad hídrica es el desarrollo de la agricultura manteniendo un equilibrio entre el agua usada y el agua devuelta y manejando una oferta y demanda, buscando que la demanda sea igual o menor en la medida de lo posible a la oferta.

Para la medición de esto existe un término creado por Hoekstra y Hung llamado la huella hídrica, la cual es un indicador que refleja el impacto del consumo humano en la oferta hídrica. Este indicador contempla el uso directo e indirecto de agua, en este caso en el sector agrícola. La H.H. se mide por volumen de agua consumida, evaporada o contaminada en un tiempo o espacio determinado.

La huella hídrica se divide en tres “sub huellas” las cuales son la huella hídrica azul (H.H.A.), la huella hídrica verde (H.H.V.) y la huella hídrica gris (H.H.G.); la huella H.H.A. es el agua extraída de una fuente superficial (rio, lago, quebrada, entre otros) o una fuente subterránea, la H.H.V. es el agua extraída de la lluvia que no hace parte de una escorrentía, y la H.H.G. es el volumen de agua contaminada por la producción de algún sector productivo.

La Huella Hídrica Azul da a conocer la demanda de los productos asociados a sistemas de riego, y permite identificar resultados muy precisos del impacto de los diferentes sectores productivos para los que no es suficiente con la oferta hídrica natural. En el caso de la Huella Hídrica Azul se habla de un recurso hídrico captado y conducido hacia los diferentes sectores productivos que no reciben la suficiente oferta natural, lo que deriva en una escasez y esto a su vez en una competencia entre los diferentes sectores por el control de estas fuentes hídricas.

La evaluación de la huella hídrica permite cuantificar la oferta y la demanda hídrica, en los diferentes sectores productivos, permitiendo generar planes para resolver conflictos relacionados que se sucedan en dichos sectores; por esto se debe fomentar y apoyar los estudios de huella hídrica. (ENA, 2014).

5.1.2. Orígenes.

La Huella Hídrica –H.H. ha surgido como un enfoque importante para evaluar los efectos relacionados con el consumo de bienes y servicios (Pfister *et al.*, 2017). Inicialmente, Allan (1997) introduce el concepto integrando el componente de Agua Virtual (VW), el cual hace referencia a que el mayor contenido de este recurso utilizado para producir un producto sin encontrarse contenido en este.

El desarrollo de este indicador se ha dado a lo largo de muchos años, definiendo conceptos e ideas ya claras en los años noventa (Lovarelliet *al.*, 2016) y siendo los trabajos realizados por

Hoekstra y Hung (2002), Chapagain y Hoekstra (2003), Hoekstra (2003), Oki et al. (2003), Zimmer y Renault (2003) y de Fraiture et al. (2004) los que realizaron los primeros cálculos para determinar los flujos de agua virtual a escala global.

Bajo una explicación más puntual, la huella hídrica se refiere al consumo humano de agua dulce y a la contaminación del agua asociada a un proceso antrópico (apropiación humana de agua dulce). La apropiación del agua se define, en este caso, como un uso consuntivo que se entiende como un uso de agua que, tras una extracción de la fuente natural, no retorna a ella, por lo tanto, no está disponible para otros usos, bien sea porque el agua usada: (1) se ha evaporado, (2) se ha transferido a otra cuenca, (3) se ha incorporado a un producto o (4) se ha contaminado (IICA 2017b).

El marco de referencia para la aplicación de la H.H. se ha fortalecido en los últimos años, existiendo actualmente dos metodologías utilizadas para el cálculo (Vanham y Bidoglio, 2013):

1. El enfoque volumétrico de la Red de Huella Hídrica (WFN): Es el enfoque original desarrollado según Hoekstra y Hung (2002) y se refiere a la cuantificación del contenido de agua requiriendo definir: A. Objetivos y alcance, B. Contabilidad, C. Evaluación de sostenibilidad, D. Respuestas.

2. El enfoque de Análisis del Ciclo de Vida (LCA): Está de acuerdo con la reciente norma ISO 14046 y de manera similar a los estudios de ACV, debe llevarse a cabo de la siguiente manera: A. Definición de objetivo y alcance, B. Evaluación de inventario, C. Impacto, D. interpretación. De acuerdo con el Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable CADIS, Embajada de Suiza en Colombia, Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo COSUDE, el enfoque presentado por la WFN busca cuantificar la cantidad de agua requerida por un consumidor, un producto, una empresa o una región geográfica dividida en componentes azul, verde y gris.

El enfoque de LCA busca cuantificar los impactos potenciales relacionados con el uso de agua en el ciclo de vida del producto, considerando impactos en el ecosistema, salud humana y los recursos.

En este sentido, el IICA (2017a) define la evaluación de H.H. como una metodología que promueve y apoya el uso sostenible del recurso hídrico a través de información transparente y completa sobre el consumo y la contaminación del agua, en relación con la disponibilidad de esta. Lo anterior permite identificar de forma puntual el estado actual de procesos productivos, servicios, personas, áreas geográficas, hasta los requerimientos en términos del recurso para países.

5.1.3. Tipos de agua en la Huella Hídrica.

A partir de lo propuesto por los anteriores autores, el análisis de H.H., parte de los siguientes conceptos:

Huella Hídrica Verde: Volumen de agua lluvia que no se convierte en escorrentía, por lo que se almacena en los estratos permeables superficiales y así satisface la demanda de la

vegetación. Esta agua subterránea poco profunda es la que permite la existencia de la vegetación natural y vuelve a la atmósfera por procesos de evapotranspiración.

Para el sector agrícola en la tabla 2, están diferenciados los resultados por cultivos permanentes, transitorios y pastos de cultivo y a su vez por subzonas hidrográficas; la H.H., se consideró para 21 cultivos permanentes y 18 cultivos transitorios, priorizados en ambos casos. La escala temporal usada es mensual para el ENA 2014, con un impacto relevante en los cultivos transitorios, que conlleva reflexionar el calendario de siembra y de cosecha mensual por municipio y consiente deducir la dinámica geográfica de rotación de cultivos. El café presenta la mayor H.H. verde, le siguen la caña de azúcar y la palma de aceite.

La siguiente tabla muestra la H.H.V. que deja el cultivo de cebolla en millones m³ anuales en Colombia según ENA 2014, estando por encima de cultivos como el tomate, el sorgo y la zanahoria.

Tabla 2. Huella Hídrica Verde anual para el sector agrícola.

<i>Cultivo permanente</i>	<i>H.H.V (Millones de m³)</i>	<i>Cultivo transitorio</i>	<i>H.H.V (Millones de m³)</i>	<i>Pastos</i>	<i>H.H.V (Millones de m³)</i>
Flore y follajes	39,2	Trigo	20,4	Pastos de riego (corte y forraje)	10.826,0
Mora	85,8	Tomate	29,7	--	--
Tomate de árbol	140,4	Zanahoria	30,2	--	--
Guayaba	171,7	Cebolla de bulbo	31,1	--	--
Fique	172,2	Tabaco rubio	32,5	--	--
Piña	202,7	Sorgo	41,0	--	--
Mango	280,6	Cebolla de rama	66,3	--	--
Coco	307,1	Soya	74,4	--	--
Coca	362,4	Arroz secado manual	96,9	--	--
Naranja	400,3	Arveja	102,1	--	--
Aguacate	417,0	Hortalizas	140,3	--	--
Name	444,0	Algodón	145,5	--	--
Caucho	641,0	Frijol	178,8	--	--
Cítricos	711,1	Otros transitorios	223,7	--	--
Banano	933,2	Papa	515,3	--	--
Otros permanentes	1.167,0	Yuca	556,2	--	--
Cacao	1.261,0	Arroz secado mecanizado	1.410,2	--	--
Plátano	5.381,5	Arroz de riego	1.427,9	--	--
Palma de aceite	5.928,9	Maíz	2.078,9	--	--
Caña	6.018,3			--	--
Café	11.822,3			--	--
Total, permanentes	36.887,8	Total, transitorios	7.201,2	Total, pastos	10.826,0

Fuente: Evaluación Multisectorial de la Huella Hídrica en Colombia - 2014.

Huella Hídrica Azul: Volumen de agua dulce extraído de una fuente superficial o subterránea, consumido para producción de bienes y servicios, cubriendo una demanda de agua no satisfecha a causa de un déficit en la disponibilidad de agua procedente de la lluvia.

Dejan una mayor H.H.A. cultivos como la palma de aceite, el plátano y la caña en cultivos permanentes; en cuanto a los cultivos transitorios, la cebolla de rama deja una H.H.A. superior a la de la zanahoria, la cebolla de bulbo y el sorgo, calculado en millones de metros cúbicos. El cultivo con mayor H.H.V. es el café sin embargo no tiene H.H.A. por considerarse cultivo de secano.

La siguiente tabla muestra la H.H.A. que deja el cultivo de cebolla en millones m³ anuales en Colombia según ENA 2014.

Tabla 3. Huella Hídrica Azul anual para el sector agrícola.

Cultivo permanente	H.H.A (Millones de m ³)	Cultivo Transitorio	H.H.A (Millones de m ³)	Cultivo de pastos	H.H.A (Millones de m ³)
Coca	0,01	Soya	0,6	Pastos de forraje	432,1
Fique	11,2	Trigo	1,8	Pastos de corte	1.744,8
Piña	14,2	Tomate	3,2	--	--
Mora	15,5	Sorgo	4,8	--	--
Guayaba	16,3	Tabaco Rubio	5,1	--	--
Flores y follajes de campo	21,9	Cebolla de bulbo	6,3	--	--
Aguacate	28,3	Zanahoria	6,6	--	--
Coco	29,2	Cebolla de rama	8,1	--	--
Tomate de árbol	32,9	Frijol	10,0	--	--
Naranja	33,3	Arveja	10,3	--	--
Flores y follajes de invierno	34,1	Algodón	13,3	--	--
Cítricos	62,5	Hortalizas	27,9	--	--
Caucho	63,5	Otros transitorios	42,7	--	--
Cacao	119,4	Yuca	47,2	--	--
Mango	133,4	Maíz	103,2	--	--
Otros permanentes	163,3	Papa	111,7	--	--
Ñame	212,0	Arroz de riego	444,4	--	--
Banano	238,2			--	--
Caña	774,9			--	--
Plátano	938,3			--	--
Palma de aceite	975,7			--	--
Total, Permanentes	3.918,4	Total, de transitorios	847,1	Total, pastos	2.176,9

Fuente: Evaluación Multisectorial de la Huella Hídrica en Colombia – 2014.

Huella Hídrica Gris: Volumen de agua necesaria para que el cuerpo receptor reciba el vertido contaminante asociado a la cadena de producción y/o suministro sin que la calidad del agua supere los límites permitidos por la legislación vigente. Se calcula como el volumen de agua adicional teórica necesaria en el cuerpo receptor, por lo que no se refiere a generar un nuevo consumo, sino a reducir el volumen de contaminante.

A partir del enfoque metodológico planteado por Hoekstra *et al.*, (2011), la evaluación de la H.H. contempla cuatro (4) fases secuenciales que buscan conocer los impactos que se presentan sobre el agua dulce, los cuales se derivan de procesos antrópicos, de igual manera, identificar el grado de sostenibilidad de estos de acuerdo con el área o zona geográfica donde se desarrollan.

En la siguiente imagen se relaciona las diferentes fases necesarias para el desarrollo de la evaluación de la H.H.



Imagen 1 . Fases de la evaluación de la Huella Hídrica.

Fuente: Adaptado por IICA, (2017a) a partir de Hoekstra *et al.*, (2011)

Los resultados obtenidos requieren fundamentalmente la evaluación de la sostenibilidad, lo cual consiste básicamente en determinar si las características hídricas de la unidad de análisis tienen la capacidad de satisfacer los requerimientos de agua para el desarrollo de las actividades propias de cada unidad territorial; por lo tanto, se analiza desde dos componentes: la evaluación de la Huella Hídrica Verde –H.H.V. y la de la Huella Hídrica Azul –H.H.A. (CTA; GSI-LAC; COSUDE; IDEAM, 2015).

La aplicación de la H.H. se ha dado en diferentes sectores productivos. Su desarrollo ha permitido principalmente determinar la presión que ejercen estos sectores sobre el recurso hídrico, de igual manera, identificar y proponer alternativas que permitan fortalecer su gestión. La evaluación de H.H. se ha realizado a nivel de Latinoamérica con aplicación en diferentes sectores productivos, en la siguiente tabla se relaciona algunos de estos, así como la metodología utilizada.

Tabla 4. Estudios de Huella Hídrica en Latinoamérica utilizando las metodologías WFN y LCA.

Autor(es)	País	Área de estudio	Metodología*
Arena et al., (2011)	Argentina	Soya	WFN
Valenzuela (2011)	Chile	Producción de cobre	WFN
Arévalo et al., (2011)	Colombia	Producción agrícola nacional	WFN
Güereca et al., (2011)	Latinoamérica y el Caribe	Tratamiento de aguas residuales	LCA

Autor(es)	País	Área de estudio	Metodología*
Farell et al., (2011)	México	Trigo	LCA
Arévalo (2012)	Colombia	Productos agrícolas relevantes	WFN
Vásquez y Buenfil (2012)	Latinoamérica	Diferentes sectores socioeconómicos	WFN
Franke y Castro (2012)	Brasil	Productos cosméticos	WFN
Farell et al., (2013)	México	Agua de uso público	LCA
Farell (2013)	México	Diferentes sectores socioeconómicos	LCA
CTA, Suiza Agua Colombia y Cosude (2013)	Colombia	Cuencas hídricas	WFN
Gobierno de la provincia de San Luis (2013)	Argentina	Agrícola y pecuaria	WFN
Ran et al., (2013)	Uruguay	Ganadería	WFN
Peña et al., (2013)	Chile	Producción de cobre	WFN
Vanegas et al., (2013)	Colombia	Producción de Lirio Japonés	WFN
Servicios Ambientales S.A. - (2013)	Quito	Embotellado de bebidas	WFN
Fernanda Franca Ferreira (2014)	Brasil	Energía eléctrica	WFN
Ximena Vanessa Echeverri Bedoya (2014)	Colombia	Piedra caliza	WFN
Moyano Salcedo A, Tieri, M. P y Herrero, M. A. (2015)	Argentina	Leche	WFN
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - INTA (2015)	Argentina	Leche	WFN
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - INTA (2015)	Argentina	Maní	WFN
Universidad de Pamplona. GAIA Servicios Ambientales (2015)	Colombia	Cacao	WFN

Fuente: Autor a partir CADIS (2016)

* WFN: Water Footprint Network - LCA: Life Cycle Assessment.

De acuerdo con los anteriores estudios, la evaluación de H.H. tiene una aplicación predominante en el sector agrícola, relacionado principalmente con los requerimientos en términos de utilización del recurso, así como los factores adversos que se desprenden de una inadecuada gestión.

5.1.4. Estado del Arte

5.1.4.1. Antecedentes de la huella hídrica.

Quien primero hablo del concepto de Huella Hídrica fue Wackernagek, M. y Rees, W. en el año 1996; siendo comparativamente nuevo, Hoekstra & Hung, (2002), desde entonces ha

logrado avances y progresos continuos, pero siempre teniendo como antecedentes la Huella Ecológica (HE) y la Huella de Carbono (HC).

La concepción original de H.H. por Wackernagek y Rees, en el año 1996, fue como una herramienta para evaluar el contenido de agua escondida en todos los bienes y servicios consumidos por una persona o conjunto de personas de un área definida, como un continente, país o ciudad, en equivalencia con la Huella Ecológica como concepción que admite examinar el impacto de las costumbres de vida y consumo de la población desde un escenario de recursos naturales percederos.

Este concepto ha ampliado su rango de aplicación convirtiéndose en un instrumento suplementario de los convencionales para la gestión integral del Recurso Hídrico (GIRH) en una cuenca. La huella hídrica se basa en el desarrollo amplio de tres conceptos previos: agua verde, agua azul y agua virtual, los cuales proveen la mayor parte de la base conceptual y metodológica, (ISO-14036 2014).

5.1.4.2. Agua verde

Presentado por primera vez en el año 1993, por la profesora Malin Falkenmark (FAO, 2000), como la humedad del suelo, con la intención de dar signos que concientizaran en lo referente a el agua aprovechable para el desarrollo de la biomasa y su contribución en la evapotranspiración. Este concepto inicial fue actualizado posteriormente por la FAO, como el flujo vertical de agua, dicho de otra forma, agua acumulada en el suelo que soporta la vegetación en secano y que se conserva 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, (ISO-14036 2014).

5.1.4.3. Agua azul.

Se expone entonces por (FAO 2000), que, como consecuencia de la definición de agua verde, se creó la definición de agua azul, que paso a significar el flujo horizontal del agua, constituida por las fuentes superficiales, ríos y lagos, escorrentías y las fuentes de agua subterránea, acuíferos. El agua azul se presenta como un concepto que agrupa en una sola idea todo el recurso hídrico superficial y subterráneo que representa la visión convencional de la Gestión Integral del Recurso Hídrico, (ISO-14036 2014).

5.1.4.4. Agua virtual.

A comienzos de los años noventa, fue interpuesto por John Anthony Allan, el concepto de agua virtual, el cual se refiere al volumen de agua utilizada o contaminada para la elaboración de un producto o servicio, dicha agua se mide en el desarrollo de su cadena de provisión, de esta manera si algún estado importa o exporta algún producto, también está haciendo, el agua virtual la cual fue usada en la elaboración de 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, (ISO-14036 2014).

Al igual que se dio el significado de huella de carbón, para calcular la cantidad de dióxido de carbono de un producto, John Anthony Allan en 1998 planteo el concepto de agua virtual, observando la opción de importar agua virtual, aplicado como solución parcial al déficit de agua en el Medio Oriente. Allan elaboro la idea de usar el agua virtual de importación como una herramienta para liberar la presión sobre los recursos hídricos apenas internos disponibles” (Hoekstra, 2008). De allí la idea de usar la importación de agua virtual contenida en los alimentos como una fuente alternativa de agua para liberar la presión sobre los recursos hídricos escasos (Hoekstra & Chapagain, 2007).

Anterior a la exposición de esta idea Hoekstra y Hung en el año 2002, calcularon los volúmenes de todos los flujos de agua virtual que se comerciaron entre los estados en el periodo comprendido entre los años 1995 y 1999; los resultados mostraron que el volumen total de comercio de agua virtual del sector agrícola fue de $695 \text{ Gm}^3 \text{ año}^{-1}$, en promedio, esta cifra corresponde al 13% de agua utilizada para la producción agrícola en el mundo que asciende a $5400 \text{ Gm}^3 \text{ año}^{-1}$ (Rockstrom et al., 2001), demostrando que la producción agrícola del mundo se utiliza en su mayoría para exportación y no para consumo interno.

Otro estudio de importancia fue el desarrollado por Mekonnen y Hoekstra titulado “Agua Azul, Verde Y Gris de Cultivos y Productos Derivados de los Cultivos”, pondero la Huella Hídrica del sector agrícola mundial en el periodo comprendido entre 1996 y 2005, discurrendo un balance de agua dinámico, en el cual se identificaron que en promedio las Huellas Hídricas de los cultivos primarios, por tonelada de cultivo son: Azúcar ($200 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$), verduras ($300 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$), raíces y tubérculos ($400 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$) y frutas ($1000 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$). En cuanto a las huellas hídricas de los biocombustibles se demostró que el biodiesel, posee una huella hídrica superior que el bioetanol (Hoekstra et al., 2011).

A nivel nacional, Arévalo (2011), asumió como meta establecer los impactos, asociado al proceso de actividades, económicas y sociales y su importancia frente a la disponibilidad del recurso hídrico. Esta investigación logro establecer que la huella hídrica del sector agrícola en Colombia en el año 2008, fue la siguiente: Huella hídrica verde $34.242 \text{ Mm}^3 \text{ año}^{-1}$, huella hídrica azul $2.804 \text{ Mm}^3 \text{ año}^{-1}$, huella hídrica gris $2.098 \text{ Mm}^3 \text{ año}^{-1}$, produciéndose un total de huella hídrica para el sector agrícola de $39.144 \text{ Mm}^3 \text{ año}^{-1}$.

Los diferentes conceptos de Huellas Hídricas, son indicadores que admiten tomar disposiciones, a distintos niveles, en el campo de las políticas estatales e institucionales, como en los cambios pedagógicos de las sociedades, en la busque de la sostenibilidad hídrica.

5.2. Metodologías para evaluación y medición de la Huella Hídrica.

Actualmente existen varias Metodologías utilizadas para el cálculo de la Huella Hídrica, sin que este estandarizado cual es la más idónea, (Chenoweth et al., 2013).

Metodología de la Huella Hídrica de la WFN.

Para esta investigación, es de gran importancia la metodología desarrollada por la WFN, la cual está agrupada en la contabilización del agua usada. Esta metodología esta poco evolucionada en lo concerniente a la evaluación de los impactos, aun cuando ahonda en la naturaleza, de la utilización del agua, reconociendo y caracterizando los riesgos. Sus precursores argumentan que un índice agregado no es la intención del enfoque (Hoekstra et al., 2009). Si bien la huella hídrica en términos de volumen es útil desde la perspectiva de la gestión de los recursos hídricos y la cuantificación del uso de agua, no refleja los potenciales impactos ambientales del uso del agua, debido, por ejemplo, a la escasez de agua (Jeswani & Azapagic, 2011).

La “evaluación del impacto” en la metodología de la huella hídrica propuesta por la WFN se conoce como “evaluación de la sostenibilidad”. El primer término se dejó de emplear debido a que el concepto "evaluación de la sostenibilidad" refleja mejor lo que se pretende abarcar (Hoekstra et al., 2011).

Estos métodos valoran la sustentabilidad de la H.H. asumiendo los impactos al patrimonio hídrico y sus efectos tanto en la cuenca como a los beneficiarios; dándole la correspondiente importancia a los impactos ambientales en la exploración de la sostenibilidad. “Este impacto ambiental local depende de la escasez y el nivel de contaminación del agua en las cuencas en que se encuentra la huella hídrica” (Hoekstra et al., 2011). Razón por la cual la evaluación de la sostenibilidad se debe llevar a cabo mediante la evaluación de las dimensiones ambiental, social y económica, pilares que se ajustan al propósito de la H.H. como una herramienta destinada a facilitar el uso eficiente, equitativo y sostenible de los recursos hídricos (UNEP&KOICA, 2010).

Para Hoekstra et al., (2011); la primera medida es la sostenibilidad ambiental, la cual está determinada para una cuenca, porque corresponde a la reserva del recurso hídrico en un área y la despliega a los distintos componentes a considerar. En segunda medida, se considera la sostenibilidad social, esta tiene relación con el suplir las necesidades elementales humanas, de una sociedad, en un área establecida. Finalmente, la sostenibilidad económica se da cuando el agua se utiliza de una forma financieramente eficaz.

Como resultado de estas investigaciones, se obtiene la certeza que la evaluación de H.H. es aplicable preponderantemente en el sector agrícola, especialmente en lo relacionado con las necesidades en términos de uso del recurso, de igual manera en los factores desfavorables que se generan de una incorrecta gestión.

5.3. Evapotranspiración.

Radica en la pérdida de agua por dos medios, la evaporación a través de la superficie del suelo y la transpiración del cultivo correspondiente. Estos dos procesos se dan por separado, pero su sumatoria es la denominada evapotranspiración.

5.3.1. Evaporación.

Se denomina así al proceso físico de paso de líquido a gaseoso; esta transformación requiere de energía, la cual proviene de la radiación solar en mayor porcentaje y en menor grado a la temperatura ambiente. No obstante, la evaporación depende de otras condiciones climatológicas como velocidad del viento y la humedad atmosférica además de las ya mencionadas, puesto que, al iniciarse la evaporación, el aire adyacente se colma gradualmente hasta detenerse el proceso, solamente y dependiendo de la velocidad del viento el aire húmedo (cargado de vapor) adyacente es transferido a la atmosfera, dándole paso a un aire seco que continua el proceso.

La cantidad de agua disponible, principalmente en niveles freáticos poco profundos y la cobertura que da el cultivo a los suelos, son factores que también intervienen de manera importante en la evaporación. Las condiciones meteorológicas determinan la evaporación del suelo como superficie evaporante en los casos cuando este es capaz de proveer agua con suficiente velocidad para satisfacer la demanda, sin embargo, cuando aparece la ausencia de lluvias el suelo puede secarse deteniendo el proceso de evaporación, si no existe algún sistema de riego.

5.3.2. Transpiración:

Transpiración: La merma de agua líquida de los tejidos de las plantas por vaporización y su remoción a la atmosfera se denomina transpiración. Agua y nutrientes son absorbidos por las raíces de las plantas hasta llegar a sus hojas donde por pequeños poros denominados estomas y ya convertida en vapor sale hacia la atmosfera, casi en su totalidad. Esta también depende de la contribución de energía al igual que la evaporación, también del gradiente de presión de vapor y de la velocidad del viento.

Entonces la temperatura del aire, la radiación, la velocidad del viento y la humedad atmosférica, son factores importantes para poder determinarla. La regulación de transpiración también es afectada por el tipo de cultivo, el medio donde se ejecuta y las técnicas que se aplican, así como la etapa de desarrollo del cultivo.

La Evapotranspiración (ET), es la sumatoria de los dos procesos descritos inicialmente (evaporación y transpiración), los cuales suceden juntamente y de cierta complejidad para diferenciarlos. La cantidad de radiación que llega al suelo y que es el principal generador de evaporación, depende del ciclo del cultivo y el estado del dosel relacionado con el mayor o menor sombrero que proyecta sobre el suelo. En consecuencia, a medida que aumenta el dosel del cultivo disminuye la evaporación del agua del suelo, pero se incrementa la transpiración de las plantas.

La evapotranspiración se expresa en milímetros (mm) por unidad de tiempo, puede ser por horas, días, meses, años, etc. Para efectuar el cálculo de pérdida de agua por evapotranspiración de una manera sencilla, se puede explicar así: Superficie de una hectárea es igual a 10.000 m², 1 milímetro es igual a 0.001 m, entonces una pérdida de 1 mm equivaldría a 10m³ de agua por hectárea.

En la siguiente imagen, se evidencia el proceso de evapotranspiración; se puede observar que la evaporación es superior al inicio del cultivo y a medida que el cultivo se desarrolla y sombrea el suelo en mayor proporción, se incrementa la transpiración y disminuye la evaporación. Esta etapa media muestra una evapotranspiración constante hasta cierto tiempo de madurez del cultivo. También se observa indicado un factor conocido como el Coeficiente del cultivo (K_c) en sus tres etapas, Inicial ($K_{c\ ini}$), Media ($K_{c\ med}$) y Final ($K_{c\ fin}$).

El Coeficiente del cultivo (K_c), consiste en la diferencia entre la evaporación y transpiración del cultivo de referencia (ET_r), con respecto a un cultivo en particular; de esta forma el (K_c) admite deducir el consumo de agua o evapotranspiración de un cultivo específico a partir de la (ET_r), por medio de $ET_c = K_c * ET_r$.

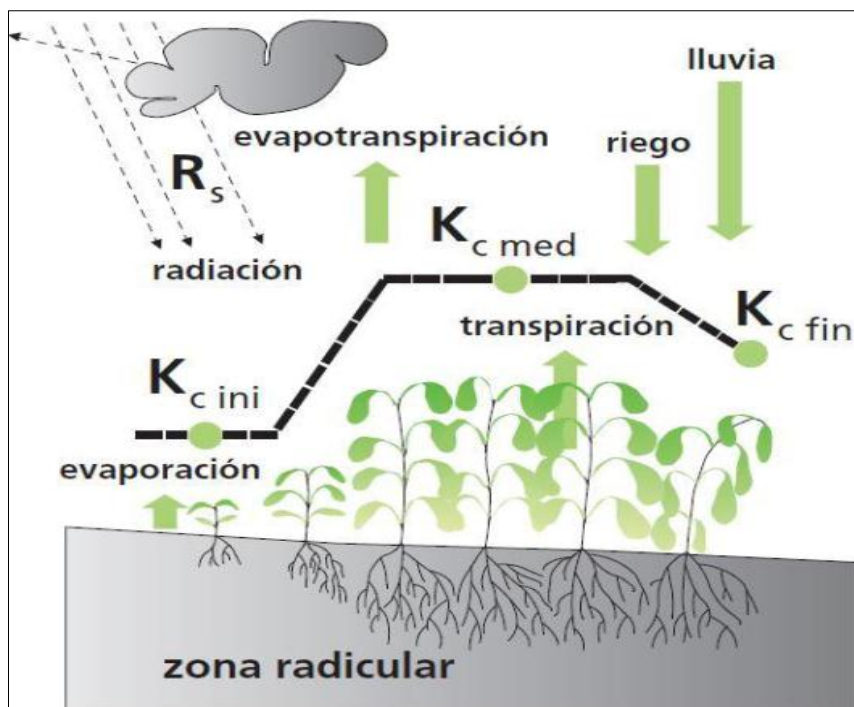


Imagen 2 Proceso de la evapotranspiración.

Fuente: (FAO, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos, 2010).

5.4. Cultivo de cebolla larga o junca (*Allium Fistulosum* L.)

La cebolla de rama, larga, blanca o junca, (*Allium fistulosum* L.), es uno de los productos hortícolas, cuyo cultivo se ha extendido en todo el mundo, dado a su adaptación a una variedad

de climas.

La superficie total plantada de cebolla en el mundo en el año 2011 fue de 4,528,327 hectáreas, produciéndose 85,375.125 toneladas de cebollas secas y 4.867.053 toneladas de cebolla verde, dando como resultado una producción total de 90,242,178 toneladas, como un promedio mundial de 19.92 toneladas por hectárea, (FAO, 2013). Según la Encuesta Nacional Agropecuaria, (DANE, 2014), durante el año 2013 en Colombia se cosecharon 14.533 hectáreas de cebolla de rama o cebolla junca, con una producción de 289.975 toneladas y rendimientos promedio de 39,9 toneladas por hectárea al año. El departamento de Boyacá es el principal productor con 195.358 toneladas que corresponden al 67,4 % de la producción total, seguido por los departamentos de Nariño, Risaralda y Santander. Cabe resaltar que los mayores rendimientos en la producción se presentan en el departamento de Boyacá con 55,2 toneladas por hectárea al año, superando el promedio nacional.

La mayor área sembrada en Colombia de cebolla de rama o larga, que además cuenta con excelentes rendimientos y muy buena calidad está ubicada en el departamento de Boyacá, en el municipio de Aquitania, el cual se encuentra a una altura que oscila entre los 3.000 y los 3.400 msnm.

Esta hortaliza exige altos volúmenes hídricos para mantener buena calidad e idónea producción, por esta razón, en ciertas épocas del año se hace indispensable la aplicación de riego, especialmente en verano o en etapas climatológicas secas. Otras condiciones y caracterización de las áreas a ser ideales para el cultivo de la cebolla larga o de rama, son las expuestas por CORPOICA 2007. Temperatura 11-20 °C, altura sobre el nivel del mar de 1.500 a 3.000 metros, suelos de textura media franca (F) a franco-arcillosa (F_{Ar}), profundos, con buena retención de humedad y medio a alto contenido de materia orgánica, ligeramente ácidos a neutros con pH 6,2-7,3 y no salinos (Corpoica y Asohofrucol, 2004, y Corpoica, 2007).

Según el Boletín Técnico DANE 2016, la cebolla de rama ocupa el tercer lugar en lo relacionado, a área sembrada con 21.055h, después del frijol con 81.813h y la arveja con 31.558h, que ocupan el primer y segundo lugar respectivamente. Sin embargo, en lo relacionado con la productividad, la cebolla larga o de rama ocupa el primer lugar con una producción de 515.810 toneladas, seguidas por el tomate con 382.609 toneladas y las hortalizas de hoja con 256.424 toneladas y una participación del 24,4%, 18,1% y 12,2% respectivamente.

A la cebolla de rama se le puede hacer varios cortes o cosechas, según el estado del cultivo. El primer corte se hace entre los 5 y los 6 meses. Los rendimientos mínimos por corte, están alrededor de las 30 toneladas por hectárea, con un máximo de 75 toneladas y un promedio de 40 toneladas.

El cultivo de la cebolla de rama demanda cantidades importantes de agua para sus procesos metabólicos, los cuales se ven reflejados en un buen desarrollo, crecimiento, producción y calidad del producto; se puede llegar a un consumo directo de una lámina de agua cercana a los 600 milímetros anuales o el equivalente a 6.000 metros cúbicos por hectárea al año. (DANE-2015).

5.5. Sistemas De Riego.

Para la producción de cebolla junca se requiere un gran volumen de agua, ya que el proceso metabólico de esta planta lo demanda así, con el buen manejo del agua se ve reflejada de una manera positiva el crecimiento, la producción y la calidad. El riego debe comenzar justo después de la plantación o resiembra, ya que así lo demanda esta planta, además generalmente el riego se separa en dos partes, uno es para la germinación y el segundo es para el desarrollo, el riego se debe de interrumpir entre 15 y 30 días antes de la recolección. (Delgado, 2017).

Aunque en el cultivo de cebolla larga no puede escasear el agua, tampoco se debe exceder el volumen necesario, ya que esto podría conllevar a humedad excesiva que permiten una mayor probabilidad de que el cultivo sufra de enfermedades generadas por hongos o bacterias como la pudrición de la cebolla que ocasionan innumerables pérdidas en el cultivo.

El sistema de riego más utilizado es el de aspersión, con el cual se debe aplicar correctamente la cantidad de agua necesaria, teniendo en cuenta el tiempo de descarga de acuerdo con el caudal de los aspersores, también se debe tener en cuenta el tiempo de plantado el cultivo, la conservación de la humedad en el suelo y el agua disponible en él, además las condiciones climáticas que tienen que ver con la precipitación, velocidad del viento, temperatura y la radiación solar. Cabe aclarar que durante las temporadas de poca lluvia o en la época de verano es necesario hacer riegos complementarios, no se debe programar el riego por calendario ya que se estaría sobrecargando el cultivo de agua durante las temporadas de lluvias, lo cual provocaría estrés por encharcamiento del suelo o en el verano por falta de agua. (Corpoica, 2004 y Asohofrucol, 2013)

Dependiendo del terreno, disponibilidad hídrica, tipo de cultivo y capacidad económica que se tenga para proyecto agrícola se puede, proponer la tecnificación del sistema de riego, garantizando el incremento en el ahorro de agua y mejoras en las condiciones agro – ecológicas, suministrando la cantidad, calidad y de manera oportuna el agua que garanticen la optimización de la producción.

Entre los diferentes sistemas tenemos:

- 5.5.1. Riego por aspersión: El riego automático por aspersión permite aplicar la cantidad necesaria de agua a la planta en el tiempo requerido, según las etapas de crecimiento del cultivo. De este modo se optimiza la producción, se administran mejor los recursos, como agua y energía, y se disminuyen costos en cuanto al número de operarios.
- 5.5.2. Riego por microaspersión: Es un sistema de riego que permite proyectar el agua en forma de lluvia fina, con la finalidad de cubrir todo el terreno cultivado.

- 5.5.3. Riego por multicompuertas: Este sistema de riego transporta y distribuye el agua de riego dentro del terreno, especial para cultivos de arroz.
- 5.5.4. Riego por goteo: En este sistema de riego el agua es destilada directamente sobre la tierra, permitiendo de cierta manera el ahorro de agua liberada.
- 5.5.5. Riego Subterráneo: Consiste en un sistema de mangueras enterradas a más o menos 30 centímetros de profundidad del suelo cultivado con perforaciones que dejan escapar gotas de agua que mantienen húmedo todos los espacios, ya que el agua sube por capilaridad y el resto se esparce o infiltra.
- 5.5.6. Sistema de riego Santeno: Consiste en una red de cintas planas de polietileno de baja densidad, perforadas a rayo Láser para mayor exactitud, para garantizar la uniformidad de los emisores, así como la eficiencia en la aplicación del agua en el campo. Las cintas están diseñadas y compuestas con elementos que le conceden durabilidad y resistencia, cuyo principio básico es el “riego localizado”, es decir, pequeña intensidad de agua con alta frecuencia, no siendo lo complejo del riego por goteo y aspersión.

5.6. Área de Estudio.

La Cuenca del Rio Otún, ésta localizada en el costado Occidental de la Cordillera Central, en el departamento de Risaralda. Comprende los municipios de Pereira, Santa Rosa de Cabal, Dosquebradas y Marsella, con una superficie de 480,61 Km². Nace en el caño Alsacia, afluente la Laguna del Otún, a una altura de 3980 msnm. Tiene una longitud total de 67 Km. siguiendo un recorrido en sentido Oriente-Occidente, hasta confluir con el río Cauca a los 875 msnm. En su recorrido cruza la conurbación Pereira - Dosquebradas en sentido oriente-occidente, siendo a su vez el límite entre estos municipios.

La cuenca ha sido dividida en tres tramos:

- Cuenca alta, que va desde su nacimiento hasta las Microcuencas Volcanes y La Bananera – La Bella.
- Cuenca media, inicia en la quebrada San José, hasta la desembocadura de la quebrada Dosquebradas.
- Cuenca baja, a partir de la microcuenca Combia Alta hasta su desembocadura en el río Cauca. De acuerdo con la sectorización hidrográfica, se definen las Microcuencas que hacen parte de cada una.

La siguiente imagen muestra el mapa de ubicación de la cuenca del rio Otún y su ubicación geopolítica.

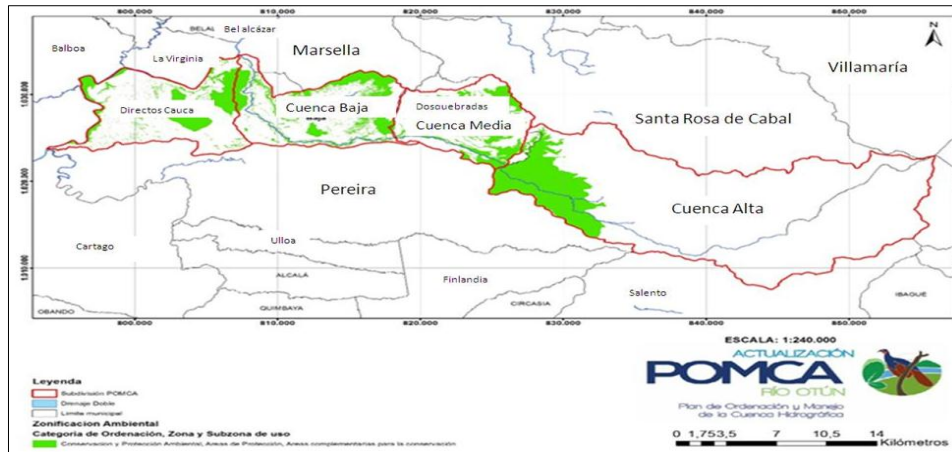


Imagen 3 Ubicación de la cuenca río Otún.

Fuente: POMCA Río Otún 2017.

El perfil longitudinal del río Otún, es cóncavo hacia la parte alta. La pendiente varía desde un 27% en la parte alta, 5% en la parte media y 2% en la parte baja, significando que la velocidad del flujo, su capacidad de erosión y arrastre de materiales disminuye aguas abajo. CARDER 2008.

La cuenca del río Otún se asemeja a una forma oval oblonga, lo que significa que es poco susceptible a las crecidas, ya que su coeficiente se aleja de 1, que es cuando la cuenca es más peligrosa por su tendencia a ser redonda. Esta forma de la cuenca, significa que el tiempo de concentración es mayor, es decir, que retarda la acumulación de las aguas al paso del río por su punto de desagüe, CARDER 2008.

Tabla 5. Parámetros morfométricos de la cuenca del río Otún.

PARÁMETRO	VALOR
Ancho promedio (Ap)	6.62 Km
Factor de forma (Ff)	0.09
Coefficiente de compacidad (Kc)	2
Densidad de drenajes	3.60 Km/Km ²

Fuente: CARDER 2008.

De acuerdo al documento “Sectorización Hidrográfica Del Departamento De Risaralda”, construido por la CARDER en el año 2004, la cuenca del río Otún está conformada por 5 subcuencas que son: Río Barbo, Río Azul, quebrada Dosquebradas, río San José y quebrada Combia; estas a su vez contienen 50 Microcuencas y franjas hidrográficas con áreas que oscilan entre 300 y 2500 hectáreas.

En 1997 se ejecutó el primer estudio de oferta y demanda hídrica en la zona oriental del departamento, margen derecha del río Cauca (subregión 1), por la CARDER, Las Empresas públicas de Pereira (desaparecidas) y el Comité de Cafeteros de Risaralda. Este estudio se realizó por medio del postgrado en aprovechamiento de recursos hidráulicos de la Universidad

Nacional de Medellín, utilizando el Software HidroSg. Java.

Este Software admite la modelación de algunas variables hidrometeorológicas como evaporación, temperatura y precipitación; crea cálculos hidrológicos a largo plazo, establece caudales máximos y mínimos, por el procedimiento de las características medias y cálculo de curva de duración de caudales en cualquier lugar de la zona de estudio, teniendo como materias la investigación general hidrográfica seleccionada por las diferentes entidades ya nombradas, incluso el IDEAM, la CHEC y consultores privados.

Aguas y Aguas de Pereira ha realizado la actualización de este balance hídrico en los años 2004 y 2009, obteniendo resultados de caudal medio de 9.86 m³/s en la cuenca alta del río Otún (estación la Bananera). Partiendo de los 9.86 m³/s, caudal medio a la altura de la estación la Bananera, reduciendo el 25% correspondiente al caudal ecológico o sea 1.77m³/s, tendríamos como oferta hídrica neta disponible en la cuenca alta del río Otún 8.09m³/s. CARDER 2008.

En la siguiente tabla se puede distinguir las áreas y los porcentajes de utilización de los suelos, a lo largo de la cuenca del río Otún; se observa que, en los municipios de Pereira y Santa Rosa de Cabal, sumados el uso agrícola y pecuario, superan el área de bosque y se acercan al área de paramo lo cual da una idea de las causas de la presión ejercida sobre la misma.

Tabla 6. Usos De Suelo Rural Agrupados por Municipio.

Municipio	Agrícola		Pecuario		Bosque		Vegetación De Páramo	
	Área (Ha)	%	Área (Ha)	%	Área (Ha)	%	Área (Ha)	%
Pereira	3967,7	8,2	4558,2	9,5	5916,6	12,3	6046,1	12,6
Dosquebradas	2367,2	4,9	1668,0	3,5	1432,2	3,0	0,0	0,0
Santa Rosa de Cabal	469,9	1,0	2796,3	5,8	12314,9	25,6	4265,9	8,9
Marsella	12,1	0,0	93,3	0,2	11,3	0,0	0,0	0,0
Total	6816,9	14,1	9115,8	19,0	19675,0	40,9	10312,0	21,5

Fuente SIG CARDER – 2014.

5.7. Índice de Presión Hídrica a los Ecosistemas.

Estudios nacionales referentes a índices relativos al agua efectuados con anterioridad al ENA 2014, denominan el indicador de índices de presión al recurso hídrico como “Escasez de Agua Azul y Escasez de Agua Verde”. El IDEAM ha considerado pertinente, cambiar este nombre con el fin de obtener coherencia y conformidad con trabajos anteriores realizados, por Índice de Agua no Retornada a la Cuenca (IARC) e Índice de presión Hídrica a los Ecosistemas (IPHE) respectivamente.

El crecimiento de la frontera agrícola, afecta de manera directa la sostenibilidad del abastecimiento de los servicios ecosistémicos en las cuencas. Se han determinado 6 clases de valores que admiten determinar el estado del indicador, en cada una de las subzonas en

Colombia. Estas son estado Crítico, valores mayores a 1; Muy Alto valores entre 0.8 y 1; Altos, para valores entre 0.5 y 0.8; Moderado, valores entre 0.3 y 0.5 y Bajo y Muy Bajo para valores por debajo de 0.3.

La tabla que se plantea a continuación, muestra la posición que ocupa el río Otún en lo referente al Índice de Presión Hídrica a los Ecosistemas (IPHE), ubicando esta cuenca en el octavo lugar entre las 22 subzonas hidrográficas (SZH), presentando un IPHE, crítico.

El cálculo de Índice de Presión Hídrica a los Ecosistemas, se consigue dividiendo la sumatoria de la H.H. Verde total del sector agropecuario, entre la Disponibilidad de Agua Verde (DAV) total por subzona Hidrográfica; entonces la ecuación quedaría de la siguiente forma:

$$IPHE = \frac{\Sigma HHVerde}{DAV}$$

Tabla 7. Subzonas Hidrográficas Con IPHE Crítico.

SZH	Subzona hidrográfica	Área hidrográfica	IPHE
3501	Río Metica (Guamal-Humadea)	Orinoco (3)	1,77
4505	Río Luisa	Amazonas (4)	1,47
2634	Río Cali	Magdalena Cauca (2)	1,44
2405	Río Sogamoso	Magdalena Cauca (2)	1,34
2314	Río Opón	Magdalena Cauca (2)	1,26
2903	Canal del Dique margen derecho	Magdalena Cauca (2)	1,22
1204	Río Canaleta y otros arroyos Directos del Caribe	Caribe (1)	1,21
2613	Río Otún y otros directos al Cauca	Magdalena Cauca (2)	1,21
2303	Directos al Magdalena entre ríos Seco y Negro (md)	Magdalena Cauca (2)	1,20
1303	Bajo Sinú	Caribe (1)	1,19
1206	Arroyos Directos al Caribe	Caribe (1)	1,18
2637	Ríos Las Cañas, Los Micos, y Obando	Magdalena Cauca (2)	1,16
2120	Río Bogotá	Magdalena Cauca (2)	1,14
2607	Río Guachal (Bolo, Fraile y Parraga)	Magdalena Cauca (2)	1,13
2904	Directos al Bajo Magdalena entre Calamar y desembocadura al mar Caribe (mi)	Magdalena Cauca (2)	1,10
2609	Río Amaime y Cerrito	Magdalena Cauca (2)	1,09
2615	Río Chinchiná	Magdalena Cauca (2)	1,07
1116	Río Tolo y otros Directos al Caribe	Caribe (1)	1,07
2601	Alto Río Cauca	Magdalena Cauca (2)	1,04
2632	Ríos Guabas, Sabaletas y Sonso	Magdalena Cauca (2)	1,04
2612	Río La Vieja	Magdalena Cauca (2)	1,02
5310	Río Anchicayá	Pacífico (5)	1,00

Fuente: Evaluación multisectorial de la huella hídrica en Colombia (2014).

El Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica (POMCA) del río Otún (2017), desarrollado por la CARDER, con el concurso del Consorcio de Ordenamiento Cuenca Otún (2016), ilustra el uso del suelo en la cuenca del río Otún.

El área total del POMCA Otún 2017, asciende a 56.840 Hectáreas y está ubicado en el centro

occidente de Colombia; en lo referente a la cobertura y usos de la tierra y específicamente al uso agrícola se observa un alto porcentaje dedicado a café y cultivos permanentes arbustivos con el 4.81% de cobertura, cultivos de caña y plátano con 1.54%, la sumatoria de sorgo y maíz el 0.22% y finalmente la cebolla con el 0.05%, equivalente a 2.842 Hectáreas aproximadamente.

La siguiente tabla con información extraída del POMCA río Otún 2017, muestra el posicionamiento de la cebolla frente a otros cultivos predominantes de la cuenca.

Tabla 8. Usos del suelo en la cuenca del río Otún.

CATEGORÍA DEL CULTIVO	TIPO DE CULTIVO	Ha.	%
Cereal	Maíz	102	0,22
	Sorgo	19,6	
Leguminosas	Confinados	--	0,02
Hortalizas	Cebolla	--	0,05
Cultivos permanentes herbáceos	Caña	--	1,54
	Plátano	--	
Cultivos permanentes arbustivos	Café	--	4,81
	Perm. Arbustivos	--	
Cultivos permanentes arbóreos	Cítricos	--	0,5
Pastos limpios		--	6
Pastos arbolados		--	1,8
Pastos enmalezados		--	0,22
Mosaicos cultivos		--	1,6
Mosaico pastos y cultivos		--	6,9
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales		--	7
Mosaico de pastos con espacios naturales		--	0,38
Mosaico de cultivos y espacios naturales		--	1,65
Bosque denso	Alto de tierra firme	15,628	27,57
	Bajo de tierra firme	44	
Bosque abierto	Alto de tierra firme	--	0,87
	Bajo de tierra firme	--	
Bosque fragmentado	Con pastos y cultivos	--	3,3
	Con vegetación secundaria	--	
Bosque de galería y ripario		--	5,42
Plantación forestal	Pino	--	2,58
	Eucalipto	--	
Herbazal	Denso de tierra firme no arbolado	--	17,8
	Denso de tierra firme arbolado	--	
	Denso inundable no arbolado	--	
	Denso inundable arbolado	--	
Arbustal	Arbustal abierto	--	0,15
Zonas arenosas naturales		--	--
Afloramientos rocosos		--	0,41
Tierras desnudas y degradadas		--	0,23
Zonas quemadas		--	0,01

CATEGORÍA DEL CULTIVO	TIPO DE CULTIVO	Ha.	%
Zonas glaciares y nivales		--	1,75
Vegetación acuática sobre cuerpos de agua		--	0,01
Lagunas, lagos y ciénagas naturales		1,5	--
Cuerpos de agua artificial		--	0,01

Fuente: Elaboración propia (POMCA 2017).

6. MARCO LEGAL

En lo referente al marco jurídico y a la normatividad que tienen que ver con estudios, investigaciones y en general con la gestión del recurso hídrico su sostenibilidad, preservación, huella hídrica aplicables a la agricultura en Colombia, se pueden citar los siguientes documentos:

Las protecciones de los recursos hídricos en Colombia se encuentran mencionados y comprendidos en el Decreto Ley 2811 de 1974, por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Renovables y de Protección al Medio Ambiente, determina en su Artículo 134º.- “Corresponde al Estado garantizar la calidad del agua para consumo humano, y en general, para las demás actividades en que su uso es necesario”. La Ley 09 de 1979, por la cual se dictan medidas sanitarias que determina las normas generales que servirán de base para las reglamentaciones necesarias las cuales deben cumplirse para garantizar la protección de la salud humana. El Decreto 1594 de 1984, en esta norma se realiza una reglamentación parcial de los Decretos 2811 de 1974 y la Ley 09 de 1979 por el cual se dictan Medidas Sanitarias, esta reglamenta el uso del agua y el manejo de los residuos líquidos en el país, esta norma también fue llamada marco nacional.

En la Constitución Política de 1991, se mencionan a través de 43 artículos, los principales deberes del Estado para la protección del medio ambiente y su relación con la sociedad, el marco de acción, su misión y la sostenibilidad en su ejecución. Se establece la Ley 99 de 1993 por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental SINA y se dictan otras disposiciones.

Aun cuando el concepto de Huella Hídrica no se incluye en el marco legal, existe interés en conocer estudios nacionales certificados por Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo, IDEAM y otras corporaciones ambientales gubernamentales para concertar el concepto de huella hídrica e incorporarlo como herramienta de política en el futuro (Arévalo et al., 2011).

Se relacionan algunos de los estudios realizados en Colombia. Podemos destacar “Estudio Nacional de Huella Hídrica Colombia Sector Agrícola (Arévalo, 2011.)”, donde se resalta el sector agrícola como el primer consumidor de agua en Colombia para el año 2008 y se concluye bajo tres grupos objetivos frente a la gestión del agua; (Sector Público, Sector privado y Sociedad Civil), las orientaciones para la realización de nuevos estudios. De igual manera el manejo de material generado a partir de los resultados de estudios de HH y así, identificar y cuantificar impactos y generar normas reguladoras.

El estudio Agro-industria cañera y uso del agua: análisis crítico en el contexto de la política de agrocombustibles en Colombia publicado también en el año 2011, deja un reto a las autoridades ambientales en Colombia para la gestión de estrategias y normas que conlleven a la preservación del recurso hídrico, dado el dinamismo en el consumo por concesiones y en general por las necesidades del cultivo como tal y sus políticas de cobros por agua, tasas

retributivas etc.

Para el año 2013 se publica Huella Hídrica en la Cuenca del Río Porce donde las autoridades ambientales (CORANTIOQUIA y CORNARE), basados en esta investigación tienen una perspectiva extensa, que sirve para la toma de decisiones en términos de regulación conducente a prevenir posibles escenarios adversos, también para la vigilancia, control, cumplimiento y ejecución de la reglamentación vigente en la cuenca.

Investigaciones como Producción de Lirio Japones Vanegas et al.,(2013) y Huella Hídrica en cultivo de tomate PRIAS (2015), si bien no hacen aporte para la implementación de normatividad directamente, si sirve como base para nuevas investigaciones y avance en el conocimiento de la huella hídrica y las aplicaciones de los resultados de su cálculo.

La siguiente tabla relaciona los estudios de Huella Hídrica que se han desarrolla en Colombia, los cuales han estado orientados en diferentes sectores productivos, principalmente el agrícola.

Tabla 9 Estudios de Huella Hídrica realizados en Colombia.

Autor(es)	País	Área de estudio	Metodología*
Mario Alejandro Pérez; Miguel Ricardo Peña; Paula Álvarez (2011)	Colombia	Sector Agrícola cañera	WFN
Arévalo et al., (2011)	Colombia	Producción agrícola nacional	WFN
Arévalo (2012)	Colombia	Productos agrícolas relevantes	WFN
CTA, Suiza Agua Colombia y Cosude (2013)	Colombia	Huella Hídrica en la Cuenca del Río Porce	WFN
Vanegas et al., (2013)	Colombia	Producción de Lirio Japonés	WFN
Andrés Julián Prias Gómez, (2015)	Colombia	Huella Hídrica en cultivos de tomate	WFN
Jenny Catherine Castañeda Mora Julieth Alexandra Ramírez Arango, (2016)	Colombia	Cultivo De Cebolla De Bulbo	WFN

Fuente: Elaboración Propia.

7. METODOLOGÍA

Los aspectos metodológicos se desarrollarán a partir de lo definido por Hoekstra *et al.*, (2011) en el documento “The Water Footprint Assessment Manual”, de igual manera y considerando la ubicación geográfica, contemplan igualmente los lineamientos propuestos por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura -IITA en la “Guía metodológica para la evaluación de la huella hídrica en una cuenca hidrográfica”.

La selección de la metodología se realizó a partir de los siguientes criterios:

- Antecedentes investigativos.
- Coherencia de la metodología con los objetivos del proyecto de investigación.
- Aplicación y desarrollo de la metodología de H.H. en el sector agrícola.
- Existencia de software especializado para la aplicación directa en el sector agrícola.

A partir de lo dispuesto por Hoekstra *et al.*, (2011), se propone el siguiente diseño metodológico ajustado a las características e intencionalidades del proyecto:

7.1. Caracterización de la zona de estudio en términos de Gestión de Recurso Hídrico:

La etapa del proyecto se orienta en caracterizar las condiciones actuales de los sistemas de producción agrícola en la cuenca media del río Otún, identificando las diferentes dinámicas y procesos que requieren la utilización del recurso hídrico, así como las condiciones y herramientas utilizadas para el proceso productivo.

Como actividad inicial, se realizará la revisión bibliográfica y de información secundaria relacionada con la zona de estudio, especialmente la cuenca media del río Otún. Como resultado, se obtendrá una caracterización inicial que permita identificar la dinámica de la producción agrícola en la zona de estudio y su relación con la utilización del recurso hídrico. Mediante visitas de campo y valoración realizada en los cultivos priorizados, se obtendrá la siguiente información para el cálculo de la H.H.:

- Datos climáticos y de precipitación para la cuenca media del río Otún.
- Caracterización de los usos del suelo.
- Datos de riego de los cultivos priorizados.
- Características del suelo en el área de estudio.

7.2. Análisis de Huella Hídrica

A partir de la metodología propuesta, en análisis de la H.H. contempla el desarrollo de cuatro

(4) fases, las cuales estarán orientadas a establecer los siguientes componentes:

A. Definición de objetivos y alcances.

Con el fin de tener claridad sobre el propósito y la definición de los aspectos que se pretenden evaluar, es necesario establecer inicialmente el objetivo del estudio. En este sentido, su estructuración estará enfocada en la evaluación la huella hídrica para el cultivo definido en la zona de estudio.

Para la definición del alcance se considera necesario priorizar los cultivos que predominan en la zona de estudio, los cuales estarán apoyados en aspectos ambientales, sociales y económicos.

B. Contabilidad de la Huella Hídrica en los sistemas de producción agrícola evaluados.

A partir de la caracterización realizada de la zona de estudio y su relación con la utilización del recurso hídrico, se aplicará la metodología de H.H. de acuerdo con el modelo seleccionado (Water Footprint Network). En este sentido, se realizará el cálculo de la Huella Hídrica Verde y Huella Hídrica Azul en los cultivos de cebolla larga o Junca priorizada en la primera etapa del proyecto.

- Cálculo de la evapotranspiración del cultivo.

A partir de IICA (2017a), se utilizará el cálculo de la evapotranspiración de cultivos recomendado por la FAO y por Penman-Monteith (Allen *et al.* 1998). La evapotranspiración del cultivo (ETc) se calcula como la evapotranspiración de referencia (ET0) multiplicada por el coeficiente del cultivo Kc:

$$ETc = Kc \times ET0$$

En donde:

ETc: Evapotranspiración potencial del cultivo

Kc: Coeficiente del cultivo. Allen et al. (1998) cuenta con una amplia base de datos sobre este parámetro.

ET0: Evapotranspiración de referencia

El cálculo de la evapotranspiración de los cultivos evaluados utilizará los softwares CROPWAT (FAO) y Aquacrop-GIS (FAO), con aplicación en el cálculo de la HH.

- Determinación de los componentes azul y verde de la huella hídrica de los cultivos evaluados. A partir de la evapotranspiración de los cultivos, se realizan los cálculos de las H.H. Verde y H.H. Azul, teniendo en cuenta lo siguiente:

Requerimiento de riego = Requerimiento hídrico de cultivo – Precipitación efectiva

ETazul= min (Riego neto total, Requerimiento de riego)

ETverde= min (Requerimiento hídrico de cultivo, Precipitación efectiva)

- Determinación de la H.H. Gris

A partir de lo definido por IICA (2017), el cálculo se realizará a partir de la siguiente fórmula:

$$HH_{proc.gris} = \frac{L}{c_{max} - c_{nat}} = \frac{Efl \times c_{eff} - Extr \times c_{real}}{c_{max} - c_{nat}}$$

En donde:

- H.H. proc, gris: Huella hídrica gris de un proceso específico (m³ /año o m³ /mes)
- L: Carga de contaminante: se refiere a la carga del contaminante emitido por el proceso evaluado, que alcanza el cuerpo de agua (kg/mes, o kg/año).
- Cmax: Norma de calidad ambiental para el contaminante de interés: se refiere a la concentración máxima permisible del contaminante en el agua (kg/m³)
- Cnat: Concentración natural del contaminante en el agua (kg/m³): se refiere a la concentración del contaminante que habría en el cuerpo de agua, sin ningún tipo de intervención humana.
- Efl: Volumen del efluente (m³ /año o m³ /mes).
- Ceffl: Concentración del contaminante de interés en el efluente (kg/m³)
- Extr: Volumen de agua extraída (m³ /año o m³ /mes)
- Creal: Concentración real del contaminante en el agua extraída (kg/m³)

C. Estimación de la Huella Hídrica y comparación con otros cultivos

A partir de los resultados obtenidos con el software CropWat 8.0 y las dinámicas de uso del recurso en la finca de estudio, se realizará la estimación de las diferentes huellas hídricas.

La información sobre la cual se efectúa el cálculo de los requerimientos hídricos corresponderá a las dinámicas propias de la zona de estudio, así mismo, a las características en el proceso productivo que se lleva a cabo en la finca sobre la cual suministró la información respecto a los rendimientos del cultivo.

7.3. Formulación de estrategias.

A partir de los resultados obtenidos en el cálculo de la H.H., así como las dinámicas de la producción agrícola para los cultivos evaluados, se propondrán estrategias que contribuyan a disminuir la presión sobre el recurso hídrico a partir de nuevas técnicas disponibles.

La formulación de las estrategias contará como base los diferentes instrumentos de planificación propuestos e implementados a nivel de cuenca hidrográfica, permitiendo una coherencia y articulación con las estrategias de conservación del recurso.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

8.1. Caracterización de la zona de estudio.

La cuenca hidrográfica del río Otún abarca un área de 568.41 Km², corresponde a la vertiente Occidental de la Cordillera Central y su piedemonte, que nace en el caño Alsacia, afluente de la laguna del Otún, a una altura de 3980 m.s.n.m. y desemboca en el río Cauca a los 875 m.s.n.m., tras un recorrido de 60.8 Km, en sentido ESE-WNW, siendo sus principales afluentes a nivel de subcuencas: Río Azul, Río Barbo, Río San José, Quebrada Combia y Quebrada Dosquebradas (POMCA Río Otún, 2017).

Las principales veredas que conforman la cuenca media del Río Otún son: En el Municipio de Pereira; Canceles, El Bosque, El Chocho, La Bananera, La Florida, La Suecia, La Suiza y Libare y en el municipio de Santa Rosa de Cabal encontramos las veredas Las Mangas, Volcanes, Puente Albán - La María, **San Marcos** y parte de El Cedral. Existen cinco núcleos productivos de cebolla larga: Cedralito, Plan del Manzano, El Manzano, La María y La Bella. La cobertura y uso del suelo en la cuenca está constituida 32.53% en terrenos agrícolas, de los cuales el 17,40% corresponde a áreas agrícolas heterogéneas; 7,96% pastos; 6,87% cultivos permanentes y el 0,29% de cultivos transitorios (POMCA Otún 2017). Aun cuando El área de estudio está ubicada en el municipio de Santa Rosa de Cabal hace parte de la producción correspondiente a los núcleos productivos del municipio de Pereira dado su cercanía.

Existen 93 captaciones repartidas en la cuenca entre las cuales se destacan la del Acueducto de la E.E.A.P. SAS E.S.P., cerca de la Quebrada La Bella, Km 33 del cauce del río y la de la planta de generación de energía de Belmonte en el Km 14.

La cuenca del río Otún, cuenta con una red meteorológica de 46 estaciones, de estas 26 presenta la mayor extensión de datos. Las entidades que realizan el monitoreo son: el IDEAM, CENICAFE, la CHEC y la REDH operada por el grupo EIS de la UTP. Para esta investigación, las más relevantes son: La estación climatológica (EC), Lisbrán; Las estaciones meteorológicas Especiales (ME), San Juan, San José, Mundo Nuevo y el Lago; Pluviómetros (PV), Playa Rica, Nuevo Libare y Combia; Pluviógrafos (PG), Planta de Tratamiento y por último Sinóptica Principal (SP), Aeropuerto Matecaña.

Esta investigación está basada en la información reportada por la estación Hidroclimatológica (antes de la bocatoma nuevo libare) y la estación climatológica Lisbrán.

Las imágenes que se presentan a continuación muestran la ubicación geográfica de las estaciones climatológicas e Hidroclimatológicos, más cercanas a la finca donde se desarrollan los trabajos de campo y que proporcionan la información relevante en lo concerniente a pluviosidad, temperatura, radiación, presión, humedad, velocidad del viento, precipitación y evaporación en esta zona de la cuenca.

A continuación se presenta la imagen de la ubicación geográfica de finca de estudio y las estaciones climatológicas que fueron utilizadas para el estudio.

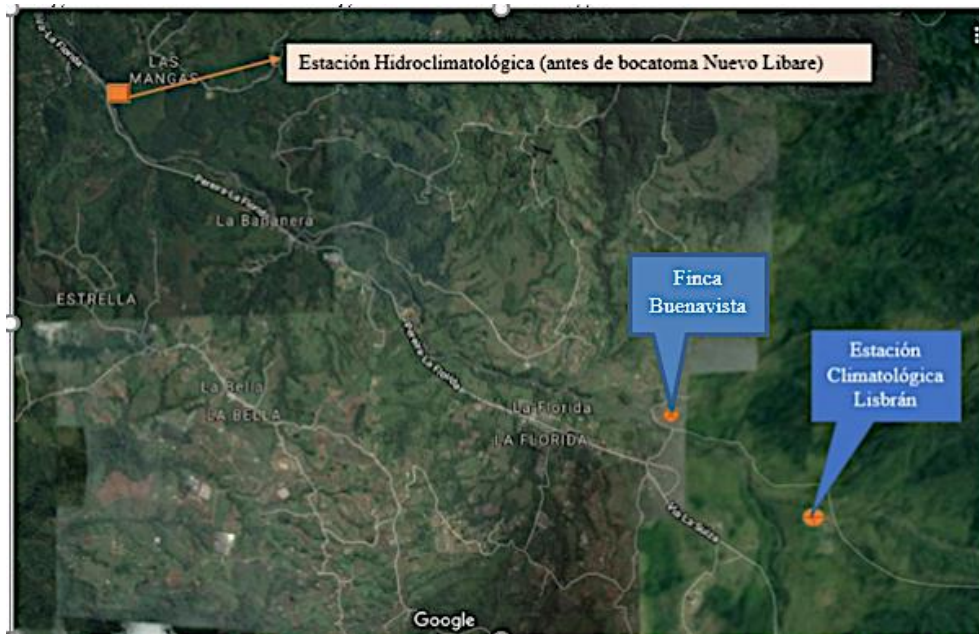


Imagen 4 Estaciones climatológicas e Hidroclimatológica.
 Fuente: Red Hidroclimatológica de Risaralda – Google Maps.

Los trabajos de campo se llevaron a cabo en la finca Buenavista, Vereda San Marcos, municipio de Santa Rosa de Cabal, departamento de Risaralda; esta vereda limita por el margen izquierdo del Río Otún, con la vereda la Florida, corregimiento de la Florida, municipio de Pereira, del mismo departamento. En estas dos veredas se desarrollan cultivos de cebolla larga o de rama, siendo más predominante en la vereda San Marcos.

A continuación, se puede observar, una vista en planta con la ubicación geográfica de la finca Buenavista, el río Otún y las vías de acceso.



Imagen 5 Finca Buena vista (área de trabajo de campo).
 Fuente: Elaboración propia Google Earth 2018.

8.2. Caracterización del área de investigación.

La finca Buenavista, área donde se desarrolló la investigación, está ubicada a los 1691 m.s.n.m., en el piso térmico templado; a los 4° 45' 44" o 4.7501° de latitud norte y los 75° 36' 35" o 75.6058° de longitud Occidente; con un área de cultivo de 36.220 m² o 3,6 ha. Posee un terreno ondulado con una pendiente del 16,45%, se encuentra ubicada en el margen derecho del Rio Otún en la vereda San Marcos del municipio de Santa Rosa de Cabal en el departamento de Risaralda, los cálculos de cálculos de pendiente del terreno y área los muestran la siguiente imagen.



Imagen 6 Información para cálculo de la pendiente del terreno y área.

Fuente: Elaboración propia (Google Earth) 2018.

Datos: Altura máxima 1691m

Altura mínima 1664 m

Base: 164.1 m

$$\Rightarrow \text{Pendiente} = \text{Diferencia de alturas} / \text{Base} * 100 \rightarrow = 27/164,15*100 = 16,45\%$$

Sus suelos son franco arcillosos y francos que dan una retención hídrica idónea para el cultivo de cebolla larga junca.

La economía de la finca Buenavista se basa principalmente en el cultivo de cebolla larga junca, sin embargo, en la actualidad está incursionando en el cultivo de tomate bajo invernadero.

8.2.1. Caracterización del cultivo

En la finca Buenavista el cultivo de cebolla larga junca, se encuentra sembrada en surcos irregulares respecto a su dirección, con una distancia entre surcos de 0.60m y una distancia entre plantas de 0.35m. Con esta distribución del cultivo se logra plantar 46960 matas por hectárea, efectuando los cálculos respectivos se cultiva en las 3.6 hectáreas, un total de 170000 plantas aproximadamente.



Imagen 7 Proceso de cosecha en la finca Buenavista.

Fuente: Creación propia 2018.

El sistema de abonado es a base de gallinaza o pollinaza, sin compostar, depositando puñados en la base de cada planta de manera manual y posteriormente recubriéndola con tierra de aporque, para control de vectores (moscas).



Imagen 8 Fertilización manual con gallinaza en la finca Buenavista.

Fuente: Creación propia 2018.

Debido al sistema irregular tanto de los surcos como las eras, se dificultado el sistema de riego, dado que cada era tiene un estado de desarrollo distinto y por consiguiente una necesidad hídrica diferente.

El clima de la vereda es templado y con una temperatura media de 16,97°C, una velocidad del viento promedio media de 53,568Km/día, una humedad promedio de 90,00%, precipitación total para el año 2017 de 2309,40mm, una evaporación total de 753,60mm y una radiación solar promedio media de 295,84W/m².

Etapas del cultivo

Según información emitida por AGROTECH de Colombia S.A.S., que es un grupo de agricultores y comerciantes de cebolla larga y que pertenece al sector agrícola nacional, este cultivo se desarrolla en tres etapas principales que son: Planeación, Producción y Pos-cosecha.

➤ Planeación: esta etapa se divide en tres fases a saber:

1. Cálculo de las necesidades y requerimiento de agua, el estimativo como ya se ha dicho está cerca a los 600mm anuales o sea 600 Lts/m².
2. Época de siembra, la cebolla de rama o junca se puede sembrar en cualquier época de año, contando con disponibilidad hídrica y de mano de obra.
3. Aptitud del suelo (físico-químicas), es necesario para una buena productividad contar con un suelo con textura franca o franco arcillosa, con una profundidad, contenido de materia orgánica de medio en adelante y un pH entre 6.0 y 7.0.

➤ Producción: Esta etapa se subdivide en seis fases que se relacionan a continuación:

1. Siembra: El sistema de propagación del cultivo es vegetativo, por esta razón se siembran tres o cuatro gajos, después de haber efectuado el desnigue, el descalcete y la desinfección.
2. Manejo de riego: Dado el manejo del cultivo y la caracterización de la siembra el sistema más utilizado en este cultivo es el de aspersión.
Es de anotar que la fina Buenavista en la actualidad no cuenta con sistema de riego.
3. Manejo de Plagas: Se basa principalmente en la selección de semillas, tratamiento de las semillas con 8 días de antelación desinfectándola y dosificación de fertilizantes y abonos Gallinaza-pollinaza).
4. Manejo de malezas: Las malezas se manejan por medio de deshierbas manuales.
5. Manejo de enfermedades: Las enfermedades provienen generalmente de los cambios climáticos bruscos; estas son tratadas con productos químicos y selección de semillas sanas.

6. Cosecha: Se da entre el quinto y sexto mes posterior a la siembra; y luego se puede seguir cosechando en periodos que oscilan entre los 2 y tres meses, este tiempo depende principalmente de la demanda comercial y los precios del mercado.



Imagen 9 Deshierbe en el cultivo de cebolla Finca Buenavista.

Fuente: Creación propia 2018.

➤ Post – cosecha: Tiene una sola fase:

1. Empaque: Sistema de rueda consistente en manojos de 50 y 25 kilogramos. Se dan varios pasos para la buena presentación del producto como son el descalcete, pre - arme de las ruedas, armada y amarrada, corte de raíces pesadas y cargue en el medio de transporte.

8.3. Requerimiento Hídrico del cultivo.

La estimación del requerimiento hídrico de los cultivos se realizará a través del cálculo de su evapotranspiración, y definiendo mes a mes el agua que el suelo retiene proveniente de la lluvia o del riego y que el cultivo puede extraer en su zona radicular. La evapotranspiración de los cultivos es proporcional a la evapotranspiración del cultivo de referencia, ET_0 (FAO, 2006), ajustada con un factor de cultivo (K_c), factor adimensional que representa la variación de la evapotranspiración de cada cultivo con respecto al cultivo de referencia. Adicionalmente, se ajusta la evapotranspiración de los cultivos con un factor de estrés hídrico (H.H.-ENA. 2014).

El programa CropWat 8.0, utiliza el método de Penman-Monteith, para hacer los cálculos de la evapotranspiración del cultivo de referencia; este método se basa en un estudio de la FAO publicado en el año 2006, que considera que este método es el que más se atiene a los valores conseguidos en el laboratorio. El estudio se titula ESTUDIO FAO RIEGO Y DRENAJE 56 – Evapotranspiración del Cultivo; en este documento se explica el método y la ecuación de Penman-Monteith y aclara la necesidad de contar con cierta información como temperatura,

velocidad del viento, precipitación, etc.

Ecuación de Penman-Monteith:

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta(R_n - G) + y \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + y(1 + 0,34u_2)}$$

Donde

ET _o	evapotranspiración de referencia (mm día ⁻¹)
R _n	radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m ⁻² día ⁻¹)
R _a	radiación extraterrestre (mm día ⁻¹)
G	flujo de calor del suelo (MJ m ⁻² día ⁻¹)
T	temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)
u ₂	velocidad del viento a 2 m de altura (m s ⁻¹)
e _s	presión de vapor de saturación (kPa)
e _a	presión real del vapor (kPa)
e _s - e _a	déficit de presión de vapor (kPa)
Δ	pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C)
y	constante psicrométrica (kPa °C ⁻¹)

Las siguientes serán las ecuaciones que se aplicarán para determinar las huellas hídricas Verde y Azul de esta investigación.

- Ecuación 1: Evapotranspiración ajustada: $ET_a = K_s K_c ET_o$

Donde:

ET_a: es la evapotranspiración ajustada del cultivo, en mm.

K_s: Coeficiente de estrés hídrico.

K_c: factor de cultivo. Para este estudio se simplificó el modelo considerando un único valor de **K_c** para cada cultivo.

ET_o: Evapotranspiración de referencia, en mm.

- Ecuación 2: Coeficiente de estrés hídrico₁ $K_s = 1$ Si $Dr \leq AFA$

- Ecuación 3: Coeficiente de estrés hídrico₂ $K_s = \frac{(ADT - Dr)}{((1-p) \times ADT)}$ Si $Dr > AFA$

Donde:

ADT: agua disponible total; representa la cantidad de agua que el suelo puede retener en contra de las fuerzas de gravedad y que un cultivo puede extraer de su zona radicular.

Dr: representa el agotamiento de la humedad del suelo y **p** es la fracción de agotamiento, característica de cada cultivo.

AFA: es el agua fácilmente aprovechable; corresponde a la fracción del ADT que un cultivo puede extraer de la zona radicular sin experimentar estrés hídrico.

- Ecuación 4: Agua Disponible Total: $ADT=Zr Hu$

- Ecuación 5: Agua fácilmente aprovechable: $AFA=p ADT$

Donde:

Hu: es la capacidad de almacenamiento hídrico del suelo, expresada en milímetros de agua por metro de profundidad del suelo.

Zr: profundidad de las raíces (m)

Para la aplicación de las anteriores ecuaciones se debe tener en cuenta el cuadro de las características, de cultivos transitorios y del cultivo de caña, tomado de Evaluación Multisectorial de la Huella Hídrica en Colombia.

Tabla 10. Características de cultivos transitorios.

Cultivo	Kci*	Kcm*	Kcf*	ti (días)	td (días)	Tm (días)	tf (días)	t total (días)	Zr (m)	p (%)	Kc p
Cebolla rama	1,0	1,0	0,3	30,0	55,0	55,0	40,0	180,0	0,6	0,3	0.9

*i: inicial. m: medio. f: final

Fuente: FAO, 2006; IDEAM, 2010.

Donde.

Kci*: Coeficiente único de cultivo para la etapa inicial de crecimiento

Kcm*: Coeficiente único del cultivo para la etapa mediados de temporada

Kcf*: Coeficiente único de cultivo para el término de la etapa final de crecimiento

ti (días): Tiempo inicial dado en días

td (días): Tiempo de desarrollo dado en días

tm (días): Tiempo medio dado en días

tf (días): Tiempo final dado en días

t total (días): Tiempo total dado en días

Zr (m): Profundidad en las raíces dado en metros

p (%): Precipitación

Kc p: Factor del cultivo por fracción de agotamiento

Para establecer las exigencias de riego del cultivo se empleó el balance en el suelo; el

agotamiento (D_r) es la medida de la disminución del agua previamente disponible en la zona radicular del suelo y la variable principal del balance. El riego (I_i) y la precipitación (P_i) agregan agua a la zona radicular, restando agotamiento. La evapotranspiración del cultivo, por otro lado, aumenta el agotamiento al restar humedad del suelo (ENA. 2014).

Las pérdidas por exceso de precipitación se consideran como la sumatoria entre la Percolación Profunda (DP) y el Escurrimiento superficial (RO).

El agotamiento al final del periodo i (Dr_i) depende de la condición de humedad inicial ($Dr_{(i-1)}$), de la precipitación ocurrida en el período i (P_i), del riego efectivo aplicado en el período i (I_i) y de la evapotranspiración ocurrida en el período i (ETa_i) (ENA. 2014).

-Ecuación 6: Agotamiento de agua disponible. $Dr_i = Dr_{(i-1)} - P_i - I_i - CR_i + ETa_i + (DP_i + RO_i)$

Donde:

$$0 \leq Dr_i \leq ADT$$

Donde:

D_r = Agotamiento

I_i = Riego

P_i = Precipitación

DP= Percolación Profunda

RO.= Escurrimiento superficial

Dr_i = Agotamiento final del periodo i

$Dr_{(i-1)}$ =Condición de humedad inicial

P_i = Periodo Inicial

I_i = Periodo i

ETa_i = Evapotranspiración ocurrida en el periodo i .

8.3.1. Determinación de la Huella Hídrica Azul y verde del cultivo de cebolla de rama por medio del Software CropWat 8.0

El Software CropWat 8.0 es un instrumento que sirve para la toma de decisiones en el manejo de cultivos, específicamente en el cálculo de los requerimientos hídricos, desarrollado por la FAO. Este programa se utiliza para el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos y los requisitos de riego apoyados en los datos de clima y suelo. Este Software también es funcional para desarrollar programas de riego y cálculos de rendimiento del cultivo en escenarios de secano o de riego.

Los registros Hidroclimatológicos que se utilizaron para la alimentación de Software CROPWAT 8.0, se extraen de la información suministrada por la Red Hidroclimatológica de Risaralda y que son relacionados en la tabla 10.

Estos registros son de libre uso y están consolidados para el año 2017 de manera completa, mostrando totales y promedios de temperatura, velocidad del viento, presión, humedad, precipitación, evaporación y radiación solar.

Tabla 11.Registros Hidroclimatológicos año 2017.

Mes		Temperatura (°C)			Vel. Viento (m/s)		Presión (mmHg)	Humedad (%)	Precipitación (mm)	Evap. (mm)	Radiación Solar (W/m2)	
		Max	Media	Mín.	Max	Media	Media	Media	Total	Total	Max	Media
Enero		26,90	16,60	7,10	1,80	0,64	655,11	89,61	137,40	55,01	1296,00	344,08
Febrero		27,90	16,66	5,80	1,80	0,66	655,10	87,09	114,80	82,16	1282,00	383,43
Marzo		26,00	16,31	9,40	1,30	0,58	654,90	90,79	38,00	16,50	1256,00	276,06
Abril		27,20	17,29	9,20	1,80	0,62	655,21	90,25	231,00	68,19	1348,00	327,47
Mayo		26,80	17,22	9,80	1,30	0,56	654,90	91,68	331,40	65,50	1309,00	276,19
Junio		27,00	17,13	9,30	1,80	0,56	654,90	91,86	196,60	62,32	1322,00	280,39
Julio		27,70	17,25	9,40	3,10	0,72	654,90	88,28	72,20	72,91	1310,00	316,23
Agosto		27,20	17,35	9,80	1,80	0,64	654,55	88,57	152,80	80,48	1441,00	329,80
Septiembre		27,80	17,03	8,30	1,80	0,64	653,70	89,47	210,80	76,55	1427,00	327,17
Octubre		27,30	16,85	8,70	1,30	0,58	653,70	91,46	210,80	49,74	1229,00	263,81
Noviembre		26,80	17,10	10,20	2,20	0,59	653,70	91,38	330,20	57,45	1311,00	299,32
Diciembre		28,30	16,83	8,20	1,30	0,60	653,70	89,51	284,20	66,79	1222,00	126,11
TOTAL									2309,40	753,60		
PROM		27,24	16,97	8,77	1,78	0,62	654,53	90,00			1312,75	295,84

Fuente: Red Hidroclimatológica del Departamento de Risaralda 2018.

Conversión de medidas

La siguiente tabla relaciona la información Hidroclimatológica del área de estudio, sin embargo, para poder utilizarla en la alimentación del programa CropWat 8.0 se debe efectuar algunas conversiones de medidas específicamente en las columnas correspondientes a velocidad del viento. La tabla establece la igualdad en la conversión de metro / segundo a kilometro / día.

Tabla 12 Igualdad para conversión de medidas.

Metro por segundo	=	Kilómetro / Día
1		86,4

Fuente: Creación propia.

Tabla 13 Conversión de medidas.

Velocidad viento			
Mes	m/s	Equivalencia 1,0 m/s en k/día	k/día
Enero	0,64	86,4	55,296
Febrero	0,66	86,4	57,024
Marzo	0,58	86,4	50,112
Abril	0,62	86,4	53,568
Mayo	0,56	86,4	48,384
Junio	0,56	86,4	48,384
Julio	0,72	86,4	62,208
Agosto	0,64	86,4	55,296
Septiembre	0,64	86,4	55,296
Octubre	0,58	86,4	50,112
Noviembre	0,59	86,4	50,976
Diciembre	0,60	86,4	51,84
TOTAL		86,4	0
PROM.	0,62	86,4	53,568

Fuente: Elaboración propia 2018.

8.4. Cálculos de la HH con CropWat 8.0 Clima/ETo

Para calcular el Requerimiento de Agua del Cultivo (RAC), es indispensable ejecutar los primeros módulos que aparecen en el Software CropWat 8.0; estos son los correspondientes a Clima/ETo, Precipitación, Cultivo y Suelo.

El primer módulo o sea el Clima/ETo, requiere ser alimentado con la información que ya se obtuvo de la página de la REDH, donde se encuentran los datos de temperatura mínima y máxima, humedad y velocidad del viento. En la sexta columna requiere el registro de información relacionada con la insolación; el software calcula de manera automática esta información simplemente buscando en opciones y eligiendo la que se considere más idónea para el caso.

La imagen, relacionada a continuación contiene la hoja de cálculo del programa CropWat 8.0, que permite observar los resultados obtenidos correspondientes a la radiación o sea la energía, medida en Mega julios (MJ) por metro cuadrado (m²) por día y automáticamente también

calcula la Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o), medida en milímetros por día.

País		Estación					
Colombia		Lisbrán					
Altitud	1691 m.	Latitud	4.75 °N				
		Longitud	75.61 °W				
Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ET _o
	°C	°C	%	km/día	horas	MJ/m ² /día	mm/día
Enero	7.1	26.9	89	55	11.9	26.0	4.38
Febrero	5.8	27.9	87	57	13.0	28.8	4.91
Marzo	9.4	26.0	90	50	10.5	25.8	4.46
Abril	9.2	27.2	90	54	11.4	27.0	4.73
Mayo	9.8	26.8	91	48	11.0	25.3	4.43
Junio	9.3	27.0	92	48	11.4	25.2	4.36
Julio	9.4	27.7	88	62	11.7	25.9	4.54
Agosto	9.8	27.2	89	55	11.2	26.1	4.60
Septiembre	8.3	27.8	89	55	12.1	28.0	4.93
Octubre	8.7	27.3	91	50	11.5	26.6	4.62
Noviembre	10.2	26.8	91	51	10.5	24.0	4.17
Diciembre	8.2	28.3	90	52	12.0	25.6	4.43
Promedio	8.8	27.2	90	53	11.5	26.2	4.55

Imagen 10 Información para cálculo de Rad.y ET_o.

Fuente: CropWat 8.0 - 2018.

El segundo módulo permite calcular la precipitación efectiva, para este fin se inserta la información de la columna número nueve de la tabla número 10 para el año 2017 de la REDH, la cual suministra la información correspondiente a la precipitación mes a mes total, del año anteriormente mencionado. Este módulo permite elegir el método de cálculo a emplear; los métodos que ofrece el programa son: 1.- Método de porcentaje fijo, 2.- Precipitación confiable (Formula FAO/AGLW), 3.- Formula empírica en la cual se puede modificar los valores que aplica la formula, 4.- USDA formula servicio de conservación de suelos de los Estados Unidos de Norteamérica y 5.- Finalmente una fórmula que no considera los cálculos de riego.

A continuación, se relaciona la imagen que contiene este cálculo para la precipitación efectiva, el método utilizado es el de la fórmula de la FAO/AGLW por ser el recomendado por Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Estación		Método Prec. Ef	
Lisbrán		Fórmula FAO/AGLW	
	Precipit.	Prec. efec	
	mm	mm	
Enero	137.4	85.9	
Febrero	114.8	67.8	
Marzo	38.0	12.8	
Abril	231.0	160.8	
Mayo	331.4	241.1	
Junio	196.6	133.3	
Julio	72.2	33.8	
Agosto	152.8	98.2	
Septiembre	210.8	144.6	
Octubre	210.8	144.6	
Noviembre	330.2	240.2	
Diciembre	284.2	203.4	
Total	2310.2	1566.6	

Imagen 11 Cálculo de la precipitación efectiva.

Fuente: CropWat 8.0 - 2018.

Al tercer módulo se debe ingresar el coeficiente del cultivo en las tres etapas principales inicial, media y final; se rotula el nombre del cultivo, en este caso cebolla verde Junca, de igual forma se señala la fecha de inicio o siembra del cultivo. Del cuadro 12 de la página 110 de la FAO 56- Evapotranspiración del cultivo se extraen los valores del coeficiente único (promedio temporal) del cultivo K_c y alturas medias y máximas de la planta.

Tabla 14 Coeficiente único del cultivo K_c .

Valores del coeficiente único (promedio temporal) del cultivo, K_c y alturas medidas máximas de las plantas para cultivos no estresados y bien manejados en climas subhúmedos ($HR_{min} \approx 45\%$, $u_2 \approx 2ms^{-1}$) para usar en la fórmula de la FAO Penman-Monteith ET_c .				
Cultivo	$K_{c\ ini}^1$	$K_{c\ med}$	$K_{c\ fin}$	Altura Máx. Cultivo (h) (m)
a. Hortalizas pequeñas	0,7	1,05	0,95	
Brécol (Brócoli)		1,05	0,95	0,3
Col de Bruselas		1,05	0,95	0,4
Repollo		1,05	0,95	0,4
Zanahoria		1,05	0,95	0,3
Coliflor		1,05	0,95	0,4
Apio (Céleri)		1,05	1,00	0,6
Ajo		1,00	0,70	0,3
Lechuga		1-00	0,95	0,3
Cebolla -seca		1,05	0,75	0,4
-verde		1,05	1,00	0,3
-semilla		1,05	0,80	0,5
Espinaca		1,00	0,95	0,3

Fuente: Estudio FAO Riego y Drenaje 56 - 2006.

La ubicación de los datos de la duración de las etapas de inicio, desarrollo, etapa media y etapa final del cultivo en días se encuentran en el cuadro 11 de la página 104 de la FAO -56 Evapotranspiración del cultivo.

Tabla 15 Duración de las etapas de crecimiento.

Duración de las etapas de crecimiento del cultivo para distintos períodos de siembra y regiones climáticas (días)							
Cultivo	Inic. (L_{ini})	Des. (L_{dos})	Med. (L_{med})	Final (L_{fin})	Total	Fecha de siembra	Región
a. Hortalizas Pequeñas							
Brécol (Brócoli)	35	45	40	15	135	Sept.	Calif. Desierto, EU
Repollo	40	60	50	15	165	Sept.	Calif. Desierto, EU
Zanahoria	20	30	50/30	20	100	Oct/Ene.	Clima Árido
	30	40	60	20	150	Feb/Mar.	Mediterráneo
	30	50	90	30	200	Oct.	Calif. Desierto, EU
Coliflor	35	50	40	15	140	Sep.	Calif. Desierto, EU
Apio (Céleri)	25	40	95	20	180	Oct.	(Semi)árido
	25	40	45	15	125	Abril	Mediterráneo
	30	55	105	20	210	Ene.	(Semi)Árido
Crucíferas ¹	20	30	20	10	80	Abril	Mediterráneo
	25	35	25	10	95	Febrero	Mediterráneo
	30	35	90	40	195	Oct/Nov	Mediterráneo
Lechuga	20	30	15	10	75	Abril	Mediterráneo
	30	40	25	10	105	Nov/Ene.	Mediterráneo
	25	35	30	10	100	Oct/Feb. Nov.	Región Árida
	35	50	45	10	140		Mediterráneo
Cebolla (seca)	15	25	70	40	150	Abril	Mediterráneo
	20	35	110	45	210	Oct, Ene.	Región Árida; Calif.
Cebolla (verde)	25	30	10	5	70	Abril/Mayo	Mediterráneo
	20	45	20	10	95	Octubre	Región Árida
	30	55	55	40	180	Marzo	Calif., EU

Cebolla (semilla)	20	45	165	45	275	Sept.	Calif. Desierto, EU
Espinaca	20	20	15/25	5	60/70	Abr; Sep./Oct	Mediterráneo

Fuente: Estudio FAO Riego y Drenaje 56 - 2006.

La información correspondiente a la profundidad radicular, así como la fracción de agotamiento se encuentra en la página 163, cuadro 22 del estudio FAO- 56 Evapotranspiración del cultivo.

Tabla 16 Rangos profundidad radicular.

Rangos de profundidad máxima efectiva de las raíces (Z _e) y fracción de agotamiento de la humedad en el suelo (p) para condiciones sin estrés hídrico, para cultivos comunes		
Cultivo	Profundidad radicular máxima ¹ (m)	Fracción de agotamiento ² (para ET- 5mm día ⁻¹) p
a. Hortalizas pequeñas		
Brócoli	0,4-0,6	0,45
Col de Bruselas	0,4-0,6	0,45
Repollo	0,5-0,8	0,45
Zanahorias	0,5-1,0	0,35
Coliflor	0,4-0,7	0,45
Apio (Céleri)	0,3-0,5	0,20
Ajo	0,3-0,5	0,30
Lechuga	0,3-0,5	0,30
Cebolla -seca	0,3-0,6	0,30
-verde	0,3-0,6	0,30
-semilla	0,3-0,6	0,35
Espinaca	0,3-0,5	0,30

Fuente: Estudio FAO Riego y Drenaje 56 - 2006.

Con respecto a los rendimientos de productividad del cultivo, se pueden ubicar en la página 181, cuadro 24 de la FAO – 56 Evapotranspiración del cultivo.

Por último, la altura del cultivo se define de manera opcional; es anotar que la información de las dos últimas filas del módulo cultivo de CropWat 8.0 es variable y se podrá definir de acuerdo a información obtenida en campo.

Tabla 17 Rendimientos de productividad del cultivo.

Coeficientes estacionales de respuesta de la productividad, FAO No 33, Serie Riego y Drenaje.			
Cultivo	K _y	Cultivo	K _y
Alfalfa	1,1	Papa o patata	1,1
Banano	1,2 – 1,35	Cártamo	0,8
Frijoles o judías	1,15	Sorgo	0,9
Repollo	0,95	Soja	0,85
Cítricos	1,1 – 1,3	Trigo de primavera	1,15
Algodón	0,85	Remolacha azucarera	1,0
Uvas	0,85	Caña de azúcar	1,2
Maní cacahuete	0,70	Girasol	0,95
Maíz	1,25	Tomate	1,05
Cebolla	1,1	Sandía	1,1
Guisantes o arveja	1,15	Trigo de invierno	1,05
Pimiento	1,1		

Fuente: Estudio FAO Riego y Drenaje 56 - 2006.

La siguiente imagen muestra el módulo totalmente diligenciado con información del cultivo de

cebolla larga Junca, extraída esta información del estudio FAO RIEGO Y DRENAJE 56 – Evapotranspiración del cultivo.

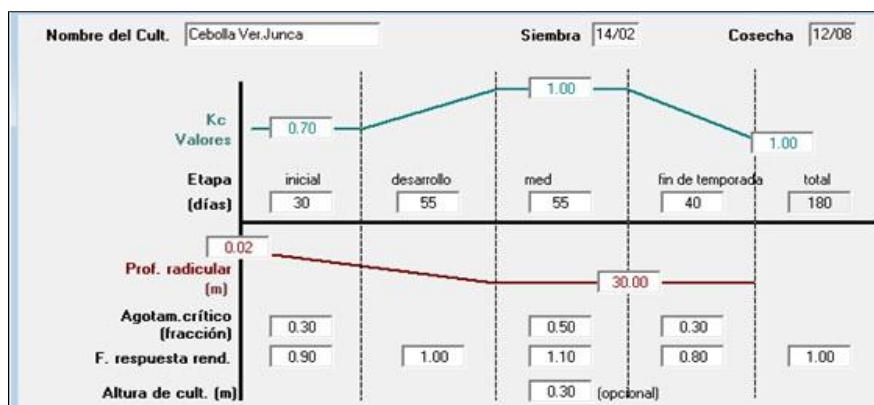


Imagen 12 Valores Kc para el cultivo de cebolla larga junca.

Fuente: CropWat 8.0 - 2018.

La información relacionada con las etapas de siembra se corroboró en campo de acuerdo con la información otorgada por los agricultores de laboran en la Finca de estudio.

Parámetros del cultivo de la cebolla larga junca (Suelo).

Entre los parámetros del cultivo de cebolla larga junca, que se requieren para alimentar el Software CropWat 8.0 como datos generales del suelo, se encuentra la humedad de suelo disponible total (ADT), representa la cantidad total de agua disponible para el cultivo. Se define como la diferencia en el contenido de humedad del suelo entre la capacidad de campo (CC) y el Punto de Marchitez Permanente (PMP). (Manual CropWat 8.0).

La Tasa máxima de infiltración se expresa en mm por día, representa la lámina de agua que se puede infiltrar en el suelo en un periodo de 24 horas, en función del tipo de suelo, pendiente y la intensidad de la precipitación o del riego. La Tasa máxima de infiltración tiene el mismo valor que la conductividad hidráulica del suelo a saturación.

La Profundidad radicular máxima se refiere a la hondura que alcanza la raíz del cultivo, esta se puede ver limitada por el (hardpans) capa de suelo arcillosa localizada cerca de la superficie. Aunque en la mayoría de los casos la profundidad radicular máxima está determinada por los caracteres genéticos del cultivo, el suelo y horizontes modificados pueden llegar a cambiarla.

El Agotamiento inicial de la humedad del suelo indica la sequedad del mismo, al comienzo de la época del cultivo o sea la siembra. Este agotamiento inicial de la humedad se expresa, como un porcentaje del Agua Disponible Total (ADT), en términos del agotamiento de la Capacidad del Campo (CC), el valor por defecto del 0% representa un perfil de suelo húmedo a CC y 100% es un suelo en Punto de Marchitez Permanente (PMP). (Manual CropWat 8.0).

La humedad del suelo inicialmente disponible, se define como el contenido de humedad del

suelo al inicio de la temporada del cultivo. Se calcula como el producto del Agua Disponible Total (ADT) por el Agotamiento inicial de humedad del suelo, y se expresa en mm por metros de profundidad del suelo. (Manual CropWat 8.0).

La siguiente imagen muestra el módulo (Suelo) diligenciado como parte integral para el cálculo del Requerimiento de Agua del Cultivo (RAC).

Nombre del suelo			Franco		
Datos generales de suelo					
Humedad de suelo disponible total (CC-PMP)	40.0	mm/metro			
Tasa maxima de infiltración de la precipitación	45	mm/día			
Profundidad radicular máxima	30	centímetros			
Agotamiento inicial de hum. de suelo (como % de ADT)	30	%			
Humedad de suelo inicialmente disponible	28.0	mm/metro			

Imagen 13 Parámetros del cultivo de la cebolla larga junca (Suelo).
Fuente: CropWat 8.0 - 2019.

Requerimientos de Agua del Cultivo (RAC).

Finalmente y después de haber diligenciado los cuatro módulos iniciales, Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o), Precipitación Efectiva (Pe), Valores K_c para el cultivo y Parámetros del cultivo en lo referente al suelo del área de estudio, el Software CropWat 8.0 efectúa los cálculos correspondientes al Requerimiento de Agua del Cultivo (RAC).

El Módulo RAC incluye los cálculos dando como resultado los requerimientos de riego para el cultivo, en base decadiaria y para toda la estación de crecimiento, siendo este igual a la diferencia entre la Evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar (ET_c) y la precipitación efectiva.

La siguiente imagen muestra los resultados correspondientes a la primera cosecha.

Estación ET _o		Lisbrán		Cultivo		Cebolla Ver. Junca	
Est. de lluvia		Lisbrán		Fecha de siembra		14/02	
Mes	Decada	Etap	K _c coef	ET _c mm/día	ET _c mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req. Riego mm/dec
Feb	2	Inic	0.70	3.51	24.5	17.0	12.4
Feb	3	Inic	0.70	3.38	27.1	17.6	9.4
Mar	1	Inic	0.70	3.23	32.3	3.8	28.5
Mar	2	Des	0.71	3.17	31.7	0.0	31.7
Mar	3	Des	0.76	3.50	38.5	9.1	29.4
Abr	1	Des	0.82	3.87	38.7	39.3	0.0
Abr	2	Des	0.87	4.23	42.3	56.8	0.0
Abr	3	Des	0.92	4.35	43.5	64.7	0.0
May	1	Med	0.98	4.45	44.5	77.4	0.0
May	2	Med	0.99	4.38	43.8	89.3	0.0
May	3	Med	0.99	4.37	48.0	74.3	0.0
Jun	1	Med	0.99	4.35	43.5	56.2	0.0
Jun	2	Med	0.99	4.33	43.3	44.1	0.0
Jun	3	Med	0.99	4.39	43.9	33.1	10.6
Jul	1	Fin	1.00	4.47	44.7	17.1	27.5
Jul	2	Fin	1.00	4.53	45.3	3.5	41.8
Jul	3	Fin	1.00	4.56	50.1	13.3	36.9
Ago	1	Fin	1.00	4.58	45.8	26.1	19.7
Ago	2	Fin	1.00	4.60	9.2	6.7	3.2
					740.9	649.4	257.3

Imagen 14 Requerimiento de Agua del Cultivo (RAC) primera cosecha.
Fuente: CropWat 8.0 - 2019.

La demanda de riego de todos los cultivos está determinada por ciertas variables climatológicas a través de todo el periodo del cultivo, entre estas variables la temperatura y la precipitación son de gran relevancia.

Es de suma importancia los tiempos de duración entre la siembra y la cosecha, que para el caso de este estudio (Cebolla Larga Junca, *Allium Fistulosum*), es de seis meses para la primera recolección y dos cosechas posteriores en periodos de tres meses cada una.

También es de anotar que la primera cosecha es la de mayor productividad, disminuyendo gradualmente las dos siguientes. Existe como se puede observar en la *Imagen 14 Requerimiento de Agua del Cultivo (RAC)*., una relación directa entre la Evapotranspiración potencial del cultivo ETc decadiaria y la precipitación efectiva decadiaria que afecta directamente la necesidad de riego; cuando la Precipitación efectiva es superior a la Evapotranspiración, el requerimiento de riego es cero.

La siguiente imagen muestra el comportamiento de la temperatura frente a la precipitación de la zona de estudio para el año 2017.



Imagen 15 Temperatura y Precipitación zona de estudio año 2017.

Fuente: Elaboración propia 2019.

La zona de estudio posee un régimen de lluvias bimodal con picos en mayo y noviembre y temporadas secas con picos inversos en los meses de marzo y julio; de igual forma podemos observar que pertenece a una zona transicional de clima frío a templado con temperaturas entre los 16,31° C en el mes de marzo y los 17,35° C en el mes de agosto, estando mucho más cerca del clima templado que del frío. Por esta razón el cultivo de cebolla larga junca de esta región se ha adaptado, considerando que el clima ideal es de 8° C a 15° C. (Ficha Técnica Agrotech Colombia 2018) y considerando que el mayor productor de cebolla larga (Aquitania en el departamento de Boyacá) cuenta con un clima de 10° C. (DANE 2015).

La humedad del aire incide directamente en el consumo de agua del cultivo, de igual manera

se relaciona con la necesidad de riego; ante una baja humedad relativa en el área del cultivo, se aumentara proporcionalmente la necesidad de absorción radicular de las plantas de agua del suelo. Cuando la temperatura es alta y la humedad es normal, se abrirán más estomas que dejarán entrar dióxido de carbono para una fotosíntesis activa. Si el aire es excesivamente seco y la planta se está marchitando, las aberturas de las estomas se cierran, por lo que se reduce la actividad fotosintética y, finalmente, el crecimiento de la planta. La calidad del cultivo depende de las condiciones que promuevan una fotosíntesis óptima, y la humedad desempeña una función en este proceso. (Peery, 2017).

De otro lado cuando la humedad del aire es alta, el cultivo no evapotranspira, razón que lleva a las plantas a una disminución en la absorción de los nutrientes que llegan en el agua por la raíz, indispensables para un desarrollo equilibrado de las plantas.

Respecto a la zona de estudio, el porcentaje de humedad es bastante alto, teniendo picos más elevados en los meses de mayo, junio y octubre con 91.68%, 91.86% y 91.46% respectivamente y picos de baja humedad en febrero, julio y agosto en este mismo orden de 87.09%, 88.28% y 88.57% .

A continuación se puede encontrar el grafico, que ilustra el comportamiento de la humedad en la cuenca media del rio Otún, específicamente en la zona de estudio (Finca Buenavista).



Imagen 16 Estación Lisbrán - Porcentaje Humedad para el año 2017.
Fuente: Elaboración propia 2019.

Se puede observar que para el área de estudio el porcentaje en gran parte del año, la humedad relativa es elevada, incidiendo directamente en el crecimiento de la planta, dado que no absorbe la cantidad ideal de nutrientes por las razones anteriormente expuestas.

Luego de consignar toda la información requerida por el Software CropWat 8.0, este efectúa los cálculos de evapotranspiración, precipitación y requerimiento hídrico del cultivo para cada uno de las fases y de esta manera obtener el requerimiento hídrico total final.

Para presentar los valores correspondientes, se debe calcular las equivalencias referentes a capacidad y volumen para poder ser expresados en metros cúbicos; el software CropWat 8.0 efectúa cálculos cuyo resultado están dados en mm, su equivalencia es: (1mm es igual a 1 Litro por metro cuadrado. Entonces se tiene que una Hectárea es igual a 10.000 m² y un metro cubico es igual a mil litros, el resultado es 10m³ por Hectárea.

mm		L/m ²		m ³ /Ha
1	=	1 L/m ²	=	10 m ³ /Ha

Para definir el requerimiento hídrico final se deben considerar los resultados de los cálculos del RAC correspondientes a la segunda cosecha, esta se muestra en la siguiente imagen.

El siguiente cuadro muestra los resultados correspondientes a la segunda cosecha, con los resultados del RAC, la evapotranspiración potencial del cultivo y la precipitación efectiva correspondiente al año 2017, para la zona de estudio .

Estación ETo		Cultivo					
Lisbrán		Cebolla Ver Junca					
Est. de lluvia		Fecha de siembra					
Lisbrán		14/08					
Mes	Decada	Etap	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req Riego
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Ago	2	Inic	0.70	3.22	22.6	23.5	5.8
Ago	3	Inic	0.70	3.30	36.3	38.4	0.0
Sep	1	Inic	0.70	3.37	33.7	44.5	0.0
Sep	2	Des	0.72	3.55	35.5	50.4	0.0
Sep	3	Des	0.77	3.73	37.3	49.6	0.0
Oct	1	Des	0.83	3.91	39.1	45.2	0.0
Oct	2	Des	0.88	4.08	40.8	43.7	0.0
Oct	3	Des	0.94	4.20	46.2	55.8	0.0
Nov	1	Med	0.99	4.28	42.8	73.6	0.0
Nov	2	Med	1.00	4.16	41.6	86.3	0.0
Nov	3	Med	1.00	4.25	42.5	80.1	0.0
Dic	1	Med	1.00	4.34	43.4	74.4	0.0
Dic	2	Med	1.00	4.43	44.3	71.6	0.0
Dic	3	Med	1.00	4.41	48.6	57.3	0.0
Ene	1	Fin	1.01	4.43	44.3	38.6	5.8
Ene	2	Fin	1.01	4.42	44.2	23.9	20.2
Ene	3	Fin	1.01	4.59	50.5	23.5	27.0
Feb	1	Fin	1.01	4.84	43.5	23.2	17.8
					737.3	903.7	76.6

Imagen 17 Requerimiento de Agua del Cultivo (RAC) segunda cosecha.

Fuente: CropWat 8.0 - 2019.

En la primera cosecha el requerimiento de riego es 257,3 mm, equivalentes a 2.573 m³/Ha; en la segunda cosecha el requerimiento de riego es 76,6 mm, equivalentes a 766 m³/Ha. Sumando los requerimientos de las dos cosechas se obtiene un total de 3.339 m³/Ha.

En el trabajo de campo realizado en la finca de estudio, se pudo identificar que no se realiza ningún tipo de riego, es decir, no existe utilización del recurso hídrico de fuentes superficiales o subterráneas. En este sentido, la huella hídrica azul estará dada por la cantidad de agua que se requiere para compensar la pérdida por evapotranspiración del cultivo.

Las imágenes 14 y 17, *Requerimiento de Agua del Cultivo (RAC) primera y segunda cosecha respectivamente*, muestra índices que refieren la necesidad de agua para disminuir el déficit en algunos periodos del año. Principalmente, este factor puede afectar la producción de cebolla larga. Esta afectación en la disminución de la producción se puede traducir en un ostensible impacto en la estabilidad hídrica de la cuenca, dado que deja con dos alternativas al cultivador para suplir estas carencias.

La primera es el destino de nuevas parcelas dedicadas al cultivo para suplir las bajas producciones; por consiguiente más uso de insumos y fertilizantes e incremento de la huella hídrica por espacios dedicados al agro.

La segunda reside en que la mayoría de estas fincas dedicadas al cultivo de cebolla larga junca, lindan con la principal fuente hídrica que compone la cuenca como es el río Otún, el cultivador para compensar la baja productividad del cultivo, se ve abocado a incrementar la frontera agrícola sobrepasando el límite de protección de la cuenca.

De acuerdo con el trabajo de campo y la entrevista realizada al propietario de la Finca de estudio, el costo asociado a la implementación de un sistema de riego para estas fechas no es subsanado por el ingreso recibido por la comercialización del producto, es decir, el agricultor no compensa los requerimientos hídricos con fuentes alternas diferentes a la precipitación.

8.4.1. Estimación de la Huella Hídrica Verde.

De acuerdo con la metodología propuesta en Water Footprint Network (2011), la huella hídrica verde corresponde al cociente entre el agua utilizada por el cultivo proveniente de precipitación efectiva y también el rendimiento del cultivo.

Para el periodo de estudio se obtuvo utilizando el software CropWat 8.0 una precipitación efectiva de 1566,6 mm.

$$HHV = \frac{\text{Precipitación efectiva (Pef)}}{Y} = \frac{m^3}{T}$$

Donde Y corresponde al rendimiento del cultivo en Ton/m².

Para el caso del cultivo de (Cebolla Larga Junca, *Allium Fistulosum*), en el área de estudio, se estima un rendimiento de 29 Ton/Ha, lo que equivale a 0,0029 Ton/m²

$$HHV = \frac{1,566 \text{ m}}{0,0029 \text{ Ton}/m^2} = 540 \frac{m^3}{T}$$

El HHV estimado a partir de la información arrojada por el software CropWat 8.0, es de 540 m³/Ton.

8.4.2. Estimación de la Huella Hídrica Azul.

Esta se refiere al consumo de aguas superficiales (como por ejemplo ríos, lagos) y aguas subterráneas (Agua Azul). Su contabilidad tiene en cuenta agua azul evaporada, transferida a otra cuenca, o incorporada a un producto.

$$HHA = \frac{AUC \text{ (proveniente del riego)}}{Y} = \frac{m^3}{T}$$

Los cálculos del RAC evidenciaron la necesidad de compensar la pérdida de agua por evapotranspiración con agua proveniente de otra fuente, es decir, que puede ser por sistema de riego manual o automatizado.

En este sentido, el AUC corresponde a la ETc obtenida con la utilización del software CropWat 8.0 a partir de la información climatológica obtenida de la estación de estudio (Lisbrán).

Para la primera cosecha esta información es expresada en mm/dec, es decir, 740.9 mm/dec que corresponde a 0.074 m/año.

En este sentido, la estimación de la HHA estará dada por:

$$HHA = \frac{0,0741 \text{ m}}{0,0029 \text{ Ton}/m^2} = 25,55 \frac{m^3}{T}$$

El HHA estimado a partir de la información arrojada por el software CropWat 8.0, es de 25,55 m³/Ton para la primera cosecha.

Para la segunda cosecha esta información es expresada en mm/dec, es decir, 737.3 mm/dec que corresponde a 0.073 m/año.

$$HHA = \frac{0,0737 \text{ m}}{0,0029 \text{ Ton}/m^2} = 25,41 \frac{m^3}{T}$$

El HHA estimado a partir de la información arrojada por el software CropWat 8.0, es de 25,41 m³/Ton para la segunda cosecha.

HH AZUL TOTAL para el año 2017 = 25,55 m³/T + 25,41 m³ = 50.96 m³/Ton.

En términos corrientes se puede observar que la sumatoria del Requerimiento de Riego del Cultivo, más la precipitación efectiva, da como resultado la evapotranspiración del cultivo en cada periodo. Para la primera cosecha el cultivo no requiere de riego durante los meses de abril, mayo y los primeros veinte días del mes de junio ; mientras que para la segunda cosecha no es necesario el riego a partir del veinte de agosto y los meses de septiembre, octubre, noviembre

y diciembre.

La necesidad de riego correspondiente a los meses de menor precipitación del área de estudio, de todo el año, o sea 257.3 mm para la primera cosecha y 76.6 mm para la segunda cosecha se puede suplir con un sistema tecnificado de captación y almacenamiento de aguas lluvias; esto permitiría planificar y programar un sistema de riego, que supla las deficiencias hídricas del cultivo en los periodos secos del año, permitiendo mejorar la productividad y mitigar el crecimiento de la frontera del cultivo con respecto a las fuentes hídricas, así como el tener que destinar nuevas parcelas para el mismo.

Los cálculos efectuados por el programa CropWat 8.0 demuestran que la huella hídrica verde es la más representativa con 540 m³/Ton, contra 50.96 m³/Ton correspondiente a la huella hídrica azul, se evidencia que la sumatoria de las dos más el impacto generado por la ampliación o aumento de parcelas dedicadas al cultivo de cebolla larga junca, de las áreas protegidas rivereñas del río Otún para mejorar la productividad con nuevas parcelas dedicadas al cultivo.

8.4.3. Estimación de la huella hídrica gris.

El cálculo de la huella hídrica gris permite estimar el volumen o cuerpo de agua indispensable para que el contaminante sea diluido, sin que la calidad del agua sobrepase los límites autorizados por la legislación vigente. Se calcula como la cantidad de agua añadida hipotéticamente necesaria en el cuerpo receptor, por lo que no se cuenta como generar un nuevo consumo, sino a disminuir el volumen de contaminante.

La “Huella Hídrica” gris se calcula dividiendo la concentración del contaminante (L, masa/tiempo) por la diferencia entre la calidad ambiental del agua para este contaminante (concentración máxima aceptable C_{max}, masa/volumen) y su concentración natural en el cuerpo de agua receptor (C_{nat}, masa/ volumen), (MAPFRE, 2011).

$$HHGris = \frac{L}{C_{max} - C_{na}}$$

Dónde:

L= Cantidad de fertilizante aplicado

C_{max}= Concentración máxima permitida

C_{nat}= Concentración natural

Los fertilizantes químicos comúnmente utilizados en los cultivos de cebolla de rama son los denominados N.P.K., es decir que contienen principalmente Nitrógeno, Fosforo y Potasio.

Según Polanco y Gómez, (2017)., estos se pierden en gran proporción por volatilización, fijación y lixiviación respectivamente.

Tanto la volatilización (transformación de una sustancia química líquida o sólida en gaseosa), fijación (dinámica y capacidad del suelo para retener y luego poner disponible el potasio para ser absorbido por las plantas) y la lixiviación (proceso por el cual se extrae uno o varios solutos de un sólido utilizando un disolvente líquido), generan pérdidas de estos contenidos los cuales afectan directamente la H.H. Gris, ligados a la escorrentía y en general a los fenómenos y variaciones climáticas y meteorológicas.

La otra forma de fertilización utilizada es la que se basa en abonos compostados (gallinaza o pollinaza), en esta los contenidos de nitrógeno y de otros nutrientes son más bajos y su liberación depende del proceso lento de mineralización de la materia orgánica en donde los nutrientes, especialmente el nitrógeno, es inmovilizado temporalmente por los microorganismos del suelo y por tanto no se encuentra disponible de manera inmediata en forma asimilable para las planta, además de que una buena parte de él se volatiliza en forma de $\text{NH}_3\text{-N}$ (Nitrógeno Amoniacal), dado que la materia orgánica no es incorporada al suelo sino que se aplica de manera superficial. (Polanco y Gómez, 2017).

Investigaciones sobre el cultivo de cebolla larga o junca, realizadas por la Universidad de Caldas, indican que los fertilizantes minerales se aplican combinadamente con la gallinaza, eventualmente al momento de la siembra y repitiendo entre la primera y la segunda cosecha. Los fertilizantes más utilizados por los productores son: 10-30-10, 15-15-15, 17-6-18-2. La demanda para una hectárea de estos insumos es de 1 a 1,2 toneladas /año (U.Caldas, 1999).

Según fuentes secundarias, en la región los fertilizantes más conocidos para el cultivo de la cebolla de rama además de la gallinaza son: NPK 10-30-10. Fertilizante complejo granular con una alta proporción de fósforo y contenidos complementarios de nitrógeno y potasio; el abono mineral 15-15-15 o triple 15, contiene nitrógeno, fósforo y potasio, se utiliza en todo tipo de cultivos en general, este beneficia el progreso de la raíz y el desarrollo vigoroso de la planta verde y el 17-6-18-2; que contiene según información técnica, una composición garantizada de Nitrógeno total (N). 17.0 %. Nitrógeno Amoniacal (N). 10.4 %. Nitrógeno Nítrico (N). 6.6 %. Fósforo asimilable (P_2O_5) al 6% etc., según información encontrada en etiqueta comercial de fertilizantes de venta libre.

Conforme a la Resolución 631 de 2015 “Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.”, para el sector agroindustrial, específicamente procesamiento de hortalizas, frutas, legumbres, raíces y tubérculos, no se establecen límites permisibles para el Nitrógeno, igualmente, este elemento no es objeto de muestreo en las caracterizaciones realizadas por la Autoridad Ambiental del departamento de Risaralda.

De acuerdo con el trabajo de campo realizado en la finca Buenavista se pudo identificar que el sistema de fertilización se efectúa por medio de la aplicación de gallinaza o pollinaza sin

compostar; la cantidad y la forma de aplicación obedecen a criterio del trabajador basado en su experiencia. Este procedimiento se muestra en la imagen presentada a continuación:



Imagen 18 Fertilización del cultivo con gallinaza sin compostar en la finca Buenavista.
Fuente: Elaboración propia 2018.

Los productores de cebolla de rama en el departamento de Risaralda, generalmente no hacen uso del recurso de análisis de suelos para planificar y dosificar los fertilizante. La base de la fertilización del cultivo se fundamenta en la aplicación de abonos orgánicos de origen animal. La gallinaza es el producto que se utiliza, el peso porcentual que tienen los fertilizantes minerales con relación a la gallinaza es del 30% o menos, los complementos foliares se presentan en relaciones muy bajas, siendo la urea el más utilizado y aplicado generalmente en combinación con los pesticidas en épocas de verano o cuando el cultivo presenta deficiencia. (U.Caldas, 1999).

Se evidenció también en este proceso que la gallinaza contiene residuos de celulosa (viruta de madera), cascarilla de arroz y plumas de las aves. En interacción con el propietario del cultivo se confirma dos datos adicionales; el primero que no existe análisis de suelos que permita mostrar las bondades y falencias del mismo, así mismo que permitan conocer la posible dosificación de fertilizantes y manejo de la acidez del terreno.

El segundo consiste en que la fertilización del cultivo no se efectúa a base de agroquímicos mencionados anteriormente como triple 15, lo cual que permita obtener la información de los contenidos químicos que se están adicionando al suelo y que tienen relación directa con la huella hídrica gris.

Las imágenes que se presentan a continuación, sirven para diferenciar la gallinaza compostada y la gallinaza o pollinaza sin compostar; se puede observar como la segunda imagen además de los excrementos existen plumas, viruta y en general material extraño propios de una gallinaza sin compostar.



Imagen 19 Gallinaza compostada.

Fuente: Producto final de compostaje a partir de gallinaza – Convenio Avícola La Esperanza UNAD. (2019)



Imagen 20 Gallinaza sin compostar.

Fuente: Elaboración propia 2019.

La HH gris proviene principalmente de las sustancias químicas contenidas en los fertilizantes dosificados y adicionados al suelo, entre los cuales se cuentan principalmente el Nitrógeno (N), el Fósforo (P), el Potasio (K), el Magnesio (Mg), el Azufre (S), el Boro (B) y el Zinc (Zn). La otra fuente principal de generación de la HH gris y que se utiliza como fertilizantes es la gallinaza o pollinaza, la cual sirve para agregarle a los suelos N, P y K principalmente.

El siguiente cuadro muestra el valor como abono de la gallinaza proveniente de ponedoras de jaula, compostada desecada industrialmente.

Tabla 18 Valor como abono de la gallinaza compostada.

Tipo	Humedad %	Nitrógeno %	Ácido Fosfórico %	Potasio %
Desecada Industrial	7 - 15	3.6 – 5.5	3.1 – 4.5	1.5 – 2.4

Fuente: Manejo y procesamiento de la gallinaza, Estrada (2005).

Para efectuar la estimación de la HH gris es indispensable contar con alguna de las alternativas de información descritas anteriormente. Específicamente en límites máximos permisibles para fuentes hídricas, así como características del aporte nutricional del producto utilizado como fertilizante.

De acuerdo con lo anterior, la estimación de la Huella Hídrica Gris se vuelve ambigua en el sentido de no asignar valores reales para el tipo de fertilizante utilizado, límites máximos permisibles que no se encuentran determinados tanto para la fuente hídrica como para el tipo de elemento a evaluar.

8.4.4. Análisis de resultados frente a otros estudios de la huella hídrica en cultivos de hortalizas.

La importancia de la evaluación de la huella hídrica en los cultivos, se muestra en el crecimiento de investigaciones relacionadas y más específicamente en el de hortalizas. Se citan a continuación algunos de ellos: Evaluación del uso y gestión del recurso hídrico para el cultivo de cebolla de bulbo en la finca Buena Vista de la vereda Flores – Cundinamarca (Castañeda y Ramírez, 2016); Estimación de impactos ambientales basados en el análisis de ciclo de vida de la fase agrícola de la cadena agroalimentaria convencional y agroecológica del brócoli. (Chiluisa, 2018); Análisis y evaluación de la huella hídrica de un cultivo de tomate (*Lycopersicon Esculentum*) en el municipio de Fómeque departamento de Cundinamarca. (Cruz, 2017.); Estrategias para el uso eficiente del agua a partir de la estimación de huella hídrica en cultivos de Lechuga (*Lactuca Sativa*) y Brócoli (*Brassica*) para una finca de diez hectáreas en Mosquera Cundinamarca. (Orjuela y Vargas, 2016).

Tabla 19 Cuadro comparativo de HH con estudios de cultivos de hortalizas.

Proyecto	Resultados		
	Cultivo	H.H. Verde	H.H. Azul
Evaluación Del Uso Y Gestión Del Recurso Hídrico Para El Cultivo De Cebolla De Bulbo En La Finca Buena Vista De La Vereda Flores – Cundinamarca	Cebolla De Bulbo	358,15 m ³ /ton	109,04 m ³ /ton
Estimación de impactos ambientales basados en el análisis de ciclo de vida de la fase agrícola de la cadena agroalimentaria convencional y agroecológica del brócoli.	Brócoli.	46,65 m ³ /ton	117,65 m ³ /ton
Análisis y evaluación de la huella hídrica de un cultivo de tomate	Tomate	87,84 m ³ /ton	13 m ³ /ton

Proyecto	Resultados		
	Cultivo	H.H. Verde	H.H. Azul
Estrategias para el uso eficiente del agua a partir de la estimación de huella hídrica en cultivos de Lechuga (<i>Lactuca Sativa</i>) y Brócoli (<i>Brassica</i>) Mosquera Cundinamarca.	Brócoli	107 m ³ /ton	94,3 m ³ /ton
	Lechuga	105 m ³ /ton	88,4 m ³ /ton
Estimación de la huella hídrica azul y verde en cultivos de cebolla larga, Junca, (<i>Allium Fistulosum</i> Linnaeus) en la cuenca media del río Otún del departamento de Risaralda	Cebolla Larga o Junca	540 m ³ /Ton.	50.96 m ³ /Ton.

Fuente: Elaboración propia 2019.

Comparativamente con esta investigación encontramos que la huella hídrica verde en los dos casos en cultivos de cebolla, (de bulbo y de rama), muestran una diferencia. Si bien no se puede atribuir una similitud debido a las diferencias espaciotemporales, se evidenció un aspecto diferenciador en el estudio de la HH verde de la cebolla de bulbo, la cual fue calculada en dos tipos de año, medio y seco, mientras que la de rama se tomó para año fijo 2017. Respecto a la HH azul de estos dos cultivos resaltamos que en la investigación de la cebolla de bulbo se duplica la HH (109,04 m³/ton), frente a la larga (50.96 m³/Ton), atribuible a que en el caso de cebolla de rama no se efectúa riego.

Los resultados del estudio sobre cultivo de tomate, en el cálculo de la HH gris, en cuanto a la (Cnat), afirma que faltan datos “*Respecto a la limitante de la falta de datos de los valores de las concentraciones naturales de los contaminantes, se asume*”. Según Hoekstra (2011) en cuanto a la concentración máxima aceptable de productos químicos aplicados (fertilizantes) (Kg/m³), plantea unos datos no sustentables. Así mismo investigación sobre la HH de la cebolla larga no indica valor de la HH gris argumentando ausencia de insumos para su cálculo que pueden tornar el resultado subjetivo.

El cálculo de la HH gris en el cultivo de la cebolla de bulbo presenta resultados que provienen de insumos obtenidos por información secundaria para el tipo de cultivo, referente al fertilizante aplicado. Frente a este el cultivo de cebolla larga junca no se cuenta con información que pueda sustentar el cálculo de la H.H Gris.

Por último la investigación sobre la HH del cultivo de brócoli y lechuga, en Mosquera Cundinamarca, aun cuando se soporta en información referente a los fertilizantes en datos tomados de información secundaria (operario del cultivo, fichas técnicas), otros datos relevantes como porcentaje de fracción de lixiviación, integración de nitrógeno, fósforo o potasio al cuerpo hídrico y se desconocen las concentraciones naturales de contaminantes, por lo que se asume una concentración natural igual a cero, lo cual puede variar de acuerdo con las características reales de la fuente hídrica objeto de estudio.

9. ESTRATEGIAS PARA EL FORTALECIMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO

La presión que ejerce la agricultura a los recursos hídricos en el mundo es muy alta, esta influencia está llevando a algunas cuencas hidrográficas a estar en estado crítico en lo referente al IPHE. El área hidrográfica del Magdalena – Cauca en Colombia tiene una influencia del sector agrícola del 46.2%, puntualmente la cuenca del río Otún y otros directos al Cauca presentan un IPHE CRÍTICO de acuerdo a clasificación del estudio de sostenibilidad del abastecimiento de los servicios ecosistémicos en las cuencas., (ENA – 2014).

Se hace necesario plantear una serie de estrategias que permitan mitigar esta presión sobre el recurso hídrico y disminuir la H.H. ejercida por la actividad agrícola, para este caso de estudio en la cuenca media del río Otún y específicamente en el cultivo de cebolla larga junca, hortaliza predominante en la zona investigada.

En el trabajo de campo desarrollado se pudieron identificar algunos aspectos relacionados con la utilización del recurso hídrico, principalmente asociado a los costos y poco interés de los agricultores para este tipo de cultivo. Si bien, las condiciones de la zona permiten que el cultivo de cebolla se pueda desarrollar sin sistema de riego, los beneficios en cuanto a producción disminuyen considerablemente.

El cuadro ambiental y socioeconómico del área de investigación dada su importancia por ser la fuente de aprovisionamiento de agua para los dos principales municipios de Risaralda (Pereira y Dosquebradas), lleva a plantear estrategias de varios tipos que requieren conocimientos multidisciplinarios e investigaciones paralelas apoyadas en la academia; el gobierno municipal, departamental y estatal; así como esfuerzos e inversión del sector privado.

Este estudio se enfoca en analizar estrategias técnicas y educativas, puesto que otras de ellas requieren profundas investigaciones en áreas sociales, económicas, gubernamentales etc.

Entre las estrategias de tipo técnicas están las ligadas a la producción y utilización de insumos en la búsqueda de mejorar la productividad unida a la protección del medio ambiente, que generen el equilibrio que garantice la sostenibilidad de la cuenca. Uno de los factores que permite rendimientos óptimos en el cultivo de cebolla larga junca, consiste en suplir las necesidades hídricas durante todo el proceso de desarrollo de las plantas, tanto en la época de invierno como en verano.

Por lo anteriormente expuesto es indispensable un sistema de riego para suplir las necesidades hídricas del cultivo. Existen varias técnicas de riego entre las cuales la de goteo se constituye en ideal para este cultivo, puesto que permite controlar la cantidad de agua a suministrar a la plantación.

9.1. Sistema de riego por goteo.

El sistema de riego por goteo suministra agua de manera controlada, pausada y similar por medio de mangueras instaladas cerca de la zona radicular de las plantas, reduce

considerablemente el desperdicio, dado que hay poco escurrimiento, evaporación o percolación en suelos limosos. También previene el desarrollo de enfermedades favorecidas por la humedad en el follaje y el tallo de las plantas.

Este sistema garantiza buenos rendimientos y calidad en las cosechas si se cubre las necesidades de las plantas, proceso que es de fácil manejo dadas las condiciones del mismo método. El más idóneo para el caso de esta investigación es el sistema de goteo sub – superficial el cual garantiza mayor duración y afectación de las mangueras o redes de distribución por los rayos UV del sol, o por las acciones propias de labranza, aporque, abonado, eliminación de maleza, etc., además disminuye la evaporación.

La siguiente imagen, ilustra un sistema de riego por goteo en un cultivo de cebolla.



Imagen 21 sistema de riego por goteo.

Fuente: Seminario Internacional de riego Perú – 2011.

9.1.1. Ventajas del sistema de riego por goteo.

- Este sistema de riego es adecuado para terrenos irregulares con topografía y estructura de poca uniformidad, con altas tasas de infiltración, encharcamientos o escurrimiento en partes del terreno.
- En caso de escasos de agua, o altos costos de la misma el sistema de riego por goteo es ideal, su menor evaporación, escurrimiento y percolación profunda, contando con uniformidad en el suministro de agua a cada planta, además no se hace necesario la aplicación excesiva en ciertas áreas para que otras reciban suficiente cantidad.
- El suministro de nutrientes es más exacta, reduciendo los costos por fertilizantes así como la pérdida de nitratos; adicionalmente se puede elegir el momento más idóneo para abonar.
- La vida útil de un sistema de goteo que tenga un mantenimiento periódico, limpieza de los filtros etc. Puede estar entre los 12 y 15 años, y en el cultivo de cebolla larga junca, puede disminuir los costos dado que no es necesario cambiar de sitio las mangueras si reutilizamos los mismos surcos entre cosecha y cosecha.

- La programación precisa del riego garantiza la productividad y eficiencia del cultivo, porque cada planta recibe la cantidad de agua previamente calculada en el momento apropiado.

Los elementos indispensables en un sistema de riego por goteo son: tanque de almacenamiento o fuente de alimentación de la red, filtro, llave de paso, niples y codos, manguera principal, manguera secundaria, conector en T, cintas de goteo, conectores para las cintas de goteo. El tanque de almacenamiento debe estar instalado de un metro en delante de altura en relación con el cultivo para mejorar la presión del agua y generar un goteo uniforme y contante. También es recomendable que el filtro este instalado hacia abajo para que cumpla con la función de retención y almacenamiento de las partículas que podrían obstruir los goteros.

Es también de suma importancia que los goteros queden hacia arriba y de esta forma lograr que las partículas que se pasen se decanten en la parte inferior y no obstruyan los goteros.

La siguiente imagen muestra el esquema de un sistema de riego por goteo.



Imagen 22 Esquema de sistema de riego por goteo.

Fuente: Agrotendencia 2014.

9.2. Fertilización.

Un fertilizante o abono es un prototipo de sustancia orgánica o mineral, sintética o natural que ostenta nutrimentos que son absorbidos por las matas y que se añade a la tierra para remplazar o aumentar determinados elementos fundamentales del mismo para el desarrollo de las plantas. La fertilización es uno de los cimientos que permite acceder a productos de calidad y sostenibles en el tiempo, la cebolla larga junca es un cultivo que requiere una eficiente y controlada fertilización, para lograr los rendimientos esperados por los agricultores y que a su vez den la sostenibilidad financiera, ambiental, social etc. Expresado de otra manera es darle la nutrición idónea a las plantas para su correcto desarrollo y producción.

La gallinaza fresca, por su fácil disponibilidad está siendo utilizada , con mayor frecuencia en el cultivo de cebolla junca en la zona de estudio como fuente de nutrientes, especialmente por su nitrógeno (N).

La gallinaza sin compostar tiene un resultado positivo y superior comparada con los procedimientos de fertilización química, el abono compostado y el fertirriego. Debido a su alto contenido de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), es considerado como uno de los fertilizantes más completos, esto revela que la gallinaza sin compostar, al ser aplicada al suelo empieza un proceso normal de descomposición liberando ligeramente ácidos fúlvicos, que proveen a las plantas nitrógeno, fósforo y micronutrientes de forma casi inmediata y consecutivamente en el transcurso de la mineralización, sigue liberando nutrientes de forma más lenta y oportuna durante todo el ciclo de cultivo, primordialmente en su fase de crecimiento, aumentando el contenido de nitrógeno el cual ayuda al aumento del diámetro y de la longitud de los tallos (Machado et al, 1983; Guerrero, 1996).



Imagen 23 Fertilización con gallinaza.
Fuente: Creación propia 2018.

Sin embargo existen problemáticas asociadas a la utilización de gallinaza y pollinaza sin compostar, generalmente estos productos poseen un alto contenido de viruta de madera 46%, plumas de las aves en un 3% y algunos residuos de concentrado. Según el boletín del DANE 2015, los contenidos de Nitrógeno y de otros nutrientes son más bajos por que una buena parte de él se volatiliza en forma de $\text{NH}_3\text{-N}$ (Nitrógeno amoniacal) dado que la materia orgánica no es introducida en el suelo sino que se aplica de manera superficial. Este mismo informe destaca la falta de uniformidad en la dosificación de estos fertilizantes que oscilan entre 40 y 80 toneladas hectárea, causado por la falta de un análisis de suelos.

El suministro de grandes cantidades de gallinaza, lleva a una acumulación de Fosforo (P) y Potasio (K), la contaminación de la fuente hídrica por el uso de agroquímicos, la eufratización por el uso excesivo de pollinaza y gallinaza, sumado a la contaminación del suelo por mal manejo de residuos de la cebolla empacada y del descalcete, hacen necesario implementar, la

realización de análisis completos de suelos, incluyendo azufre (S) y elementos menores, y formular de acuerdo con los resultados el plan de fertilización, que garanticen la optimización del uso de la gallinaza y la mitigación de los impactos ambientales derivados.



Imagen 24 Contaminación por descalcete de la cebolla larga junca, en la Finca Buenavista.
Fuente: Creación propia 2018.

Estudios recientes efectuados por la especialista en gerencia Melania Rocío Acevedo Martínez, evidencian que la rotación de cultivos, específicamente el de la cebolla larga junca con papa pastusa o criolla, seguida de uno nuevo de cebolla, pasando por otro de arvejas o habas, para rematar con uno nuevo de cebolla, permite evitar la fatiga del suelo, generar mejores rendimientos y mitigar la contaminación.

9.3. Captación y almacenamiento de aguas lluvias.

A través de la historia se han desarrollado diferentes formas de captación y almacenamiento de aguas lluvias; desde el desierto de Negev, en Israel, en Jordania, en Yemen, en Roma, en China, en Irán, Centroamérica (Imperio Maya), etc. la captación y el aprovechamiento de las aguas lluvias han sido constantes.

Una alternativa para mitigar el IPHE en la cuenca media del río Otún y específicamente en los cultivos de cebolla larga junca, consiste en la captación de aguas lluvias, almacenamiento y riego en épocas de verano o sequía. Para este sistema de aprovechamiento se puede utilizar la cubierta de la vivienda, sumada a los de los galpones de almacenamiento de insumos y de cosecha; por medio de canales colectores y una sencilla red de transporte, llevarla hasta tanques de almacenamiento.

Estos tanque pueden ser construidos en concreto, prefabricados en PVC, fibra de vidrio, o directamente excavados en el suelo e impermeabilizados con polietileno o cualquier otro

material. El sistema de almacenamiento depende simplemente de la disponibilidad financiera de cada agricultor.

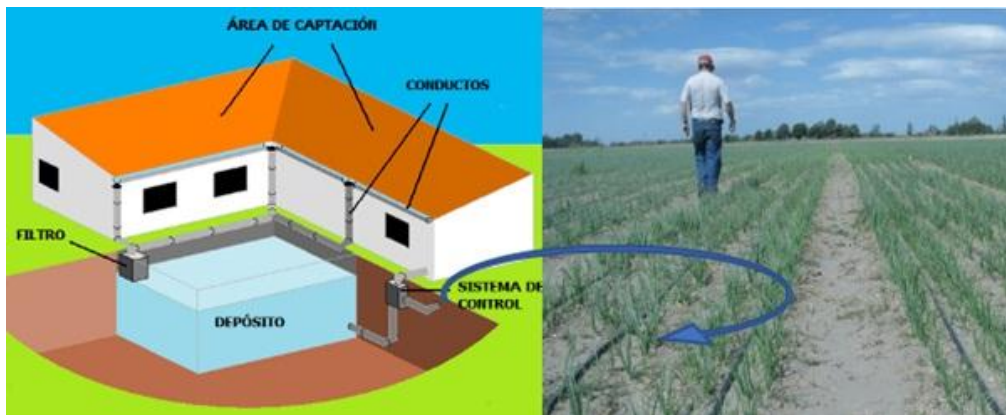


Imagen 25 Captación y almacenamiento de aguas lluvias para riego.
Fuente: Aquapurif – 2019.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos a partir de la utilización del software CropWat dan muestra de requerimientos hídricos en el cultivo de cebolla larga en la finca de estudio. Estos se evidencian principalmente a partir del 10 de febrero y el mes de marzo; de igual manera después del 20 de junio y el mes de julio, más los primeros 15 días del mes de agosto, donde la pérdida de agua por evapotranspiración es superior a cero, es decir, hay una pérdida debido a las condiciones climatológicas.

Si bien existe una Huella Hídrica Azul, esta representa el únicamente el 8,62% de las huellas calculadas. Durante el trabajo de campo elaborado y las indagaciones realizadas en la finca de estudio, para el caso específico de la cebolla larga, se evidencia que en las temporadas de bajas precipitaciones los rendimientos del cultivo se disminuyen, no obstante, sigue siendo económicamente sostenible.

De acuerdo al trabajo realizado se concluye que puede ser conveniente implementar un sistema de riego para lograr la idónea productividad, se evidencia de acuerdo a los requerimientos hídricos del cultivo, que los meses de verano los rendimientos bajan y conllevan al agricultor a destinar nuevas parcelas para alcanzar las cosechas requeridas o a aumentar la frontera agrícola.

También se concluye que la captación de aguas lluvias en temporada de invierno, su almacenamiento para ser utilizada en la temporada seca, es una de las herramientas idóneas para mejorar la productividad del cultivo.

No se cuenta con estándares para la aplicación del compostaje proveniente de la gallinaza o la pollinaza dado que son inexistentes los estudios o evaluaciones de las condiciones del suelo, dando como resultado una aplicación excesiva con los consiguientes impactos de contaminación o deficiente generando una baja productividad.

Se evidencia receptividad de parte de los cultivadores de cebolla larga junca por escuchar y posiblemente implementar técnicas que mejoren la productividad y disminuyan los impactos ambientales generados.

La metodología de Huella Hídrica se encuentra en un proceso de evolución y desarrollo, lo cual para el caso de estudios desarrollados principalmente en Colombia se pudo evidenciar un avance en su implementación. Sin embargo, para el caso de la Huella Hídrica Gris para el caso de estudio se requiere un avance en estudios que permitan conocer principalmente las concentraciones máximas permisibles tanto en la fuentes naturales como el proceso productivo.

RECOMENDACIONES

Se recomienda evaluar la Huella Hídrica Gris (HHG) mediante la caracterización del producto que se utiliza actualmente en el cultivo como fertilizante, lo cual permita conocer puntualmente el aporte nutricional en términos de Nitrógeno, Fosforo y Potasio, principalmente. Igualmente, es necesario conocer la concentración de los elementos a evaluar en la fuente hídrica, con lo cual se evite asumir una concentración natural “Cnat” de cero (0) como lo recomienda la metodología establecida por Hoesktra (2011).

Es de suma importancia evaluar las condiciones nutricionales del suelo, para generar estándares de fertilización por medio de gallinaza y/o pollinaza, apuntando hacia una dosificación exacta que garantice un equilibrio en el cubrimiento de las necesidades del cultivo y evite los impactos ambientales y económicos por el defecto o exceso de la aplicación de los mismos.

Implementar sistemas de riego, específicamente el de goteo que garantice, aumento de la productividad con un uso eficiente del recurso hídrico.

Se recomienda también implementar la captación y almacenamiento de aguas lluvias, de épocas de invierno para ser utilizadas en las temporadas secas, en sistemas de riego por goteo; con esto se garantiza cubrir el requerimiento hídrico idóneo del cultivo durante todo el proceso, hasta la cosecha.

BIBLIOGRAFÍA

- AGRICULTURA, A. R. (20 de ABRIL de 2016). *SISTEMAS DE RIEGO INNOVADORES*. Recuperado el JULIO de 2018, de <http://agriculturers.com/5-sistemas-riego-innovadores-ahorro-agua-debes-conocer/>
- Alberto, M. M. (2014). “*COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE LAS HORTALIZAS, CEBOLLA DE RAMA (Allium fistulosum L.), Y CEBOLLA COLORADA (Allium cepa L.), CON DOS FERTILIZANTES ORGÁNICOS EN EL CENTRO EXPERIMENTAL LA PLAYITA DE LA UTC - EXT LA MANÁ. 2013*”. Recuperado el Junio de 2018, de <http://181.112.224.103/bitstream/27000/3545/1/T-UTC-00822.pdf>
- Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y., 2003. Virtual water trade. Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products. International Expert Meeting on Virtual Water Trade 13(11), pp. 1–202.
- CARDER. (2008). *Plan.de.Ordenacion.y.manejo.de.La.cuenca.hidrografica.del.Rio.otun*. Recuperado el JULIO de 2018, de <https://es.scribd.com/document/259962900/Plan-de-Ordenacion-y-manejo-de-La-cuenca-hidrografica-del-Rio-otun>
- CARDER. (ENERO de 2010). *ACUERDO DE MANEJO PARA EL ÁREA DEL PARQUE LINEAL RÍO OTÚN*. Recuperado el JULIO de 2018, de [file:///C:/Documents%20and%20Settings/Miguel%20Perez/Mis%20documentos/Downloads/ACUERDO_DE_MANEJO_OTUN%20\(2\).pdf](file:///C:/Documents%20and%20Settings/Miguel%20Perez/Mis%20documentos/Downloads/ACUERDO_DE_MANEJO_OTUN%20(2).pdf)
- DANE. (Mayo de 2015). *La cebolla de rama o cebolla junca (Allium fistulosum), una hortaliza de gran importancia en la alimentación humana*. Recuperado el Mayo de 2018, de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_may_2015.pdf
- Hoekstra, A.Y., Chapagain Ashok, K., Aldaya, M.M., Mekonnen, M.M., (2011). *The water footprint assessment manual: setting the global standard*. Earthscan.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura –IICA (2017a) *Guía metodológica para la evaluación de la huella hídrica en una cuenca hidrográfica*. Unión Europea,. – San José, C.R.: IICA, 2017. 80 p
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura - IICA, Good Stuff International (2017b) *Evaluación de la huella hídrica en cuencas hidrográficas: experiencias piloto en Latinoamérica* / – San José, C.R 128 p
- Jorge Armando Pinto Medina, R. R. (25 de OCTUBRE de 2012). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO AUTOMÁTICO POR ASPERSIÓN, PARA EL CULTIVO DE CEBOLLA DE JUNCO, FINCA LA PUERTA (TOTA, BOYACÁ)*. Recuperado el JUNIO de 2018,

de

file:///C:/Documents%20and%20Settings/Miguel%20Perez/Mis%20documentos/Downloads/Dialnet-DisenoDeUnSistemaDeRiegoAutomaticoPorAspersionPara-6096210.pdf

MARTÍNEZ, M. R. (2018). *IMPACTO ECONÓMICO EN LOS AGENTES VINCULADOS A LA PRODUCCIÓN DE CEBOLLA LARGA Y EL SECTOR TURÍSTICO POR LA DIVERSIFICACIÓN EN LOS CULTIVOS DEL MUNICIPIO DE AQUITANIA - BOYACÁ*. Recuperado el Febrero de 2019, de file:///C:/Users/Flia%20Perez/Downloads/580691-2018-II-GE%20Aquitania%20cebolla.pdf

Ramírez*, C. H. (Agosto de 2004). *LA CEBOLLA DE RAMA (Allium fistulosum) Y SU CULTIVO*. Recuperado el Junio de 2018, de <http://conectarural.org/sitio/sites/default/files/documentos/LA%20CEBOLLA%20DE%20RAMA%20Y%20SU%20CULTIVO.pdf>

Richard G. Allen, L. S. (2006). *ESTUDIO FAO RIEGO Y DRENAJE Evapotranspiración del cultivo*. FAO, ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, Roma. Recuperado el Enero de 2018 - 2019, de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021367/Evapotranspiracionde lcultivo.pdf>

Risaralda, C. A. (FEBRERO de 2017). *POMCA Río Otún 2017*. Recuperado el SEPTIEMBRE de 2018, de <https://drive.google.com/drive/folders/1LoVOH0MBnae5hJIu6sFTejoYjNywwp5J>

Sabas, Carlos Andrés, Berrío, Juan Camilo, Castaño, Juan Mauricio, Red Hidroclimatológica Administrada Por La Universidad Tecnológica De Pereira. *Scientia Et Technica* [en línea] 2011, XVI (Agosto-Sin mes): [Fecha de consulta: 23 de julio de 2018] Disponible en:<<http://wqww.redalyc.org/articulo.oa?id=84922622055>>ISSN 0122-1701

Vargas1, S. L., & Lozano2, M. T. (2009). *Instrumentos de política para la gestión de servicios ecosistémicos en agroecosistemas cebolleros de la cuenca del río Otún, Colombia*. Recuperado el Julio de 2018, de file:///C:/Documents%20and%20Settings/Miguel%20Perez/Mis%20documentos/Downloads/381-741-1-SM%20(1).pdf