

Capítulo 9

Evaluación de sostenibilidad de la microcuenca de Tona mediante la cuantificación de su huella hídrica

Massiel Hernández Tarazona¹
Carlos Fernando Arenas Jimenez²
Yurley Paola Villabona Durán³

Cítese como: Hernández-Tarazona, M., Arenas-Jimenez, C. F. y Villabona-Durán, Y. P. (2023). Evaluación de sostenibilidad de la microcuenca de Tona mediante la cuantificación de su huella hídrica. En F. C. Gómez-Meneses, L. M. Gómez-Melo, D. Valencia-Enríquez, S. Gómez-Herrera, J. M. López-Moreno y J. M. Villota-Paz (comps.), *Avances y desafíos en las ciencias y la ingeniería: nuevos conocimientos para un futuro sostenible* (pp. 163-178). Editorial UNIMAR. <https://doi.org/10.31948/editorialunimar.208.c358>

Resumen

La sostenibilidad en el uso del agua se ha convertido en uno de los temas de mayor prioridad para mejorar la gestión hídrica por parte de las entidades territoriales. Es por esto por lo que, Arjen Hoekstra y sus colaboradores definieron la metodología de la huella hídrica para calcular la cantidad de agua consumida en un área determinada, así como la sostenibilidad de dicho consumo. A su vez, la microcuenca del río Tona es una de las principales fuentes hídricas que abastece la ciudad de Bucaramanga y su área metropolitana, así como las zonas de producción agropecuaria. Por lo anterior, la presente investigación evaluó la sostenibilidad de la microcuenca de Tona a partir de la medición de los indicadores de huella hídrica sobre el sector agropecuario.

Según este propósito, se estableció dos años de estudio: 2017 y 2020, clasificados como seco y húmedo, respectivamente, para analizar la variación de consumo hídrico en distintas condiciones climáticas. A partir de estos años, primero se determinó el indicador de balance hídrico mensual, constituyendo que la zona presenta estabilidad y exceso durante la mayor parte del año. Posteriormente, se construyó un modelo de lluvia escorrentía para estimar la oferta hídrica de los años de estudio. Después, mediante la metodología de Hoekstra se calculó la huella hídrica azul, verde y gris y el consumo por tonelada y a nivel mensual de las actividades agrícolas, encontrando que los

¹ Universidad Santo Tomás, Bucaramanga, División de Ingenierías y Arquitectura, Ingeniería Civil. Correo electrónico: massiel.hernandez@ustabuca.edu.co

² Magíster en Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomás, Bucaramanga, División de Ingenierías y Arquitectura, Ingeniería Civil. Correo electrónico: carlos.arenas@ustabuca.edu.co

³ Universidad Santo Tomás, Bucaramanga, División de Ingenierías y Arquitectura, Ingeniería Ambiental.



productos con mayor consumo fueron aguacate, cebolla junca, papa y café a nivel agrícola. Con los datos de huella hídrica se comparó el consumo con la oferta para encontrar los puntos de acceso a nivel temporal, definiendo que las épocas de verano o de menor precipitación son las que presentaron un menor grado de sostenibilidad. Finalmente, con el análisis de los resultados de oferta y consumo hídrico, así como la identificación de epicentros ambientales, fue posible determinar la sostenibilidad del área estudiada.

Palabras clave: huella hídrica; sostenibilidad; producción agropecuaria.

Sustainability assessment of the Tona micro-watershed through the quantification of its water footprint

Abstract

Sustainability in water use has become one of the highest priority issues to improve water management by territorial entities. Arjen Hoekstra defined the water footprint methodology to calculate the amount of water consumed in a given area, as well as the sustainability of consumption. The micro-watershed of the Tona River is one of the main water sources that supply the city of Bucaramanga and its metropolitan area, as well as the agricultural production areas, so this research evaluated its sustainability based on the measurement of water footprint indicators on the agricultural sector.

According to this purpose, a study period of two years was established: 2017 and 2020, classified as dry and wet, respectively, to analyze the variation of water consumption in different climatic conditions. From these years, the monthly water balance indicator was determined, establishing that the area presents stability and excess during most of the year. Subsequently, a rainfall-runoff model was constructed to estimate the water supply for the years under study. Then, using the Hoekstra methodology, the blue, green, and gray water footprint and the consumption per ton and at the monthly level of agricultural activities were calculated, finding that the products with the highest consumption were: avocado, onion, potato, and coffee at the agricultural level. With the water footprint data, consumption was compared with supply, to find the access points at the temporal level, defining that the summer seasons or those with less precipitation are the ones that showed a lower degree of sustainability. Finally, with the analysis of the results of water supply and consumption, as well as the identification of environmental epicenters, it was possible to determine the sustainability of the area studied.

Keywords: Water footprint; sustainability; agricultural production.



Avaliação da sustentabilidade da microbacia hidrográfica de Tona por meio da quantificação de sua pegada hídrica

Resumo

A sustentabilidade no uso da água tornou-se uma das questões de maior prioridade para melhorar a gestão da água por entidades territoriais. Arjen Hoekstra definiu a metodologia da pegada hídrica para calcular a quantidade de água consumida em uma determinada área, bem como a sustentabilidade do consumo. A microbacia hidrográfica do Rio Tona é uma das principais fontes de água que abastece a cidade de Bucaramanga e sua área metropolitana, bem como as áreas de produção agrícola, de modo que esta pesquisa avaliou sua sustentabilidade com base na medição dos indicadores de pegada hídrica no setor agrícola.

De acordo com esse objetivo, foi estabelecido um período de estudo de dois anos: 2017 e 2020, classificados como seco e úmido, respectivamente, para analisar a variação do consumo de água em diferentes condições climáticas. A partir desses anos, foi determinado o indicador de balanço hídrico mensal, estabelecendo que a área apresenta estabilidade e excesso durante a maior parte do ano. Posteriormente, foi construído um modelo de precipitação-escoamento para estimar o suprimento de água para os anos em estudo. Em seguida, usando a metodologia de Hoekstra, foram calculadas as pegadas hídricas azul, verde e cinza e o consumo por tonelada e em nível mensal de atividades agrícolas, constatando-se que os produtos com maior consumo foram: abacate, cebola, batata e café em nível agrícola. Com os dados da pegada hídrica, o consumo foi comparado com o fornecimento, para encontrar os pontos de acesso em nível temporal, definindo que as estações de verão ou aquelas com menos precipitação são as que apresentaram um grau mais baixo de sustentabilidade. Finalmente, com a análise dos resultados de abastecimento e consumo de água, bem como a identificação de epicentros ambientais, foi possível determinar a sustentabilidade da área estudada.

Palavras-chave: pegada hídrica; sustentabilidade; produção agrícola.

Introducción

La evaluación de la sostenibilidad en cuencas y microcuencas permite analizar la gestión de los cuerpos hídricos en áreas específicas, haciendo posible determinar si el uso del agua es sostenible. Es importante, ya que estos son sistemas hídricos complejos en los que hay cambios tanto bióticos como abióticos y, representan el sustento de agua necesario para el desarrollo de la vida humana.

En Colombia, el departamento de Santander presenta un déficit de oferta hídrica ya que, de los 87 municipios, el 57,5 % evidencia alto riesgo de desabastecimiento hídrico en épocas de sequía, frente a posibles déficits de precipitación; y, considerando que más del 50 % de la población santandereana



vive en el área metropolitana de Bucaramanga, se hace imprescindible asegurar el abastecimiento de la población en esta zona de gran concentración. Por otra parte, según datos del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga (AMB), la cuenca del río Tona brinda el mayor aporte de caudal, siendo este de 52,4 %. Sin embargo, debido a que la demanda supera el 40 % del agua disponible, se ocasiona que esta microcuenca sea más vulnerable en comparación a las otras cuencas. A partir de esta problemática surge la siguiente pregunta: ¿Qué tan sostenible es el consumo hídrico en la microcuenca de Tona?

Con el objeto de resolver dicho interrogante, el proyecto propone evaluar la sostenibilidad de la microcuenca de Tona, lo que implica el cálculo de la huella hídrica (HH) de las actividades agrícolas asociadas a la cuenca, la realización del modelo hidrológico para definir el comportamiento de la cuenca y, la elaboración de mapas en la zona delimitada, para mostrar gráficamente las variaciones climáticas y zonas de riesgo o sobreexplotación dentro de la cuenca.

Objetivos

Objetivo general: Evaluar la sostenibilidad de la zona baja de la microcuenca del río Tona mediante la cuantificación de su huella hídrica, determinando si se presenta déficit hídrico.

Objetivos específicos

- Estimar la oferta hídrica de la cuenca mediante un modelo de lluvia-escurrentía, definiendo de esta forma el volumen de agua disponible.
- Determinar la huella hídrica de las actividades agropecuarias con mayor afectación en la subcuenca del río Tona mediante un modelo de cuantificación, estableciendo así el volumen de agua consumida.
- Identificar los epicentros ambientales mediante un análisis comparativo entre oferta y demanda en la zona de estudio, proponiendo lineamientos de gestión sobre el recurso hídrico.

Desarrollo

Diseño de investigación

El proyecto de investigación *Evaluación de la sostenibilidad de la microcuenca de Tona mediante la cuantificación de su huella hídrica* tiene como propósito, evaluar la sostenibilidad de la cuenca mediante la cuantificación de la HH de los productos agrícolas más cultivados en la zona; por esto, su diseño es no experimental, ya que no busca brindar conocimiento extra sobre un área poco estudiada, sino evaluar un fenómeno real a partir del procesamiento de datos recolectados, sin manipularlos deliberadamente. Además, no se limita solo a la observación, sino que incluye el análisis y evaluación del fenómeno.



Por otra parte, dado que el tiempo de estudio fueron dos años puntuales, analizados de forma independiente, cuyos datos fueron obtenidos una única vez, el proyecto tiene un diseño transversal, con una estimación de obtención de resultados en un plazo de cuatro meses. Finalmente, según el objetivo propuesto, este proyecto es de tipo evaluativo, porque pretende evaluar el impacto que tienen las actividades agrícolas sobre la disponibilidad de agua en el río Tona, midiendo la sostenibilidad del gasto hídrico que generan y así, proporcionar información clara sobre el consumo de agua en la zona y el nivel de afectación que tiene tanto para la población del área metropolitana de Bucaramanga, como sobre las áreas productivas de la cuenca.

Lugar

El proyecto de investigación consideró la totalidad de la microcuenca de Tona, pues la distribución espacial de las áreas de cultivo no se encuentra en un mismo lugar sino de manera aleatoria, a lo largo de la delimitación de la cuenca. La ubicación de los puntos de medición de caudales sobre el río se distribuye entre las zonas alta y baja de la cuenca. Además, se tuvo en cuenta el caudal de captación final que alimenta la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) de La Flora.

Enfoque

La investigación tiene un enfoque cuantitativo ya que el propósito, necesidad y obtención de información así lo requieren; la recolección fue mediante la aplicación de encuestas y solicitudes de datos numéricos. A su vez, para lograr el objetivo y responder la pregunta de investigación, se debió hacer un análisis mediante ecuaciones establecidas y métodos estadístico de los datos que, a su vez, son expuestos en los resultados a través de gráficas estadísticas.

Población

La población de estudio fue seleccionada según las actividades económicas más desarrolladas en la zona y, dado que solo se halló producción agrícola, la población a estudiar se definió como los cultivos con mayor rendimiento. La obtención de estos cultivos se hizo mediante una consulta a la dependencia de agricultura de la Alcaldía de Tona; tras establecer los cultivos, se hizo una clasificación en dos grupos: permanentes y transitorios.



Figura 1

Población de estudio

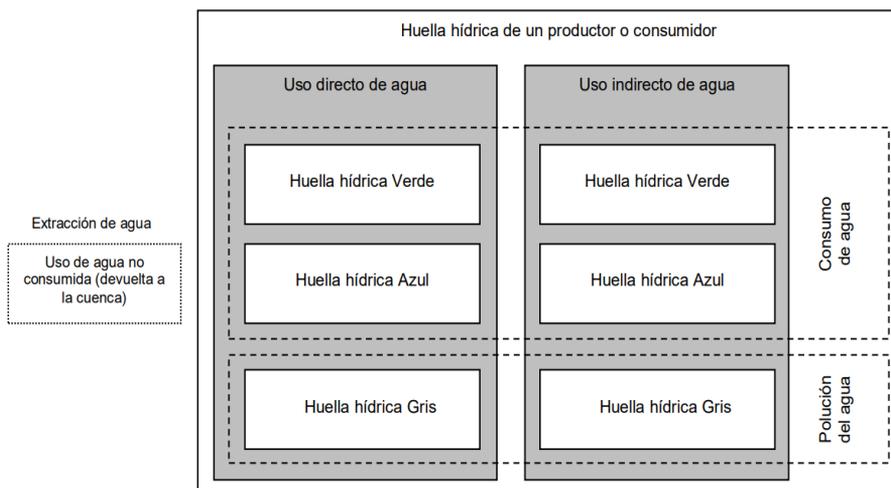
Cultivos	
Permanentes	Transitorios
Café	Papa
Aguacate	Cebolla
Mora	Tomate
Plátano	Maíz
	Yuca
	Habichuela

Técnicas de análisis

Huella hídrica: es una medida volumétrica del consumo y la contaminación del agua; no es una medida de la gravedad del impacto medioambiental local del consumo y la contaminación del agua. En términos generales, el objetivo de la evaluación de la HH es analizar cómo las actividades humanas o productos específicos están relacionados con los problemas de escasez y contaminación del agua y, ver cómo las actividades y los productos pueden ser más sostenibles desde el punto de vista del agua.

Figura 2

Componentes de huella hídrica en productos



HH verde: es un indicador del uso humano de la llamada 'agua verde'; esta se refiere a las precipitaciones en tierra que no se escurren ni recargan las aguas subterráneas, sino que se almacenan en el suelo o permanecen



temporalmente sobre el suelo o la vegetación. Finalmente, esta parte de la precipitación se evapora o transpira a través de las plantas.

$$\mathbf{HHverde = Agua\ evapotranspirada + agua\ incorporada\ (1)}$$

HH azul: es un indicador del uso consuntivo de las denominadas aguas azules; es decir, agua dulce superficial o subterránea. El término 'uso consuntivo de agua' se refiere a uno de los cuatro casos siguientes: 1) el agua se evapora; 2) se incorpora al producto; 3) no vuelve a la cuenca y 4) el agua no retorna en el mismo período; por ejemplo, se extrae en un período de escasez y se devuelve en un período húmedo.

$$\mathbf{HHAzul = Agua\ evaporada + agua\ incorporada + agua\ que\ no\ retorna\ (2)}$$

HH gris: se define como el volumen de agua dulce necesario para asimilar la carga de contaminantes en función de las concentraciones naturales de fondo y de las normas de calidad del agua existentes.

$$\mathbf{HHgris = \frac{Qvertido * Cvertida - Qcaptado * Ccaptada}{Cm\acute{a}x - Cnat}\ (3)}$$

HH total: la HH total del proceso de cultivo de plantas o árboles (WF proc) es, básicamente, la suma de los componentes verde, azul y gris:

$$\mathbf{HHTotal = HHAzul + HHverde + HHgris\ (4)}$$

Modelo hidrológico

Es necesario aclarar que, para llevar a cabo este procedimiento fue necesario recolectar información de diversas fuentes, incluyendo bases de datos abiertas y, hacer solicitudes a entidades privadas, así como, hacer una revisión teórica.

Para la realización del modelo se debía contar con información de la variación climática y la precipitación de los años estudiados, lo cual se obtuvo a partir de las bases de datos del IDEAM y NASA, destacando que, si bien en la cuenca hay al menos 15 estaciones climáticas y pluviométricas, se escogió solamente tres y cuatro respectivamente, ya que eran las únicas que contaban con datos completos, por lo que se evitó efectuar algún tipo de método para rellenar datos. Además, la información respectiva a caudales de la cuenca fue solicitada al AMB mediante un acuerdo de tratamiento adecuado de datos emitida bajo la autorización del director del proyecto de investigación. Finalmente, los datos de caracterización morfométrica de la cuenca fueron extraídos de los planes de ordenamiento y manejo de cuencas (POMCA).

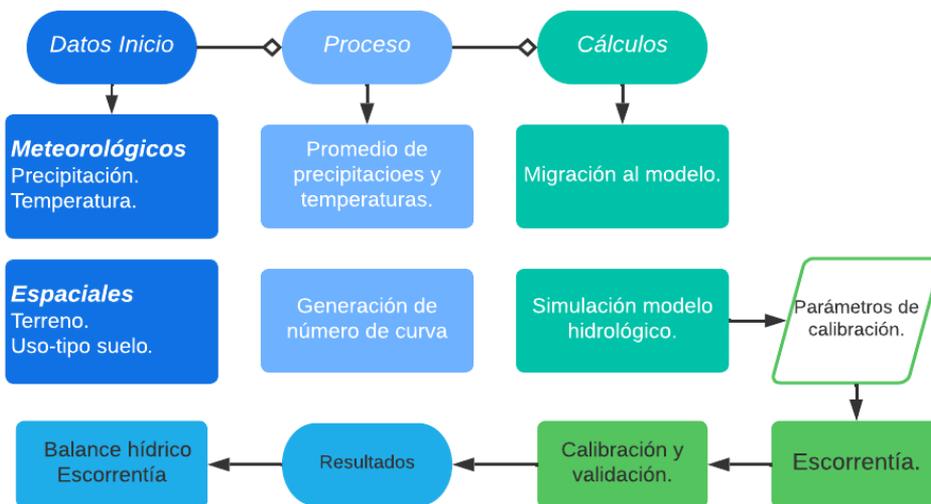


En la delimitación de las áreas se estableció una diferencia entre usos del suelo, denotando los de conservación como las zonas boscosas y los productivos como los de cultivos, pastos y residenciales.

Para la modelación se empleó el software libre de HEC-HMS 4.10 y se requirió la utilización de varios mapas con información de curvas de elevación, dirección y acumulación de flujo, tipos y coberturas del suelo. Según estos datos de entrada y el cálculo de número de curva de la cuenca, se realizó la respectiva calibración y validación del modelo hidrológico. Este procedimiento se muestra gráficamente en la Figura 3.

Figura 3

Proceso de modelación hidrológica



Desarrollo metodológico

Tabla 1

Desarrollo metodológico

Objetivos	Actividades	Descripción
Estimar la oferta hídrica de la cuenca mediante un modelo lluvia-escurrentía definiendo de esta forma el volumen de agua disponible.	<p>Recolección de datos meteorológicos del IDEAM</p> <p>Generación de mapa mediante un sistema de información geográfico</p> <p>Elaboración de modelo lluvia-escurrentía en HEC-HMS</p> <p>Calibración y validación del modelo</p> <p>Estimación de caudales ecológicos mensuales</p> <p>Determinación de oferta hídrica</p>	<p>Según los datos de las estaciones meteorológicas del IDEAM, se hace la selección de los años de estudio (seco y húmedo) no mayor a cinco años.</p> <p>A partir de una herramienta SIG se genera un mapa con capas, definiendo las áreas productivas de estudio, los usos del suelo en la cuenca y los puntos críticos en las zonas de mayor consumo.</p> <p>Procesamiento de mapas e información climatológica para el modelamiento de caudales medios mensuales del río Tona a partir de dos años elegidos (seco-húmedo) de la información previamente analizada.</p> <p>Se realiza esta actividad a partir de datos históricos de caudales del río Tona</p> <p>Con la delimitación de la cuenca, datos climáticos y de caudales, se calcula el caudal ecológico.</p> <p>De acuerdo con el caudal total modelado y el caudal ecológico, se define la cantidad de agua disponible en el río Tona</p>



<p>Trabajo de campo para identificar las actividades agropecuarias en la zona de estudio</p>	<p>Salida de campo a la Alcaldía y veredas de Tona para identificar y/o actualizar las actividades agropecuarias que se desarrolla en el área de estudio.</p>
<p>Recolección de información sobre consumo hídrico</p>	<p>Se recolecta por medio de fuentes como la Alcaldía de Tona, para realizar la descripción de las actividades agropecuarias que se lleva a cabo en la zona de estudio.</p>
<p>Determinar la HH de las actividades agropecuarias con mayor afectación en la subcuenca del río Tona mediante un modelo de cuantificación, estableciendo así el volumen de agua consumida.</p>	<p>Recolección de información sobre caudales de ingreso a plantas de tratamiento de Bucaramanga</p> <p>A partir de datos de caudales de ingreso a la planta de La Flora registrados por la AMB.</p>
<p>Identificar los epicentros ambientales mediante un análisis comparativo entre oferta y demanda en la zona de estudio, proponiendo así lineamientos de gestión sobre el recurso hídrico.</p>	<p>Cálculo de HH (verde, azul y gris) de la zona de estudio.</p> <p>Según la metodología propuesta por Hoekstra et al. (2011)</p>
<p>Analisis de mapas de coberturas según el uso de suelo y delimitación de áreas de actividades agropecuarias</p>	<p>A partir de las capas de uso y tipos de suelos obtenidas se crea un mapa, diferenciando las zonas naturales de las explotadas.</p>
<p>Identificación de puntos críticos espaciales y/o temporales de consumo hídrico</p>	<p>Identificar actividades o períodos de tiempo que superen la oferta hídrica de la cuenca.</p>
<p>Comparación entre oferta y demanda hídrica calculadas</p>	<p>A partir de los resultados calculados sobre el balance hídrico, caudal ecológico calculado y HH de los productos.</p>



Resultados

A continuación, se muestra brevemente los principales resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto. Primero, se realizó la denotación de los puntos críticos; si bien se contaba con la presencia de estos por la superación de demanda de los cultivos, especialmente en la época seca de 2020, no se esperaba que de la totalidad de la cuenca el 58,9 % fuese sobreutilizada.

Figura 4

Zonas sobreexplotadas de la microcuenca

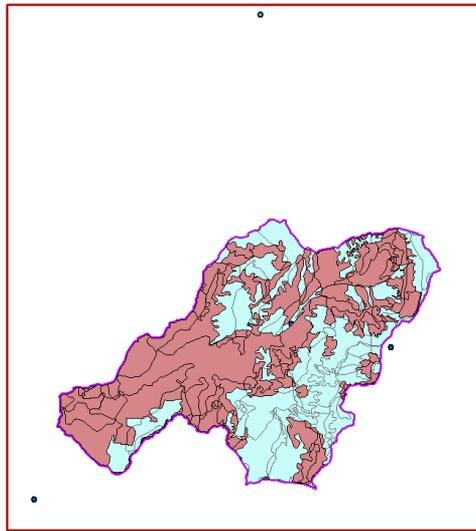


Figura 5

Balance hídrico 2017

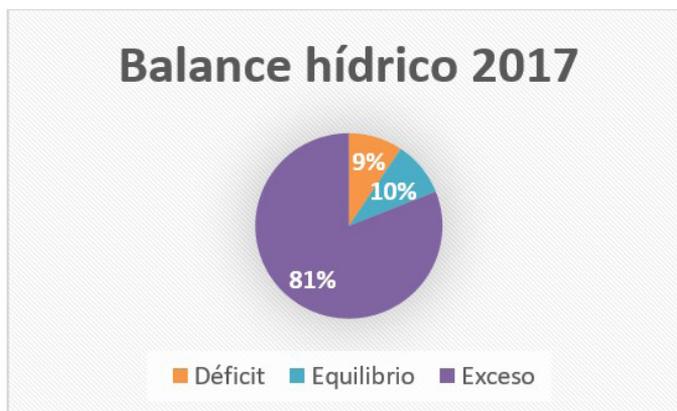


Figura 6

Balance hídrico 2020



Estas gráficas permiten evidenciar la diferencia entre exceso y déficit, ya que hubo una disminución del exceso para 2020 de 6 % y aumento en el déficit de 6 % también, lo cual se debe a las variaciones en las temperaturas y precipitaciones, pues el año húmedo fue 2017 y el seco, 2020, aunque la variación no fue drástica porque la cuenca se ubica en una zona templada, relativamente alta (1.893 m s.n.m.) y cercana al páramo de Santurban; de ahí que el exceso sea mayor al 70 % en ambos años.

Por otra parte, de los cultivos analizados se identificó que los de mayor consumo entre los permanentes fueron el café y la cebolla; en el caso de los transitorios, para ambos años; por esto, se hace un mayor énfasis en estos dos productos.

Tabla 2

Huella hídrica total 2017

2017					
Cultivo	HH Verde (m3)	HH Azul (m3)	HH Gris (m3)	TOTAL	%
Aguacate	706077	43416	62308,5	811801,5	5%
Café	2827930	593205	338528,2	3759663,2	24%
Plátano	1294540	253240	149336,6	1697116,6	11%
Mora	74295	330	2223,4	76848,4	0,5%
Cebolla	3783720	824111	2532430,5	7140261,5	46%
Papa	1142155	169520	2223,4	1313898,4	8%
Yuca	206815	38500	135619,3	380934,3	2%
Tomate	152702	24914	29934,9	207550,9	1%
Habichuela	36492	790	2276,8	39558,8	0,3%
Maíz	178486	34364	38001,9	250851,9	2%
TOTAL	10403212,00	1982390,00	3292883,52	15678485,52	100%



Tabla 3

Huella hídrica total 2020

2020					
Cultivo	HH Verde (m3)	HH Azul (m3)	HH Gris (m3)	TOTAL	%
Aguacate	1187480	91840	85614,7	1364934,7	8%
Café	2717760	1063240	351333,1	4132333,1	24%
Plátano	36540	32670	2223,4	71433,4	0%
Mora	47940	9180	2223,4	59343,4	0,4%
Cebolla	4270350	845250	3260080,4	8375680,4	49%
Papa	1059700	641900	869354,8	2570954,8	15%
Yuca	49170	31215	39121,0	119506,0	1%
Tomate	79144	0	20801,1	99945,1	1%
Habichuela	21310	1850	1319,9	24479,9	0%
Maíz	104468	12660	14667,4	131795,4	1%
TOTAL	9573862,00	2729805,00	4646739,15	16950406,15	100%

Solo estos dos productos representan un consumo de agua de más del 60 %, siendo en cada año, respectivamente, 70 % y 73 %, habiendo un aumento del 3 % para el gasto hídrico de la cebolla en el año 2020.

Figura 7

Huella hídrica de café 2017

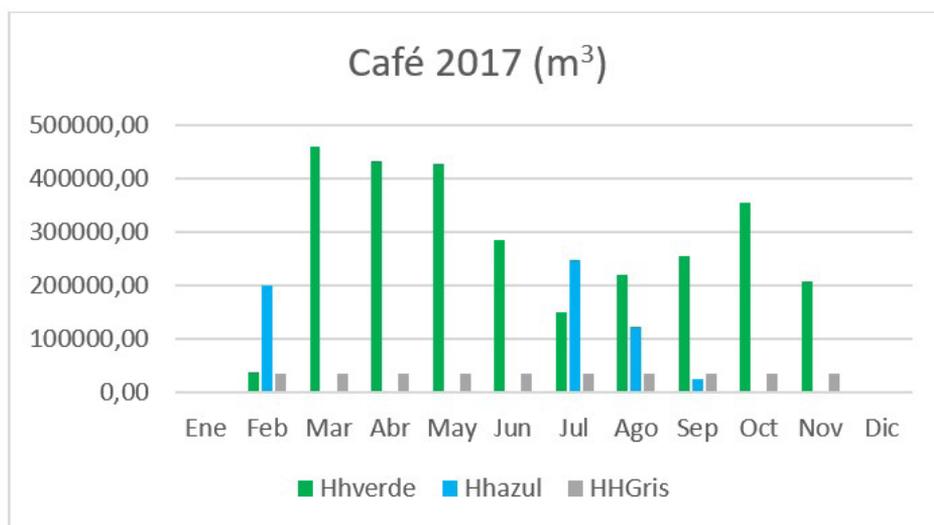
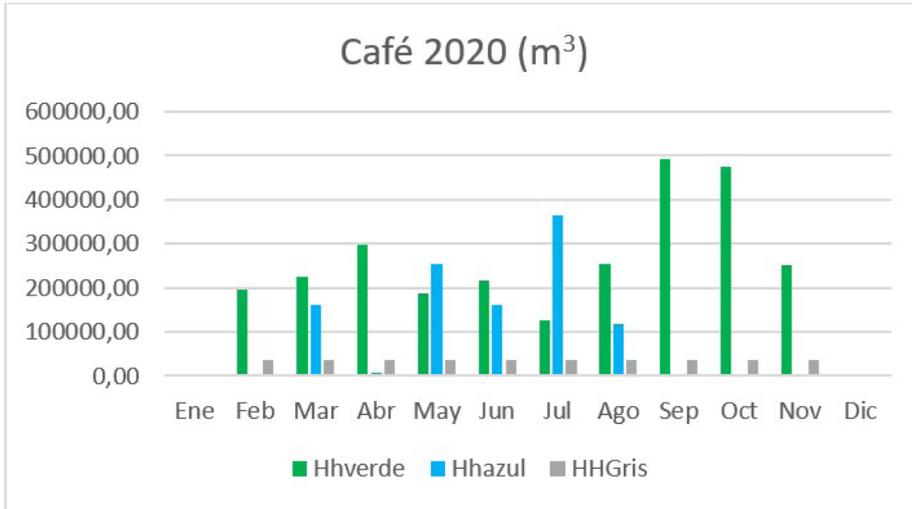


Figura 8

Huella hídrica de café 2020



Comparando el comportamiento de disponibilidad y consumo hídrico para el café, se puede decir que, en 2017 la disponibilidad de agua en el suelo fue superada por el consumo en los meses de febrero y julio, a diferencia de 2020 que fue en mayo y julio. Además, se evidencia que en el segundo año hay mayor consumo de agua azul, siendo 1'057.920 m³, a diferencia de 2017 que fue de 593.205 m³. Sin embargo, la producción solo aumentó un 8 % en 2020, pasando de 419 Ton a 456 Ton, respectivamente.

Figura 9

Huella hídrica cebolla 2017

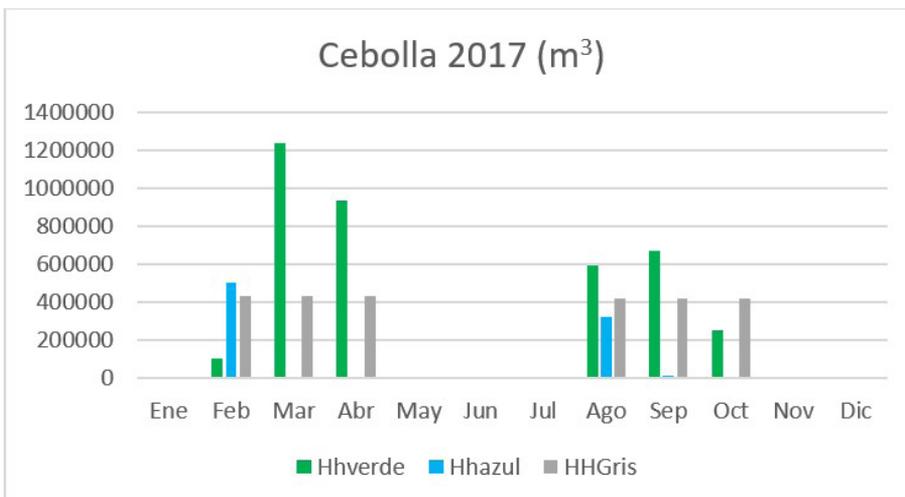
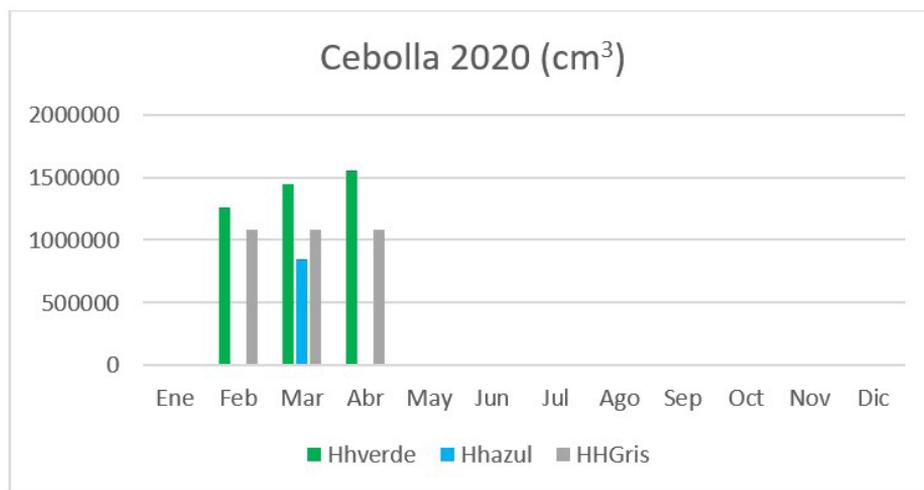


Figura 10

Huella hídrica cebolla 2020



Para la cebolla se observó que, en el año 2020 no hubo producción en el segundo semestre; y, solo el mes de febrero de 2017 presentó mayor consumo de agua frente a la disponible en el suelo. A su vez, aunque solo hubo gasto de agua en mayo, este fue más alto que la requerida en todo 2017, con un valor de 845.250 m³ para 2020, frente a 822.255 m³ en 2017. Por su parte, la producción de 2020 superó la de 2017 en 58 %, siendo de 54.230 Ton y 85.750 Ton, respectivamente.

Conclusiones

Los cultivos con mayor consumo fueron el café (3'759.663) y cebolla (7'140.261) para el año 2017. En 2020 fueron 4'132.333 y 8'375.680, correspondientemente.

Los puntos críticos temporales fueron definidos por los meses de febrero y julio para 2017, y, mayo y julio para 2020. Respecto a los espaciales, se apreció que más de la mitad de la cuenca se encuentra en estado crítico o en sobreexplotación (58,9 %).

La HH total para 2017 fue de 15'678.485 y en 2020 de 16'950.406, habiendo mayor demanda hídrica para los cultivos en el último año, siendo más de 1'000.000 de m³ de agua.

Hubo menor producción agrícola en 2020 pero, presentó mayor gasto hídrico, ya que solo dos de los seis cultivos transitorios (maíz, papa) tuvieron cosecha en ambos semestres, mientras los demás la tuvieron únicamente en el primer semestre.

La cuenca está siendo sobre explotada en más de la mitad de su área y, dado que hubo una disminución en el exceso hídrico, así como un aumento de



déficit en el año seco por la variación climática, es posible afirmar que esta cuenca es altamente vulnerable a presentar disminución en su caudal durante las futuras épocas de verano o sequía que haya en la zona metropolitana de Bucaramanga, lo cual pone en riesgo de desabastecimiento de agua a la población, para dichas temporadas.

Referencias

Acueducto Metropolitano de Bucaramanga (AMB). (2014). Gestión 2014. Informe de Sustentabilidad. http://www.amb.com.co/Indicadores/Archivos/Sostenibilidad_Ambiental_2014.pdf

Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2011). *The water footprint assessment manual: Setting the global standard*. Earthscan, Ltd.

