



**ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DE UN CULTIVO DE
TOMATE (*Lycopersicum esculentum*) EN EL MUNICIPIO DE FÓMEQUE
DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA**

Mauricio Cruz González

Ingeniero Agrícola

**Estudiante Especialización en Planeación Ambiental y Manejo Integral de los Recursos
Naturales.**

Trabajo de grado

Universidad Militar Nueva Granada

Facultad de Ingeniería

Diciembre de 2017

**ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DE UN CULTIVO DE
TOMATE (*Lycopersicum esculentum*) EN EL MUNICIPIO DE FÓMEQUE
DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA**

**ANALYSIS AND EVALUATION OF THE WATER FOOTPRINT FOR A TOMATO
CROP (*Lycopersicum esculentum*) IN FOMEQUE-CUNDINAMARCA**

Cruz González Mauricio. Especialización en Planeación Ambiental y Manejo Integral de los Recursos Naturales. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá 2017. macruzgo1@gmail.com

RESUMEN

El agua es quizá el recurso más importante en todos los ámbitos de la actualidad mundial al estar inmersa en todos los renglones productivos de la economía. Desde el sector agrícola el recurso hídrico es de vital importancia para el desarrollo rural mediante la implementación y sostenimiento de cultivos, es por esto que se genera la necesidad de implementar alternativas para el uso eficiente del recurso hídrico y su correcta gestión a nivel ambiental, social y económico. El presente documento se centra en una primera revisión bibliográfica para contextualizar al lector sobre el concepto de huella hídrica y su aplicación mediante distintos estudios en el sector agrícola colombiano, a partir de esto el objetivo es el de estimar la huella hídrica de un cultivo de tomate en la finca salpicón ubicada en el municipio de Fómeque en el departamento de Cundinamarca.

Mediante el uso del software CROPWAT desarrollado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO por sus siglas en inglés, se estimaron los parámetros necesarios para el cálculo de la huella hídrica con sus componentes verde, azul y gris a partir de los datos meteorológicos de la

estación FOMEQUE obtenidos del IDEAM y los datos de cultivo y suelo correspondientes. Finalmente se hizo una comparación de los porcentajes del cultivo frente a los estudios realizados a nivel Colombia para el sector agrícola en sus diferentes líneas productivas.

Palabras Clave: Huella Hídrica, CROPWAT, Cultivo de tomate, Sector Agropecuario

ABSTRACT

Water is perhaps the most important resource in the different areas of the current world as it is immersed in all the productive sectors of the economy. In the agricultural sector, the water resource has a vital importance for the rural development through the implementation and maintenance of crops, which is why there is the need to implement alternatives for the efficient use of water resources and its correct management at an environmental, social and economic level. This document focuses on a first literature review to contextualize the reader on the concept of water footprint and its application through different studies in the Colombian agricultural sector, based on this, the objective is to estimate the water footprint of a tomato crop in the “salpicón” farm located in Fómeque, Cundinamarca.

Through the use of the CROPWAT software developed by the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), the necessary parameters for the calculation of the water footprint with its green, blue and gray components were estimated from the meteorological data of the FOMEQUE station obtained from IDEAM, likewise, crop and soil data were modeled. Finally, a comparison was made of the percentages of the water footprint for the crop compared to the studies carried out at the Colombian level for the agricultural sector in its different production lines.

Key words: Water Footprint, CROPWAT, Tomato crop, Agricultural Sector.

INTRODUCCIÓN

Antecedentes temáticos

Colombia se ubica en el séptimo puesto dentro de los 10 de los países con mayor disponibilidad de recurso hídrico en el planeta con aproximadamente 2300 Km³/año de agua debido a su localización geográfica, su orografía y una gran variedad de regímenes climáticos, el recurso está distribuido en aguas superficiales, aguas marinas y estuarias, humedales, ciénagas, embalses, glaciares y páramos, además del agua subterránea. Añadido a esto, en promedio en Colombia la precipitación media anual es de 3000 mm con una evapotranspiración real de 1180 mm y una escorrentía medial anual de 1830 mm (IDEAM, 2015), razón por la cual se favorecen las actividades agropecuarias en todas las regiones del país. El consumo de agua en cada sector productivo se asocia entonces con la influencia del factor antrópico para todas las actividades enmarcadas dentro de los procesos productivos de bienes y servicios, causando de forma directa o indirecta algún tipo de contaminación en el proceso. No se ha puesto la atención debida a este tema ya que el uso del recurso se relaciona con la economía global supliendo las necesidades de la población. El agua entonces está detrás de todos los factores para la producción de los sistemas productivos, por ejemplo, en los cultivos agrícolas el agua no solo se usa para el riego en las plantas, sino que el recurso se usa desde la preparación del terreno hasta que el producto es consumido (A lo largo de toda la cadena productiva), derivando así el concepto de Agua Virtual, el cual va a influir en los aspectos socioeconómicos de la población a nivel mundial, regional, local, etc.

El Agua Virtual (AV) representa el cálculo de la cantidad total de agua que se requiere para obtener un producto, lo cual incluye el agua utilizada durante el cultivo, el crecimiento,

procesamiento, fabricación, transporte y venta de los productos. Para cada alimento y producto agrícola o industrial se puede calcular el contenido de agua virtual y se dice que es virtual porque no está presente en los productos finales (A.K. Chapagain & A.Y. Hoekstra,). Refiriéndonos al sector productivo, Allan en el 98 indicó que exportar un producto que tiene altos requerimientos hídricos (AV) es equivalente a exportar agua (Allan, 1998). De manera, que el país importador no necesita utilizar agua nacional para obtener un determinado producto y, por tanto, puede dedicarla a otros ámbitos, es por esto que saber el consumo de agua que se aplica en los productos del sector nos ofrecerá la competencia para acceder a nuevos mercados siendo más competitivos.

Es entonces que se crea el concepto de huella hídrica (HH) introducido por el profesor Arjen Hoekstra en el 2002 como un indicador del agua usada no solo en el consumo directo de un productor sino también en su uso indirecto, entonces la HH es el volumen de agua usada para producir un producto medido a través de toda la cadena productiva (Aldaya, Chapagain, & Hoekstra, 2012). Mediante la revisión documental realizada, se tiene que dicha huella es definida como el “volumen total de agua utilizada para producir los bienes y servicios consumidos por un individuo, por un grupo de personas o por un país, respectivamente” (A.K. Chapagain & A.Y. Hoekstra,) y (Chapagain & Orr, 2009) consideran que la HH es la expresión del contenido de AV, y que permite evaluar dónde se origina el agua. Además, sirve para poner de manifiesto la idoneidad de una región productora para exportar agua (Chapagain & Orr, 2009). Dentro del contexto y desarrollo del concepto de huella hídrica, se implementan 3 nociones importantes para el estudio del uso del agua, estos son la huella hídrica verde, la huella hídrica azul y la huella hídrica gris, referidos al agua utilizada que está almacenada en el suelo, el agua utilizada extraída

o captada de los sistemas hídricos superficiales, subsuperficiales y subterráneos y el agua utilizada para lograr la dilución de un contaminante sin que se altere la calidad del agua del cuerpo receptor.

En el contexto nacional se han realizado varios estudios sobre la oferta y demanda del recurso hídrico y más actualmente sobre la huella hídrica, destacándose las publicaciones de la WWF (World Wildlife Fund por sus siglas en inglés) Colombia en el 2012 “Una mirada a la agricultura de Colombia desde su huella hídrica”(Arévalo Uribe, 2012), el cual tiene como base información del ministerio de agricultura, el IGAC, IDEAM entre otros, también el Estudio Nacional del Agua del IDEAM en el 2014, asigna un capítulo completo de la publicación a la huella hídrica y a partir de este se genera la evaluación multisectorial de la huella hídrica en Colombia cuyo objetivo es la cuantificación y evaluación de los resultados obtenidos a partir de la estimación de las huellas hídricas azul y verde en el Estudio Nacional del Agua (ENA) para cuatro sectores económicos: agropecuario, industrial, energético y petrolero; también se incluyó el componente doméstico.

Dado lo anterior, se puede precisar entonces el concepto de huella hídrica en su relación también con el concepto de agua virtual mediante las siguientes definiciones:

- La huella hídrica puede ser considerada como un indicador global de apropiación de los recursos de agua dulce, por encima de la medida tradicional y restringida de la extracción de agua.
- La huella hídrica de un producto es el volumen de agua utilizada para producir el producto, medidos a lo largo de la cadena de suministro.

- Es un indicador multidimensional, que muestra los volúmenes de consumo de agua por fuentes y volúmenes de contaminación por cada tipo de contaminación, y cuyos componentes de huella hídrica total pueden ser especificados geográfica y temporalmente.

La HH por lo tanto ofrece una perspectiva mejor y más amplia sobre cómo un consumidor o productor afecta el uso de sistemas de agua dulce. Se trata de una medida volumétrica del consumo de agua y su contaminación. Lo que no mide es la gravedad de los efectos locales en el medio ambiente del consumo de agua y su contaminación. La HH representa una información explícita a lo largo del tiempo y del espacio sobre cómo el agua es apropiada para diversos fines humanos (Linares & Melo, 2015).

Se debe entender entonces que el concepto de HH se compone de tres (3) factores importantes a tener en cuenta, los cuales son la huella hídrica verde, azul y gris. Los componentes verde y azul están asociados a la cantidad de agua y el componente gris se asocia con la calidad del agua, según el Estudio Nacional del Agua en el 2014 (Campuzano et al., 2014) estos se definen de la siguiente manera:

La huella hídrica verde como apropiación humana de agua almacenada en el suelo para un uso antrópico indica el grado de competencia del sector agropecuario con los ecosistemas naturales.

La huella hídrica azul como apropiación humana de agua de los sistemas hídricos superficiales, subsuperficiales y subterráneos para un uso antrópico que no retorna a la cuenca origen, señala los conflictos por uso en relación a la oferta hídrica disponible y, por tanto, aporta a determinar la vulnerabilidad del agua en una cuenca.

La huella hídrica gris como el volumen de agua dulce necesario para asimilar la carga contaminante vertida a un cuerpo receptor, expresa la reducción de la disponibilidad por afectación a la calidad del agua.

A partir de estas nuevas tendencias para la gestión de los recursos naturales, se deben ir generando estrategias para la reducción del consumo de agua, por lo cual la sostenibilidad de los recursos hídricos consumidos en un proceso, un producto, o por un consumidor o productor, depende de sus propias características (Tamaño de su huella hídrica); y de las condiciones del área geográfica. La sostenibilidad se puede entonces analizar desde una perspectiva ambiental, social o económica (Tolón, Lastra, & Fernández, 2013), según el contexto del sector productivo en el que se está trabajando.

Ya que se está tratando el tema del agua a través de la HH en Colombia, se debe conocer el marco normativo aplicable (Normatividad más relevante aplicada al trabajo de investigación) al recurso hídrico por lo cual se tiene en cuenta lo estipulado en la Constitución Política de Colombia en la cual se elevó a norma constitucional la consideración, manejo y conservación de los recursos naturales y el medio ambiente a través de los principios fundamentales del derecho al ambiente sano y el derecho a la vida, y la ley 99 de 1993, por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente y se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables.

Tabla 1
Marco normativo aplicado al recurso hídrico

Legislación del agua en Colombia

Norma	Temática
Decreto No. 1076 de 2015	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible

Decreto No. 3930 de 2010	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo 11 del Título VI-Parte 11I-Libro 11 del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones"
Decreto No. 900 de 2006	Todo proyecto que involucre en su ejecución el uso del agua tomada directamente de fuentes naturales y que esté sujeto a la obtención de licencia ambiental, deberá destinar el 1% del total de la inversión para la recuperación, conservación, preservación y vigilancia de la cuenca hidrográfica que alimenta la respectiva fuente hídrica; de conformidad con el parágrafo del artículo 43 de la Ley 99 de 1993
Decreto No. 4742 de 2005	Tasa por utilización de agua
Decreto No.1443 de 2004	Por el cual se reglamenta parcialmente el Decreto-ley 2811 de 1974, la Ley 253 de 1996, y la Ley 430 de 1998 en relación con la prevención y control de la contaminación ambiental por el manejo de plaguicidas y desechos o residuos peligrosos provenientes de los mismos
Decreto No. 1594 de 1984	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III-Libro II y el Título III de la Parte III -Libro I- del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos
Decreto No. 2811 de 1974	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente
Ley No. 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

Información obtenida de normativa del recurso hídrico del MADS (Elaboración propia)

Además de la normatividad aplicada, se han aplicado estudios por parte del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en conjunto con el IDEAM con el estudio nacional del agua en el año 2014 y se han formulado políticas para la gestión del recurso mediante la política nacional de gestión integral de recursos hídricos. Sin embargo, el concepto de Huella Hídrica no ha sido incluido en documentos de política a nivel nacional en Colombia, no obstante, se ha manifestado

interés en conocer los resultados de los primeros estudios nacionales por parte del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, IDEAM, Corporaciones Autónomas Regionales, entre otros; de forma que el concepto pueda ser incorporado como herramienta de política en el futuro próximo.(Arevalo, Lozano, & Sabogal, 2011).

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el presente artículo se realiza una revisión documental general sobre el estado del arte del concepto de HH a nivel mundial y a nivel Colombia con el fin de documentar al lector y ponerlo en contexto para apropiarse del concepto.

A partir del análisis y la información presentada en la INTRODUCCIÓN del presente artículo, se procederá a calcular los componentes de huella hídrica verde, azul y gris de un cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum*) en la finca “Salpicón” ubicada en la vereda Rio Negro del municipio de Fómeque departamento de Cundinamarca. Para lo anterior se aplicará el uso del software CROPWAT desarrollado por la FAO, el cual es un software que se usa para calcular tanto los requerimientos hídricos como los requerimientos de riego de un cultivo a partir de datos climáticos y del cultivo mismo. Para alimentar el software y obtener los datos necesarios para el cálculo de los componentes mencionados se debe utilizar información meteorológica, datos que serán obtenidos por medio del IDEAM e información del cultivo en sí, la cual se obtiene de la información brindada producto de la visita al agricultor responsable de la finca y de ingeniero agrónomo que acompaña el proceso, igualmente también se realizará una revisión sobre las buenas prácticas agrícolas del tomate y una revisión del documento “Evaporación del Cultivo-Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos” publicado por la FAO. El procedimiento detallado consiste entonces en la

caracterización y ubicación de la zona de estudio, consecución y procesamiento de datos meteorológicos, aplicación y modelamiento mediante el software CROPWAT.

CROPWAT es un software que se usa para calcular tanto los requerimientos hídricos como los requerimientos de riego de un cultivo a partir de datos climáticos y del cultivo mismo. Además, el programa permite también el desarrollo de programación de riego en diferentes condiciones.(FAO, 1994). Se debe entonces alimentar el programa y calibrarlo mediante los datos requerido, para el caso de los cultivos tradicionales se requieren datos climáticos, datos de suelo y datos de cultivo como se referencia a continuación en las tablas 3, 4 y 5

Tabla 2
Datos climatológicos CROPWAT

DATOS	SUBDATOS	UNIDAD	TIPO DE INFORMACIÓN		
Clima/Eto	Temperatura mínima	°C	Requerido		
	Temperatura máxima	°C	Requerido		
	Humedad	%	Requerido		
	Viento	Km/día	Requerido		
	Radiación Solar	MJ/m2/día	Calculado	por	el programa
	ET o	mm/día	Calculado	por	el programa
Precipitación	Precipitación mensual	mm	Requerido		
	Precipitación efectiva	mm	Calculado	por	el programa

Fuente: (Linares & Melo, 2015)

Tabla 3
Datos de cultivo CROPWAT

DATOS	SUBDATOS	UNIDAD	TIPO DE INFORMACIÓN		
Cultivo	Nombre	Texto	Requerido		
	Siembra	Fecha			
	Kc				
	Etapas (Inicial-Final)	Días			
	Prof. Radicular	m			
	Agotamiento crítico	Fracción			

	Factor respuesta rendimiento	Fracción	
	Altura del cultivo	m	

Fuente: (Linares & Melo, 2015)

Tabla 4
Datos del suelo CROPWAT

DATOS	SUBDATOS	UNIDAD	TIPO DE INFORMACIÓN
Suelo	Nombre	Texto	Requerida
	Humedad del suelo	mm/m	Calculado por el programa
	Tasa max. De infiltración	mm/día	
	Prof. Radicular max	cm	
	Agotamiento inicial	%	
	Humedad del suelo inicial disponible	mm/m	

Fuente: (Linares & Melo, 2015)

Posterior a hacer el modelamiento en CROPWAT y generar la información calculada por el programa, se procede al cálculo de los componentes de la huella hídrica, el componente verde de la misma se puede calcular mediante la ecuación 5:

$$(5) HH_{verde} = \frac{P_{ef}}{Y} \left[\frac{m^3}{Ton} \right]$$

Siendo P_{ef} la precipitación efectiva calculada por el programa y Y el rendimiento del cultivo analizado.

El componente azul de la HH tendrá en cuenta la cantidad de agua disponible de una cuenca hidrográfica, es decir, aquel volumen de agua que es captado de una fuente hídrica, diferente de la precipitación, para este caso se calcula mediante la ecuación 6:

$$(6) HH_{azul} = \frac{CWU_{riego}}{Y} \left[\frac{m^3}{Ton} \right]$$

Donde CWU_{riego} , es la cantidad de agua que debe ser suministrada a la planta para compensar las pérdidas provocadas por la evapotranspiración, calculado también por CROPWAT. Finalmente, para el cálculo de la HH gris el cual comprende el volumen de agua

necesario para diluir los contaminantes que llegan a cuerpos de agua, de modo que evalúa si estos vertimientos cumplen o no las normas de calidad ambiental establecida, lo anterior se puede calcular mediante la ecuación 7, así:

$$(7)HH\ gris = \frac{\alpha * AR}{\frac{C_{max} - C_{nat}}{Y}} \left[\frac{m^3}{Ton} \right]$$

Donde α es la fracción de lixiviación, AR es la cantidad de agroquímicos aplicados por hectárea, Cmax y Cnat las concentraciones máximas permisibles y natural respectivamente, y Y el rendimiento del cultivo (Linares & Melo, 2015).

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Fómeque se localiza en la parte sureste del departamento de Cundinamarca, a 56 kilómetros de Santafé de Bogotá, a los 4° 29' de latitud norte y 73° 54' de longitud oeste de Greenwich. Tiene una superficie de 55.565 hectáreas, de las cuales 27.184 pertenecen al Parque Nacional Natural Chingaza (49%). Política y administrativamente se encuentra dividido en 32 veredas y una inspección de policía. El municipio se encuentra en la cordillera oriental, posee un relieve variado que va desde paisajes ondulados hasta terrenos escarpados y se pueden encontrar alturas que oscilan entre los 800 y 3.200 m.s.n.m. El municipio comprende los territorios que se extienden desde las riveras del Río Negro en límites con Cáqueza y Ubaque (Occidente). Por el norte limita con los municipios de Choachí, La Calera y Junín, por las cuchillas del Fonte, El Pulpito y Chuza, respectivamente. Por el sur limita con el municipio de Quetame y el departamento del Meta por la Serranía de los Organos. El límite por el oriente es la cuchilla del Gaque, que lo separa del municipio de Gachalá. (UNIVERSIDAD NACIONAL, 2000). Para el caso de la aplicación del modelo se escogió La finca “Salpicón”, ubicada en la vereda Rionegro del municipio, en el corregimiento de la Unión, la finca tiene poca extensión ya que solo cuenta

con un área aproximada de 1.5 hectáreas de las Cuales siembran aproximadamente 1 hectárea en tomate (*Lycopersicum esculentum*) el cual es uno de los cultivos predominantes en el municipio.

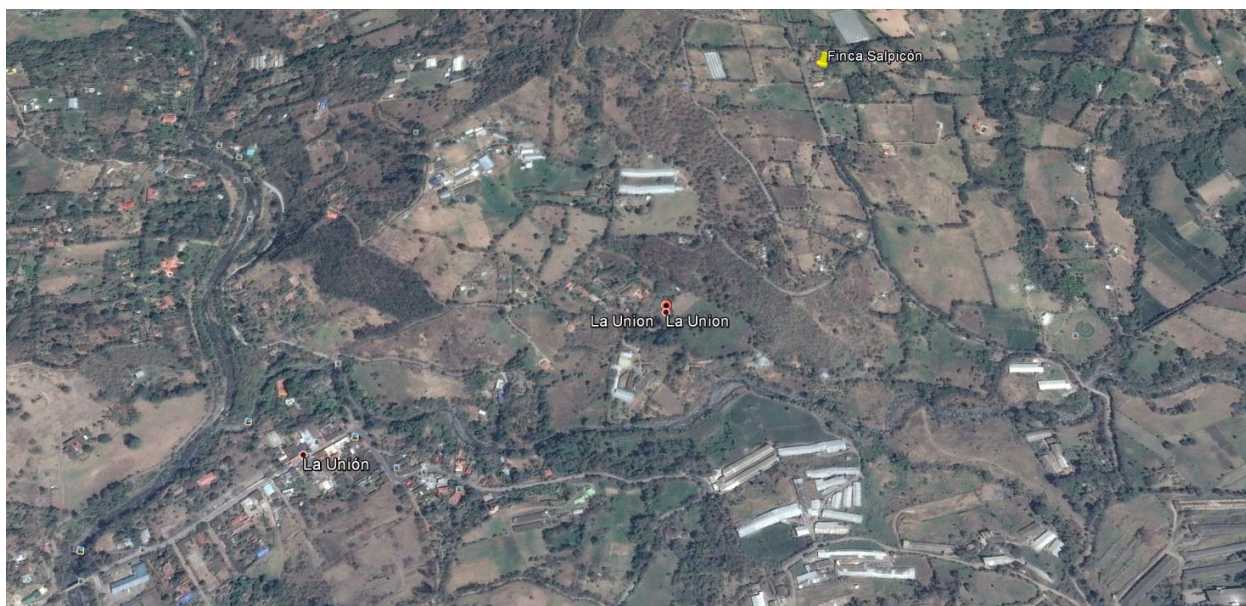


Figura 1 Finca Salpicón en corregimiento La Unión Fómeque (Fuente Google Earth)

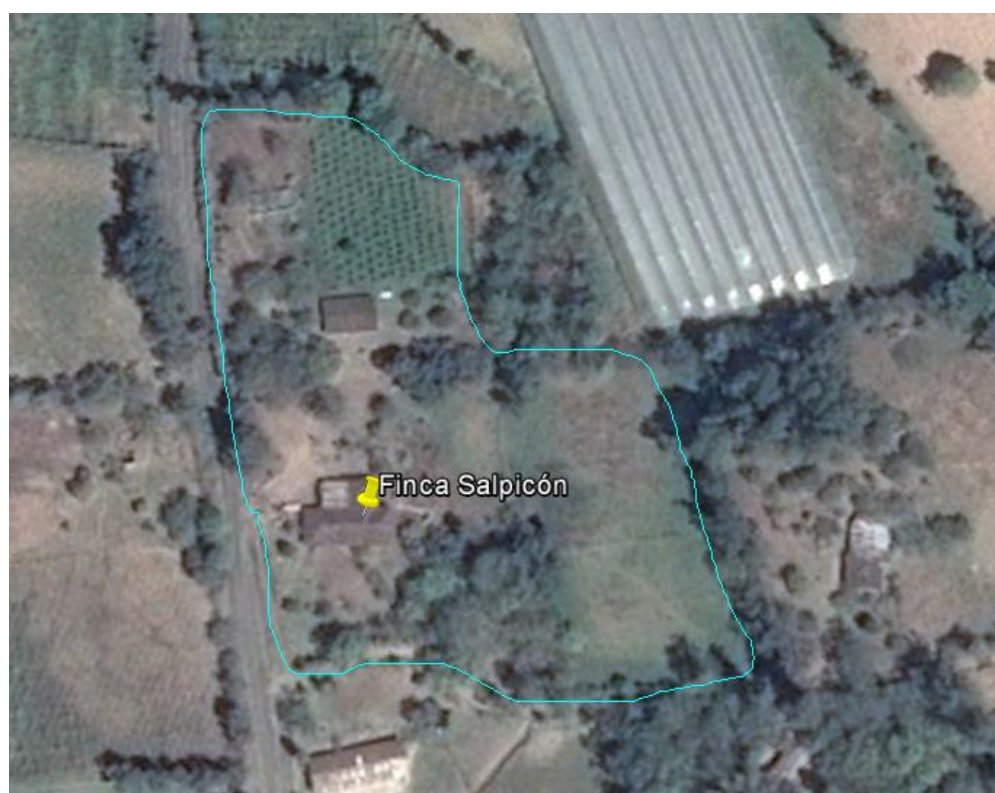


Figura 2. Foto satelital Finca Salpicón (Fuente Google Earth)

Ahora bien, los datos meteorológicos obtenidos por el IDEAM mediante solicitud hecha para la consecución de los datos de la estación pluviométrica de Fómeque (Datos de precipitación) y de la estación meteorológica de Ubaque (Datos de temperatura y humedad) las cuales son las estaciones más cercanas al área del estudio para realizar la estimación de la HH, los datos fueron entonces procesados de tal manera que puedan alimentar el software CROPWAT de la mejor manera (Los datos procesados se encuentran en los anexos a este documento).

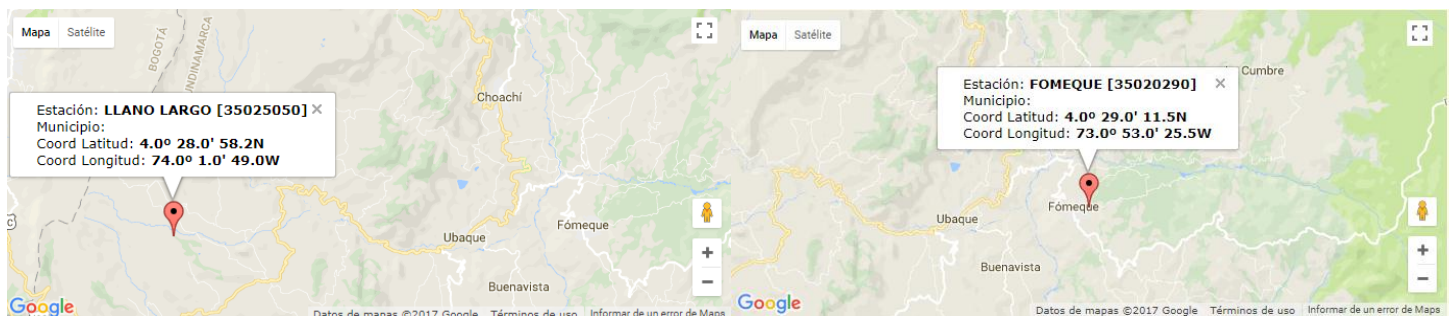


Figura 3 Ubicación estaciones meteorológicas (Fuente IDEAM)

Ahora, a partir de los datos meteorológicos procesados se realiza la modelación en CROPWAT con el fin de determinar la evapotranspiración de referencia del cultivo, calculada internamente por el programa con el método de Penman-Monteith, según (FAO, 2006) la tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua, se conoce como evapotranspiración del cultivo de referencia, y se denomina ETo, este parámetro es necesario para el cálculo de la huella hídrica azul (HHA), Los únicos factores que afectan la ETo son los parámetros climáticos. Por lo tanto, ETo es también un parámetro climático que puede ser calculado a partir de datos meteorológicos (FAO, 2006) entonces el procedimiento se realiza introduciendo los datos correspondientes a temperaturas máximas y mínima, humedad relativa y velocidad del viento (Figura 4), todos los datos son mensuales y obtenidos para el año 2016, La precipitación efectiva calculada mediante el método USDA es la fracción de la precipitación

total que satisface las necesidades hídricas del cultivo y es un dato fundamental para el cálculo tanto de la huella hídrica verde como de la huella hídrica azul.

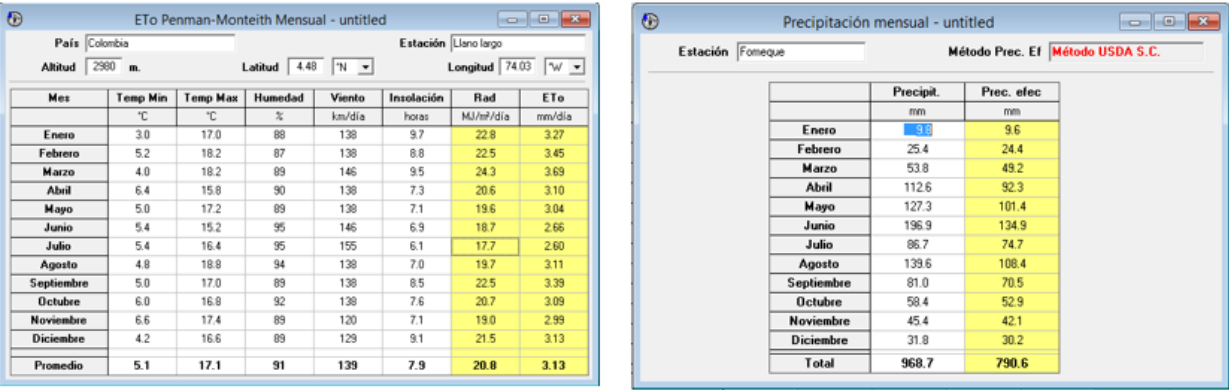


Figura 4. Datos meteorológicos CROPWAT

Ahora se ingresan los datos de cultivo y de suelo, los datos de cultivo requeridos (Tabla 4) fueron obtenidos mediante la información que suministra la FAO en su publicación Evapotranspiración del cultivo-Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos y los datos de suelo requeridos se obtienen mediante la base de datos del programa según el tipo de suelo de la zona, para este caso mediante el método organoléptico se pudo determinar que el suelo de la zona es un suelo franco. Los datos de cultivo entonces para el modelamiento en CROPWAT son los siguientes:

Tabla 5

Datos a ingresar módulo cultivo

DATOS	SUBDATOS	UNIDAD	TIPO DE INFORMACIÓN				
Cultivo	Nombre	Texto	Tomate				
	Siembra	Fecha	Enero				
	Kc		1,2				
	Etapas (Inicial-Final)	Días	Inic	Des	Med	Fin	Total
			30	40	40	25	135
	Prof. Radicular	m	1,5				
	Agotamiento crítico	Fracción	0,4				

	Factor respuesta rendimiento	Fracción	1,05
	Altura del cultivo	m	0,6

Fuente: (FAO, 2006)

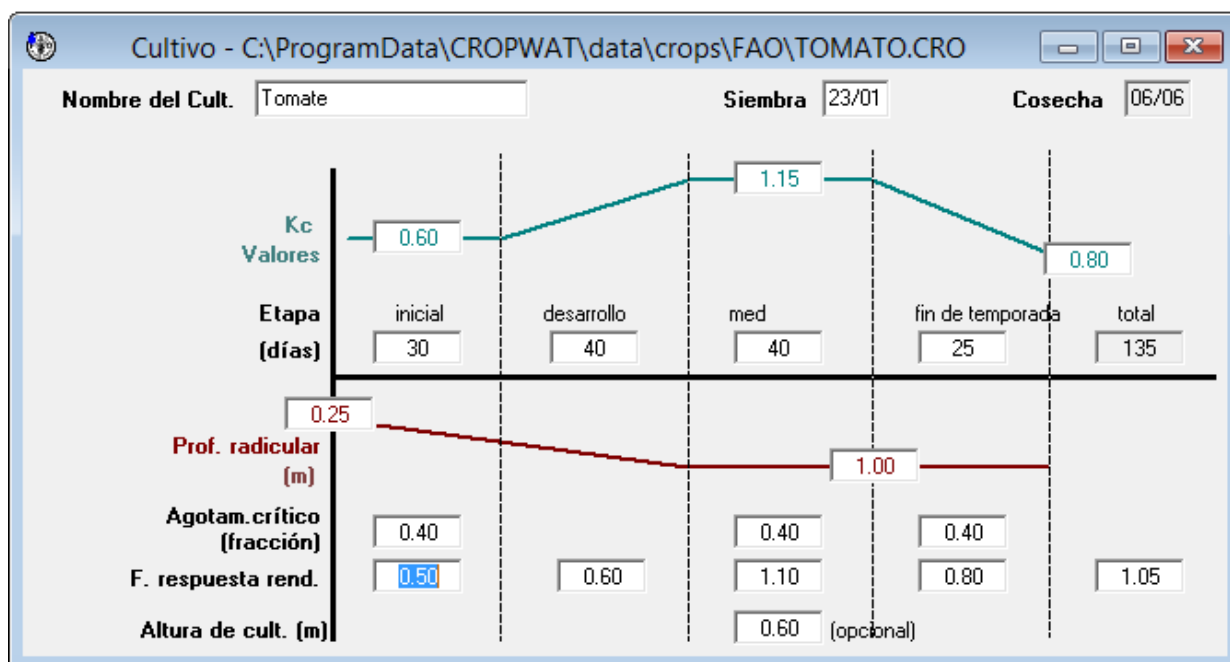


Figura 5. Datos de cultivo CROPWAT

Suelo - C:\ProgramData\CROPWAT\data\soils\RED LOAMY.SOI

Nombre del suelo

Datos generales de suelo

Humedad de suelo disponible total (CC-PMP)	180.0	mm/metro
Tasa máxima de infiltración de la precipitación	30	mm/día
Profundidad radicular máxima	900	centímetros
Agotamiento inicial de hum. de suelo (como % de ADT)	0	%
Humedad de suelo inicialmente disponible	180.0	mm/metro

Figura 6. Datos suelo CROPWAT

A partir de los modelamientos que realiza el programa mediante los datos para la evapotranspiración, precipitación efectiva, cultivo y suelo, se obtienen los requerimientos

hídricos (Requerimientos de riego) para el cultivo que se está trabajando y así poder obtener la información necesaria para calcular la HHA, es decir el volumen de agua captada de fuentes superficiales o subterráneas con el fin de suplir los requerimientos hídricos del cultivo mediante el riego. Es de aclarar que el cultivo no cuenta con un sistema de riego que esté debidamente legalizado ante la autoridad ambiental competente, es decir que los riegos que se realizan son mediante manguera “Cacho” sin tener el debido permiso de concesión de aguas.

Requerimiento de Agua del Cultivo							
Estación ETO Llano largo			Cultivo Tomate				
Est. de lluvia Fomeque			Fecha de siembra 23/01				
Mes	Decada	Etap	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req.Riego mm/dec
Ene	3	Inic	0.60	2.00	18.0	3.1	14.2
Feb	1	Inic	0.60	2.04	20.4	6.2	14.2
Feb	2	Inic	0.60	2.07	20.7	7.7	13.1
Feb	3	Des	0.65	2.28	18.3	10.6	7.7
Mar	1	Des	0.76	2.76	27.6	13.1	14.5
Mar	2	Des	0.90	3.30	33.0	15.5	17.5
Mar	3	Des	1.03	3.61	33.7	20.6	19.1
Abr	1	Med	1.12	3.70	37.0	27.0	10.0
Abr	2	Med	1.13	3.49	34.9	32.4	2.5
Abr	3	Med	1.13	3.47	34.7	32.8	1.8
May	1	Med	1.13	3.44	34.4	32.1	2.4
May	2	Fin	1.08	3.27	32.7	32.7	0.1
May	3	Fin	0.94	2.73	30.0	36.8	0.0
Jun	1	Fin	0.82	2.29	13.7	26.5	0.0
					395.2	297.0	117.0

Figura 7.Resultados Requerimientos de agua para el cultivo

Para el cálculo de la huella hídrica gris se deben tener en cuenta los principales productos químicos utilizados para la fertilización en los cultivos de tomate, La fertilización es una práctica de manejo para aportar los nutrientes esenciales a los cultivos cuando el suelo no los provee en una cantidad y un tiempo adecuados (Camara de Comercio de Bogota, 2015), sin embargo, en forma general, los requerimientos nutricionales del cultivo, en kg/ha, son: Nitrógeno Fósforo Potasio Calcio Magnesio Azufre; N: 150, P: 200, K: 275, Ca:150; Mg: 25, S: 22. El orden de extracción de nutrientes por la planta de tomate en forma decreciente es K, N, Ca, S, Mg y P, dato correspondiente a la aplicación estimada de agroquímicos (AR). Para la fracción de lixiviación se tiene que por la falta de datos específicos a cada cultivo sobre el porcentaje del

químico aplicado que lixivia hasta alcanzar agua dulce se asumirá el valor utilizado por Hoekstra de 10% para todos los fertilizantes (Linares & Melo, 2015).

La concentración máxima aceptable de productos químicos aplicados (fertilizantes) (Kg/m³), según el Decreto 3930 de 2010 son:

Tabla 6 Concentraciones máximas permisibles

PARÁMETRO	VALOR PERMISIBLE (mg/L)	VALOR PERMISIBLE (kg/m ³)
Fosforo Total	1	0,001
Nitrogeno Total	20	0,02
Potasio	100	0,1

Información obtenida de decreto 3930 de 2010 (Elaboración propia)

Respecto a la limitante de la falta de datos de los valores de las concentraciones naturales de los contaminantes, se asume, según Hoekstra: “La concentración natural en un cuerpo de agua receptor es la concentración en el cuerpo de agua que se produciría si no hubiera perturbaciones humanas en la cuenca. Para las sustancias artificiales que, naturalmente, no se producen en el agua, Cnat=0. Cuando las concentraciones naturales no se conocen con precisión, pero se estiman ser bajas, por su simplicidad, se puede suponer que estas son iguales a 0.” (Linares & Melo, 2015).

Finalmente, con la modelación realizada, los datos obtenidos y las ecuaciones 5, 6 y 7 podemos calcular los componentes de la huella hídrica para el cultivo de tomate, teniendo en cuenta que el rendimiento del cultivo según la evaluación agropecuaria del ministerio de agricultura para la zona de Fómeque corresponde a 90 Ton/Ha, obteniendo los siguientes resultados:

HUELLA HÍDRICA VERDE:

$$(5) HH_{verde} = \frac{P_{ef}}{Y} \left[\frac{m^3}{Ton} \right]$$

$$P_{ef} = 790.6mm * 0.001 \frac{m}{mm} = 0.7906m$$

$$Rendimiento = 90 \frac{Ton}{Ha} * 0.0001 \frac{Ha}{m^2} = 0.009 \frac{Ton}{m^2}$$

$$HH_{verde} = \frac{0.7906m}{0.009 \frac{Ton}{m^2}} = 87.84 \frac{m^3}{Ton}$$

HUELLA HIDRICA AZUL:

$$(6) HH_{azul} = \frac{CW_{Uriego}}{Y} \left[\frac{m}{\frac{Ton}{m^2}} \right]$$

$$CW_{Uriego} = 117mm * 0.001 \frac{m}{mm} = 0.117m$$

$$HH_{azul} = \frac{0.117m}{0.009 \frac{Ton}{m^2}} = 13 \frac{m^3}{Ton}$$

HUELLA HIDRICA GRIS:

$$(7) HH_{gris} = \frac{\alpha * AR}{\frac{C_{max} - C_{nat}}{Y}} \left[\frac{m^3}{Ton} \right]$$

$$HHG_N = \frac{0.1 * 150 \frac{Kg}{Ha}}{\frac{0.02 \frac{Kg}{m^3} - 0}{90 \frac{Ton}{Ha}}} = 8.3 \frac{m^3}{Ton} \quad HHG_P = \frac{0.1 * 200 \frac{Kg}{Ha}}{\frac{0.001 \frac{Kg}{m^3} - 0}{90 \frac{Ton}{Ha}}} = 222.2 \frac{m^3}{Ton} \quad HHG_K = \frac{0.1 * 275 \frac{Kg}{Ha}}{\frac{0.1 \frac{Kg}{m^3} - 0}{90 \frac{Ton}{Ha}}} = 3.06 \frac{m^3}{Ton}$$

$$HHG = HHG_N + HHG_P + HHG_K = 8.3 \frac{m^3}{Ton} + 222.2 \frac{m^3}{Ton} + 3.06 \frac{m^3}{Ton} = 233.56 \frac{m^3}{Ton}$$

HUELLA HÍDRICA TOTAL:

$$HH_{total} = HHV + HHA + HHG = 87.84 \frac{m^3}{Ton} + 13 \frac{m^3}{Ton} + 233.56 \frac{m^3}{Ton} = 334.4 \frac{m^3}{Ton}$$

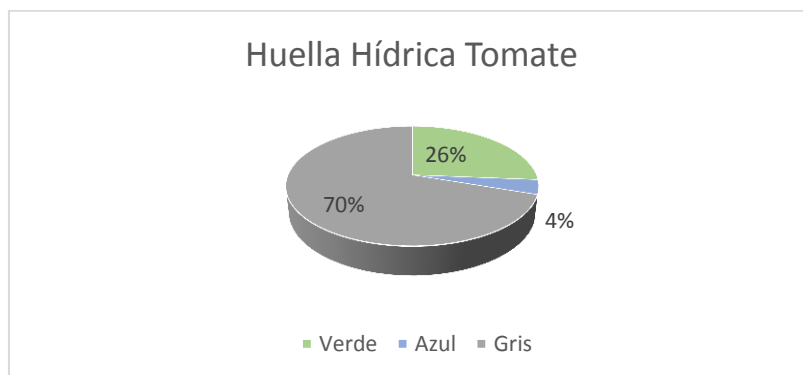


Figura 8. Huella Hídrica Total. Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

En resumen, cada actividad realizada dentro de los procesos productivos agrícolas consume una gran cantidad de agua por lo que se hace indispensable realizar una correcta gestión del recurso con la idea de aumentar producción y productividad en los cultivos agrícolas colombianos, si bien el concepto de huella hídrica no se ha estudiado e investigado a fondo en el país, el estudio aquí propuesto, y las tesis universitarias de maestría pueden dar una idea general sobre el cálculo de los componentes verde, azul y gris de la Huella Hídrica en diferentes sectores productivos del país.

Al existir tan poca información sobre la Huella Hídrica en el sector agrícola del país, no se puede comparar de forma exacta el resultado del cálculo obtenido para el cultivo de tomate con estudios realizados para la misma variedad, sin embargo cabe identificar que el componente de HH gris para el cultivo analizado tiene un porcentaje de bastante peso en el total de la HH ya que las prácticas de fertilización llevan a aplicar insumos agrícolas para combatir plagas, enfermedades y aumentar producción, esto en contraste con los porcentajes que se han identificado en el país sobre la HH, en la cual la HH verde tiene un 88% de peso en la

distribución de la HH en Colombia para la producción agrícola, esto ya que en gran parte del país se suplen los requerimientos hídricos de los cultivos mediante el aprovechamiento de agua lluvia (Precipitación).

Al identificar los componentes de la HH para el cultivo de tomate propuesto, se pueden analizar varias propuestas para manejar adecuadamente el recurso y evitar complicaciones de contaminación, al ser el componente gris el de mayor peso y sabiendo que la HH gris corresponde al volumen de agua dulce necesario para asimilar la carga contaminante vertida a un cuerpo receptor y según las normas existentes de calidad, devolverla al cuerpo de origen con la misma calidad que se extrajo, dichas acciones llevan entonces a la implementación de buenas prácticas agrícolas, sistemas de riego tecnificados (Fertirrigación) y la búsqueda de insumos agrícolas amigables con el medio ambiente y los recursos naturales.

BIBLIOGRAFÍA

A.K. Chapagain, & A.Y. Hoekstra. *Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products*

Aldaya, M. M., Chapagain, A. K., & Hoekstra, A. Y. (2012). *Water footprint assessment manual* Routledge. Retrieved from <http://lib.myilibrary.com?ID=390305>

Allan, T. (1998). *Watersheds and problemsheds: Explaining the absence of armed conflict over water in the middle east*. ().The Begin-Sadat Center for Strategic Studies. Retrieved from <https://search.proquest.com/docview/1820724263>

Arévalo Uribe, D. (2012). *Una mirada a la agricultura de Colombia desde su huella hídrica* World Wildlife Fund.

Arevalo, D., Lozano, J., & Sabogal, J. (2011). *Estudio nacional de huella hídrica colombia. sector agrícola* Universidad politecnica de Cataluña.

Camara de Comercio de Bogota. (2015). *Manual tomate, programa de apoyo agrícola y agroindustrial vicepresidencia de fortalecimiento empresarial* Leiden, Koninklijke Brill NV. Retrieved from http://referenceworks.brillonline.com/entries/enzyklopaedie-der-neuzeit/*-a4352300

Campuzano, C., Gonzalez, J. E., Guzman, A. C., Rodriguez, C. M., Arevalo, D., Parada, G., & Kuiper, D. (2014). *Evaluación multisectorial de la huella hídrica en colombia*. Medellin, Colombia: Sello Editorial CTA.

Chapagain, A. K., & Orr, S. (2009). An improved water footprint methodology linking global consumption to local water resources: A case of spanish tomatoes. *Journal of Environmental Management*, 90(2), 1219-1228. doi:10.1016/j.jenvman.2008.06.006

FAO. (1994). *CROPWAT A computer program for irrigation planning and management*

FAO. (2006). *Evapotranspiración del cultivo, guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma:

IDEAM. (2015). *Estudio nacional del agua*. Bogotá: IDEAM.

Linares, L., & Melo, L. (2015). *Evaluación de la huella hídrica del cultivo de fresa en una finca del municipio de sibaté, cundinamarca*. Bogotá: Universidad de la Salle.

Tolón, A., Lastra, X., & Fernández, V. (2013). HUELLA HÍDRICA Y SOSTENIBILIDAD DEL USO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS. *M+A : Revista Electrónica de Medioambiente*, 14(1), 56. Retrieved from <https://search.proquest.com/docview/1448245542>

UNIVERSIDAD NACIONAL. (2000). *Esquema de ordenamiento territorial municipios jurisdiccion corpoguavio*