



Ciencia e Ingeniería Neogranadina

ISSN: 0124-8170

ISSN: 1909-7735

Universidad Militar Nueva Granada

Parra-Orobio, Brayan Alexis; Calderón Vallejo, Luisa
Fernanda; Montenegro-Gómez, Sandra Patricia

Análisis de la huella hídrica azul como indicador de sostenibilidad en pymes del Valle del Cauca.
Caso de estudio en el sector de la producción de envases de plástico y espumas fenólicas*

Ciencia e Ingeniería Neogranadina, vol. 33, núm. 1, 2023, Enero-Junio, pp. 13-28
Universidad Militar Nueva Granada

DOI: <https://doi.org/10.18359/rcin.6195>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91175903002>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org



Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

Análisis de la huella hídrica azul como indicador de sostenibilidad en pymes del Valle del Cauca. Caso de estudio en el sector de la producción de envases de plástico y espumas fenólicas*

Brayan Alexis Parra-Orobio^a ■ Luisa Fernanda Calderón Vallejo^b
■ Sandra Patricia Montenegro-Gómez^c

Resumen: la huella hídrica azul (HH_{azul}) es un indicador del consumo del agua dulce que no solo representa el volumen de agua empleada y contaminada, sino también la ubicación espacial y el momento del año en que esta es utilizada. La determinación de indicadores como la huella hídrica en un sector específico como el productivo e industrial del país puede proporcionar un contexto sobre el manejo que se le está dando al recurso hídrico en dicho sector, lo cual contribuye a la toma de decisiones por parte de los actores involucrados, y permite consolidar una visión de sostenibilidad de los recursos hídricos. Esta investigación evaluó la HH_{azul} en pymes de los sectores de producción de envases plásticos y espumas fenólicas, ubicadas en el suroccidente colombiano, teniendo en cuenta que las pymes seleccionadas cumplieron con las condiciones establecidas y decidieron participar de una manera voluntaria en el estudio, además de que contaban con la información necesaria para la cuantificación del índice. Se identificó que el cálculo de la HH_{azul} en las pymes aporta al conocimiento de la cuantificación de la huella hídrica del país, particularmente en el Valle del Cauca; asimismo, se pudo identificar que el sector de las espumas fenólicas es de mayor consumo de recurso hídrico respecto al de producción de envases plásticos.

Palabras clave: agua virtual; fenol; plástico; microempresas; indicadores de sostenibilidad

Recibido: 21/03/2022. **Aceptado:** 02/12/2023. **Disponible en línea:** 30/06/2023.

Cómo citar: Parra-Orobio BA, Calderón-Vallejo LF, Montenegro-Gómez SP. Análisis de la huella hídrica azul como indicador de sostenibilidad en pymes del Valle del Cauca. Caso de estudio en el sector de la producción de envases de plástico y espumas fenólicas. Ciencia e Ingeniería Neogranadina. 2023;33(1):13-28. <http://dx.doi.org/10.18359/rcin.6195>

* Artículo de investigación.

a PhD en ingeniería con énfasis en ingeniería sanitaria y ambiental, magíster en ingeniería con énfasis en ingeniería sanitaria y ambiental, ingeniero sanitario. Universidad Popular del Cesar - Seccional Aguachica, Aguachica, Colombia.

Correo electrónico: baparra@unicesar.edu.co ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9256-6797>

b Magíster en ingeniería con énfasis en ingeniería sanitaria y ambiental, ingeniera sanitaria. Universidad Nacional Abierta y a Distancia-UDR Cali, Santiago de Cali, Colombia.

Correo electrónico: luisa.calderon@unad.edu.co ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4963-0631>

c PhD en microbiología agrícola, magíster en ciencias agrarias, licenciada en biología y química. Universidad Nacional Abierta y a Distancia-UDR Cali, Santiago de Cali, Colombia.

Correo electrónico: Sandra.montenegro@unad.edu.co ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0035-0089>

Analysis of the Blue Water Footprint as an Indicator of Sustainability in SMEs in Valle del Cauca. A Case Study in the Production Sector of Plastic Containers and Phenolic Foams

Summary: The blue water footprint (BWF) is an indicator of freshwater consumption that represents not only the volume of water used and contaminated but also the spatial location and the time of the year it is used. The determination of indicators such as the water footprint in a specific sector, such as the country's productive and industrial sector, can provide a context on the management of water resources in that sector, which contributes to decision-making by the actors involved, and allows the consolidation of a vision of water resource sustainability. This research evaluated the HHazul in SMEs of the plastic packaging and phenolic foam production sectors located in southwestern Colombia, taking into account that the selected SMEs met the established conditions and decided to participate voluntarily in the study, in addition to the fact that they had the necessary information for the quantification of the index. It was identified that the calculation of the HHazul in the SMEs contributes to the knowledge of the quantification of the water footprint of the country, particularly in Valle del Cauca; also, it was identified that the phenolic foams sector has a higher consumption of water resources than the production of plastic containers.

Keywords: virtual water; phenol; plastic; micro-enterprises; sustainability indicators.

Introducción

El agua es un recurso natural que presenta diversidad en cuanto a su uso y demanda, y por tal razón, para garantizar la existencia los seres vivos, su gestión debe sustentarse desde una perspectiva integral sobre el ciclo hidrológico y la interacción entre los usuarios, siendo perentorio considerar las necesidades de la naturaleza aunadas a los conceptos de derechos de subsistencia, seguridad alimentaria y desarrollo regional integral [1].

La demanda de agua ha ido incrementado a una tasa del 1 % anual en función del aumento de las dinámicas propias del crecimiento poblacional, el desarrollo económico y los cambios en los patrones de consumo, entre otros aspectos, lo cual tendrá una incidencia significativa en las próximas décadas [2]. En ese sentido, la demanda industrial y doméstica de agua será superior a la del sector agrícola, aunque este sector seguirá siendo el que mayor presión ejerza sobre el recurso hídrico en el mundo [3].

El uso del recurso hídrico se ha transformado en un escenario desarticulado de los consumidores, y muestra de ello es que la problemática medioambiental a nivel mundial ha ido creciendo desmedidamente, haciendo evidente la insostenibilidad relacionada con la producción de bienes y servicios ecosistémicos que son el fundamento para el progreso y la equidad intra y transgeneracional. El requerimiento de aunar la gestión integral del recurso hídrico con la sostenibilidad territorial ha tomado un papel protagonista y trascendental en los últimos años, específicamente con el planteamiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible para la implementación de la agenda 2030 [4].

El crecimiento demográfico es uno de los indicadores más importantes respecto a la presión ejercida sobre servicios ecosistémicos de las cuencas hidrográficas; sin embargo, la premisa más destacada se enfoca en la identificación de los impactos reales sobre los servicios ambientales pertenecientes a territorios geográficamente delimitados, determinando así la huella causada por los patrones de consumo de sus habitantes y por las características de producción de su sector productivo [5].

La huella hídrica (HH) es un indicador del uso de agua dulce que contempla su uso directo e indirecto por parte de un consumidor o productor. La referencia a ella tiene sus inicios en el año 2002, gracias al profesor Arjen Hoekstra. En el contexto regional, se identificaron estudios como: “Evaluación de la huella de carbono y huella hídrica, ciudad de Santiago de Cali”, mientras que desde una perspectiva nacional se encuentran investigaciones como: “Evaluación multisectorial de la huella hídrica en Colombia. Resultados por subzonas hidrográficas en el marco del Estudio Nacional del Agua 2014”, y el “Estudio nacional del agua 2018”. Las investigaciones previamente mencionadas suministran la información para determinar y analizar la HH, así como también la calidad y la disponibilidad del agua superficial y subterránea en el contexto colombiano [1].

La HH es un indicador constituido por tres parámetros, que de acuerdo con Hoekstra *et al.* [6] se definen como:

- **Huella hídrica azul:** esta hace alusión a la demanda de los recursos hídricos azules (agua dulce), superficial o subterránea, durante toda la cadena de producción de un producto. El requerimiento se asocia con la pérdida de agua en cuerpos de agua superficial o subterránea. La pérdida se produce cuando el agua se evapora, se traslada a otra zona de captación (por ejemplo, el mar) o se incorpora a un producto. En síntesis, la HH_{azul} cuantifica la cantidad de agua, disponible en un lapso, que se consume sin retornar a la misma cuenca hidrográfica. No se cuantifica en la medición la cantidad de agua azul que retorna a la fuente hídrica, tanto posteriormente al uso como por filtración previa al aprovechamiento.
- **Huella hídrica verde:** se relaciona con la demanda del agua pluvial, en la medida en que no se pierde por filtración o río abajo. Es el agua que ingresa al sistema de manera pluvial y se acumula como humedad en el suelo, la cual a su vez es absorbida por plantas y luego liberada en forma vapor (evapotranspiración). La huella hídrica verde es la cantidad de agua pluvial utilizada durante un proceso de producción,

siendo importante de manera particular para los productos agrícolas y forestales; no obstante, en los productos industriales cuyos insumos sean madera o materias primas a base de cultivos, debe también cuantificarse la huella hídrica verde de forma indirecta.

- **Huella hídrica gris:** corresponde a los requerimientos de agua necesarios para asimilar las cargas contaminantes vertidas, considerando los límites establecidos en el marco ambiental normativo vigente.

Por lo anterior, se menciona que la HH se constituye de la sumatoria de la huella azul, la verde y la gris. Es importante tener en cuenta que el análisis de la HH se puede aplicar en diferentes actividades, como procesos, productos, unidades productoras o unidades consumidoras, así como a un espacio y un tiempo de una zona geográfica delimitada. En la figura 1 se presenta el esquema general de los límites establecidos en el balance del recurso hídrico en las pymes.

La estimación de la HH de las actividades productivas es una actividad que ha recibido considerable atención en los últimos años en varios países

del mundo, pues esta proyección se considera tanto un instrumento político como también un medio práctico para equilibrar los recursos hídricos locales, nacionales y mundiales [7, 8]. La literatura científica documenta que la mayor parte de los estudios enfocados al análisis de la HH en sectores productivos se enfoca en el área de la agricultura [9]. Autores como Cai *et al.* [10] señalan que este sector demanda el 70 % del agua disponible en el planeta, lo que genera procesos de estrés hídrico en ciertas zonas, especialmente en países en desarrollo, en los cuales la agricultura es la base del crecimiento económico y demográfico [11]. Aunado a lo anterior, otro sector con un peso importante en la demanda del recurso hídrico en los países en desarrollo es el industrial, en donde la HH resulta insostenible debido a prácticas de producción poco efectivas [12].

Si bien la HH puede ser determinada para empresas, ciudades y personas [13], su aplicación en las pymes aún es escasa y poco reportada en la literatura en el contexto colombiano, considerando que estas empresas representan el 30 % del producto interno bruto (PIB) del país [14]. Valderrama *et al.* [15] señalan que la HH del sector

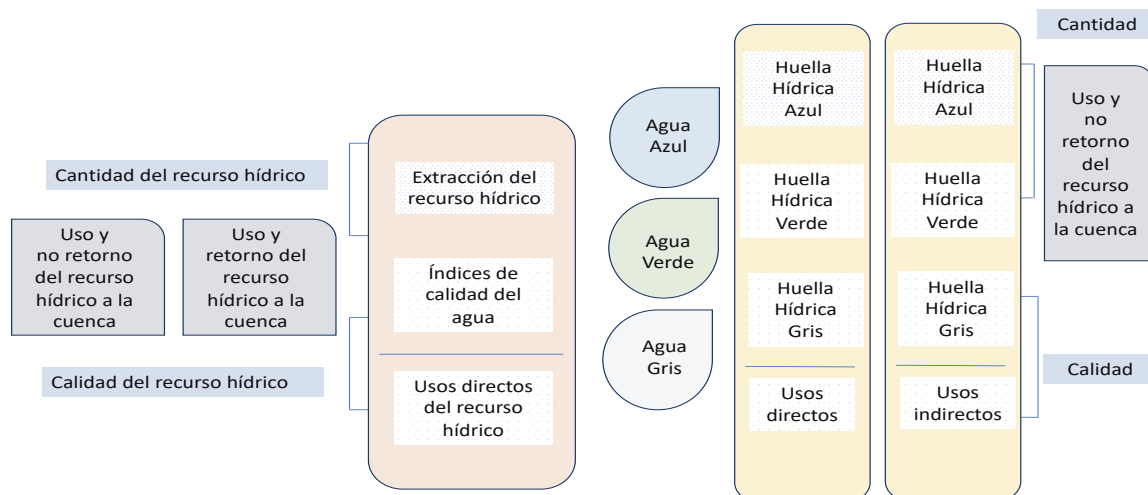


Figura 1. Elementos básicos que constituyen de la huella hídrica para las pymes

Fuente: Morales [1].

industrial durante el periodo 1996-2005 fue de aproximadamente de 399,8 $\text{gm}^3/\text{año}$ (43,9 $\text{gm}^3/\text{año}$ azul, 295 $\text{gm}^3/\text{año}$ verde, y 59,9 $\text{gm}^3/\text{año}$ gris). También indican que la HH promedio global es de 80 litros por dólar de valor agregado, cifra que cambia notablemente entre países, por ejemplo: de 10 a 15 litros en Japón, Australia y Canadá, y de 20 a 25 en India y China. Esto reafirma la necesidad de identificar la cantidad de agua que pueden requerir las pymes en el país, considerando su importancia económica y social, y en ese sentido, la presión que ejercen sobre el recurso hídrico y la perspectiva con la que cuentan para garantizar su sostenibilidad.

En este estudio de caso se planteó evaluar la huella HH en el sector manufacturero del plástico y las espumas fenólicas, particularmente en la producción de envases y soporte tanto para cultivos como para poscosecha, respectivamente. El estudio se hizo desde la perspectiva analítica, y se realizó un análisis del escenario actual a partir de dos pymes, ubicadas en el municipio de Yumbo y en el distrito de Santiago de Cali, en el departamento del Valle del Cauca. Se utilizó el método deductivo a partir de fuentes de información primarias, como el marco normativo y los diferentes métodos para calcular la huella hídrica, y secundarias, como las investigaciones asociadas con el tópico, además de la información suministrada por los propietarios y colaboradores de las pymes seleccionadas para este estudio de caso.

Se destaca que este estudio proporciona información pertinente para un sector productivo clave en la economía nacional, pues la implementación de indicadores como la HH permite conocer si el proceso productivo es ambientalmente sostenible, logrando así gestionar las oportunidades de mejora que correspondan, lo cual, hasta el momento, no se ha reportado en estudios locales, además de que se conocen muy pocos a nivel latinoamericano para el caso de las pymes.

Metodología

Descripción de las pymes del estudio de caso

Pyme del sector del plástico

Esta organización de tipo familiar, constituida por un equipo de profesionales en el campo del diseño e ingeniería, especialistas en el desarrollo de productos plásticos y de caucho, con una trayectoria de más de trece años en el mercado, se encuentra ubicada en la ciudad de Santiago de Cali, en el Valle del Cauca. Es una empresa que cuenta con 24 empleados, distribuidos en las áreas administrativas y de producción. Sus clientes abarcan empresas de los sectores de alimentos y confitería, cosméticos, aseo personal y del hogar, entre otros. Desde el año 2019, la empresa cuenta con 62 productos entre envases y tapas para la venta, representados en una producción mensual de 24 000 kg (800 000 botellas), cuya comercialización se realiza en su totalidad en el Valle del Cauca.

En la actualidad, la empresa realiza su pronóstico de demanda por medio del método promedio móvil simple, es decir que hace un promedio de las ventas de las últimas tres semanas. Asimismo, ha diversificado sus productos, incluyendo el portafolio de diseño de moldes para la inyección o soplado de plástico e impresiones 3D. La figura 2 presenta las instalaciones de la pyme relacionada con la producción de envases plásticos y tapas del mismo material.

La empresa comprende seis procesos o áreas instaladas en aproximadamente 1000 m^2 : i) compras, ii) producción-inyección, iii) producción-soplado, iv) calidad, v) ventas, y vi) despacho. Las áreas de compras, ventas y despacho corresponden al componente administrativo, mientras que producción-inyección, producción-soplado y calidad se relacionan con el componente operativo de la empresa.



Figura 2. Instalaciones de la pyme productora de envases y tapas plásticas

Fuente: elaboración propia

Pyme del sector de las espumas

Es una organización líder en el mercado colombiano en la producción y comercialización de espumas florales, agrícolas y absorbentes industriales a partir de tecnología fenólica. Esta empresa lleva 34 años en operación en el sector de Acopi-Yumbo, y cuenta con 39 empleados, que se distribuyen en las áreas administrativas y operativas. Su portafolio cuenta con 49 productos, lo que representa una producción mensual de 4772 kg de espuma en sus diferentes presentaciones. A continuación, la figura 3 muestra las instalaciones de la pyme asociada a la producción de espumas fenólicas.

Esta pyme se ha caracterizado por elaborar productos con elevados estándares de calidad e innovación, lo que le ha permitido crecer en el mercado nacional e internacional. Muestra de ello es su presencia en gran parte del país y en más de once países de Latinoamérica y el Caribe a través de una extensa cadena de distribuidores.

La empresa está conformada por cuatro procesos o áreas que abarcan aproximadamente 3361 m²: i) mezcla y moldeo, ii) corte, iii) calidad y empaque, y iv) área de investigación y desarrollo experimental. Las áreas de calidad y empaque en conjunto con la de investigación y desarrollo experimental corresponden al proceso administrativo;



Figura 3. Instalaciones de la pyme productora de espumas fenólicas

Fuente: elaboración propia

de otro lado, las áreas de mezcla, moldeo y corte se atribuyen al proceso operativo.

Cálculo de la huella hídrica

Para el cálculo de la HH en las pymes se realizó una adaptación de la metodología empleada por [6], si bien en este caso únicamente se aplicó el concepto de HH_{azu0} a partir de la información obtenida en el año 2020, considerando que se cuenta con los datos requeridos para determinar los principales componentes, los cuales son los causantes del mayor impacto en la HH.

El cálculo de la HH verde se ha aplicado durante años para determinar el efecto de actividades

como la agropecuaria, que requieren la precipitación para su efectiva producción [13, 14, 16]. En consecuencia, debido a la esencia de la actividad principal de las pymes, se excluyó este parámetro del cálculo.

Aunado a lo anterior, la HH gris no se tuvo en cuenta para el cálculo debido a la falta de datos para su medición, ya que las pymes a la fecha del estudio no contaban con los reportes de las caracterizaciones fisicoquímicas y microbiológicas de sus efluentes. Este indicador se relaciona como la cantidad de agua dulce requerida para asimilar el agua residual que se produce durante el proceso de consumo o producción [17].

En el presente estudio se cuantificó la HH_{azul} de las pymes contemplando todos sus procesos. Los datos fueron suministrados por ambas empresas desde las respectivas gerencias operativas, comerciales y administrativas. De esta manera, para el cálculo total de la HH_{azul} se consideraron las variables recomendadas por Chavarría-Solera *et al.* [4] y Loubet *et al.* [18]: i) requerimiento de agua, ii) demanda de combustibles fósiles, iii) consumo de papel y cartón, iv) consumo de plástico, y v) consumo energía eléctrica. Estas variables desempeñan un importante rol en el desarrollo de las actividades misionales de las organizaciones seleccionadas. Por otro lado, no se consideró la alimentación, pues las pymes no son compradoras directas de los productos que se venden en los espacios dedicados para el consumo de alimentos.

En cuanto a la clasificación de las variables, se siguieron las sugerencias de [4], quienes la identifican así: i) consumo directo, cantidad de metros cúbicos consumidos durante el proceso de fabricación del producto, y ii) consumo indirecto, relacionado con el agua virtual en función del consumo de combustibles fósiles, uso de energía eléctrica y consumo de papel, cartón y plástico. Para cada uno de estos consumos indirectos se relacionaron sus respectivos factores de HH , los cuales se observan en la tabla 1.

Tabla 1. Factores de HH_{azul} aplicados en este estudio

Aspecto ambiental	Factor
Energía eléctrica	0,05 m ³ /L de combustible
Papel y cartón	5 m ³ /kg
Combustible fósil	22 m ³ /277,77 kWh
Plástico*	45,5 L/kg

Fuente: Chavarría-Solera [4].

Nota: corresponde al plástico empleado para el embalaje del producto terminado

La HH_{azul} se determinó cada mes mediante las ecuaciones 1 y 2, teniendo en cuenta el agua virtual que demandaban los procesos para la producción.

$$HH_{AZUL/MES} = HH_{CI/MES} + AV_{CIN/MES} \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde: $HH_{AZUL/MES}$ se refiere a la HH_{azul} mensual (m³/mes); $HH_{CIN/MES}$ corresponde al consumo directo de agua (m³/mes) y $AV_{CIN/MES}$ se relaciona

con el agua virtual que se obtiene a partir del consumo indirecto (m³/mes).

$$AV_{CIN/MES} = \sum Cp \times HHP \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde: Cp corresponde al consumo anual de agua en el producto o servicio utilizado en el producto principal de la organización y HHP es el factor de la HH de cada producto o servicio (m³), que para este caso corresponden a papel y cartón, plástico, combustibles y energía eléctrica. Esta medida es conocida también como la cantidad de agua utilizada para la elaboración de una unidad de producto.

Para determinar la HH per cápita al mes, respecto a los aspectos de energía eléctrica, plástico, papel, cartón, combustibles y agua, se dividió el resultado de metros cúbicos asociado a cada uno durante el mes entre la cantidad de producto que generaba cada microempresa.

Resultados y discusión: huella hídrica azul pyme de envases de plástico

La figura 4 presenta la HH_{azul} mensual y per cápita por kg de producto terminado. Se puede observar que el comportamiento de la HH_{azul} mensual y la HH_{azul} per cápita de la pyme productora de envases de plástico y tapas desde el mes de enero hasta abril tiende al alza; sin embargo, en mayo se presenta una disminución hasta del 35,5 % (1711,04 m³), lo cual se relaciona con los impactos de salud pública que se dieron en el año 2020 (pandemia del Covid-19). Si bien se presentó una disminución en la HH_{azul} , la demanda de agua equivale a 3,9 litros por botella, lo que supera lo reportado por [19], quienes durante sus estudios de análisis de HH en la producción de botellas PET determinaron que el consumo oscilaba alrededor de los 3,4 litros por botella. Los estudios de [20] sobre la huella hídrica en Italia determinaron que la producción de un envase para el almacenamiento de líquidos puede tener un consumo de agua que oscila entre los 3,43 hasta 6,92 litros por unidad fabricada.

De otro lado, Veletaga [21] afirma que durante la producción de 454 botellas se utilizan 136,2 litros de agua, lo cual equivale al consumo diario de 0,62 habitantes de la ciudad de Quito y 2,72

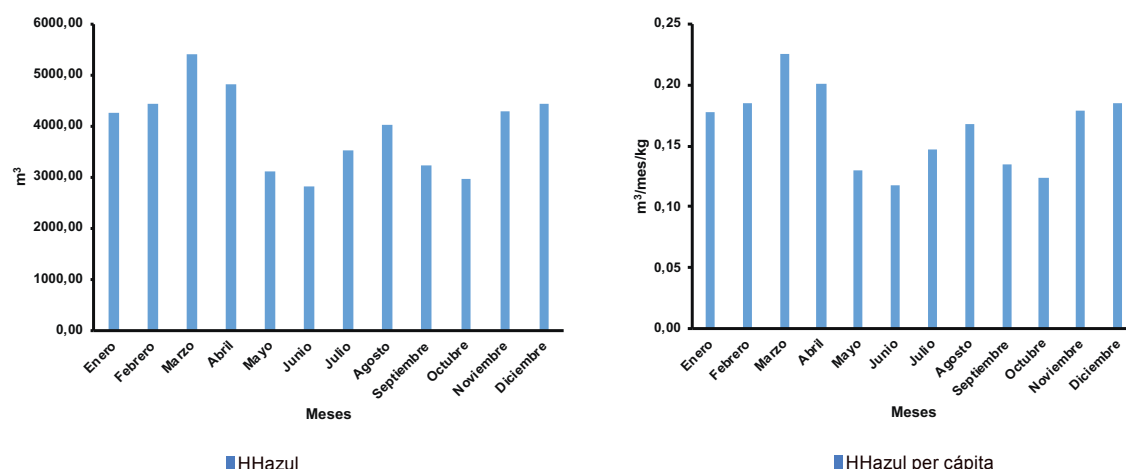


Figura 4. HH_{azul} para la pyme de envases plásticos. a) Huella hídrica azul mensual - b) Huella hídrica azul per cápita
Fuente: elaboración propia

habitantes en el continente africano, si bien esta cifra resulta más crítica en Sierra Leona, país con un estrés hídrico significativo y cuyo consumo equivale aproximadamente a 11,35 habitantes. Considerando lo anterior, para el caso de la pyme de botellas de plástico, su huella hídrica representa el consumo de 7,8 habitantes de una ciudad como Quito, la cual se asemeja a Santiago de Cali.

En la tabla 2 se presentan los resultados generales referentes a los aspectos ambientales evaluados para esta pyme, así como también los diferentes componentes utilizados en la medición del indicador para los doce meses del año 2020, y se incluyen otros aspectos como: la cantidad correspondiente de cada aspecto y el porcentaje de participación de cada uno en la medición global. Por otro lado, en la figura 5 se muestran los porcentajes de participación de los aspectos ambientales utilizados en el cálculo de la HH_{azul} de la pyme de envases de plástico en ese mismo año.

De acuerdo con la tabla 2 y la figura 5, se observa que los aspectos ambientales que presentaron mayor participación en el cálculo del indicador para todos los meses de estudio fueron los consumos de energía eléctrica y el plástico, con participaciones mínimas del 32 % y 33 %, respectivamente, lo que en conjunto representa más del 95 % de la participación en el consumo de agua indirecta para la producción de envases de plástico. Lo

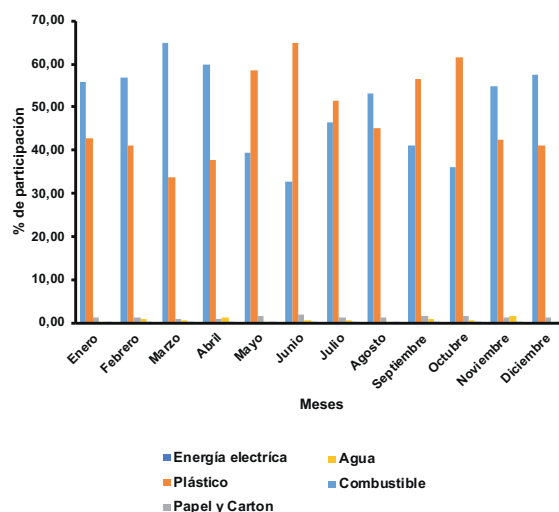


Figura 5. Porcentaje de participación de los aspectos ambientales en la hh para pyme de envases plásticos
Fuente: elaboración propia

anterior contrasta en la participación de este indicador para el consumo de agua (consumo directo), cuyo valor no supera el 2 % de la cuantificación global de la HH durante todo el periodo del estudio. Este patrón es semejante para el consumo de papel, cartón y combustibles (consumo indirecto).

Es importante precisar que los valores de la HH_{azul} de la energía eléctrica dependen de diferentes causales: la primera de ellas es la demanda de energía eléctrica, ya que al aumentar el consumo

Tabla 2. Huella hídrica azul de la pyme de envases plásticos para el año 2020

Aspecto ambiental	Indicador	Ene	Feb	Marz	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic
Energía eléctrica	HH _{azul} (m³)	2378,3	2508,7	3501,1	2888,1	1232,1	924,5	1632,2	2132,0	1328,9	1072,7	2359,5	2549,1
	HH per cápita (m³/mes/kg)	0,10	0,10	0,15	0,12	0,05	0,04	0,07	0,09	0,06	0,04	0,10	0,11
	HH (%)	55,72	56,67	64,85	59,86	39,57	32,88	46,29	53,01	41,16	36,19	54,92	57,51
Plástico	HH _{azul} (m³)	1820,0	1820,0	1820,0	1820,00	1820,0	1820,0	1820,0	1820,0	1820,0	1820,0	1820,0	1820,0
	HH per cápita (m³/mes/kg)	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
	HH (%)	42,64	41,12	33,71	37,72	58,45	64,74	51,62	45,25	56,37	61,39	42,36	41,06
Papel y cartón	HH _{azul} (m³)	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
	HH per cápita (m³/mes/kg)	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
	HH (%)	1,17	1,13	0,93	1,04	1,61	1,78	1,42	1,24	1,55	1,69	1,16	1,13
Agua	HH _{azul} (m³)	16,00	44,00	24,00	63,00	8,00	13,00	20,00	16,00	26,00	18,00	63,00	10,00
	HH per cápita (m³/mes/kg)	0,001	0,002	0,001	0,003	0,0003	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,003	0,0004
	HH (%)	0,37	0,99	0,44	1,31	0,26	0,46	0,57	0,40	0,81	0,61	1,47	0,23
Combustible	HH _{azul} (m³)	3,74	3,74	3,74	3,74	3,74	3,74	3,74	3,74	3,74	3,74	3,74	3,74
	HH per cápita (m³/mes/kg)	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
	HH (%)	0,09	0,08	0,07	0,08	0,12	0,13	0,11	0,09	0,12	0,13	0,09	0,08
Total	HH _{azul} (m³)	4268,0	4426,4	5398,8	4824,9	3113,8	2811,2	3525,9	4021,8	3228,6	2964,5	4296,3	4432,7
	HH per cápita (m³/mes/kg)	0,18	0,18	0,22	0,20	0,13	0,12	0,15	0,17	0,13	0,12	0,18	0,18
	HH (%)	1,17	1,13	0,93	1,04	1,61	1,78	1,42	1,24	1,55	1,69	1,16	1,13

Fuente: elaboración propia

se incrementa la HH_{azul} ; otra causal viene dada por los tipos de centrales generadoras y la contribución de cada una de ellas a la generación de energía eléctrica, ya que cada opción empleada tiene una HH específica y un porcentaje de participación diferente. Del valor encontrado sobre la energía eléctrica, el 71,55 % procede de las hidroeléctricas, el 21,16 % de las centrales a gas, el 6,23 % de las centrales de carbón, y el resto corresponde a biomasa residual (bagazo) y viento [22], por lo que, para este caso, la mayor fuente se encuentra en las hidroeléctricas.

Dormer *et al.*, [23], durante sus estudios del impacto ambiental en el uso del PET para la producción de elementos comerciales, identificaron que el consumo de energía eléctrica destinado en las etapas operativas tiene una incidencia importante en la huella ecológica de los materiales fabricados a partir de este tipo de plástico. En ese mismo orden, Gleick y Cooley [24] afirman que todas las entradas de energía necesarias para producir una botella oscilan en un estimado entre 5,6 y 10,2 MJ/L, lo que equivale a 2000 veces el costo energético de producir agua del grifo. Adicional a ello, estos autores también enfatizan que, para el año 2009, el consumo anual de agua embotellada en recipientes plásticos en los Estados Unidos fue de 33 000 millones de litros, lo que representa un aporte de energía equivalente entre 32 y 54 millones de

barriles de petróleo, o un tercio del consumo total de energía primaria de ese país.

En síntesis, considerando que 90 % de la HH_{azul} para la pyme productora de envases de plástico se relaciona con su consumo indirecto, es necesario enfocarse en medidas que permitan reducir el consumo de plástico y energía eléctrica, principalmente de esta última, donde se identificó la mayor demanda.

Huella hídrica azul pyme de espumas fenólicas

La figura 6 presenta la huella hídrica azul mensual y per cápita por kg de producto terminado. Se observa que el comportamiento de la HH_{azul} mensual y la HH_{azul} per cápita de la pyme de espumas fenólicas desde el mes de enero hasta abril tienden a subir, patrón similar a lo encontrado en la pyme del sector de los plásticos, en la cual este indicador disminuyó por efecto de la pandemia. Sin embargo, ambos indicadores son significativamente superiores a los encontrados para la pyme de productora de envases plásticos, lo que evidencia que, si bien ambas organizaciones usan sustancias poliméricas para la fabricación de sus productos, hay una marcada diferencia en la demanda del recurso hídrico, ya que tanto la HH_{azul} mensual como la HH_{azul} per cápita de la pyme de espumas fenólicas

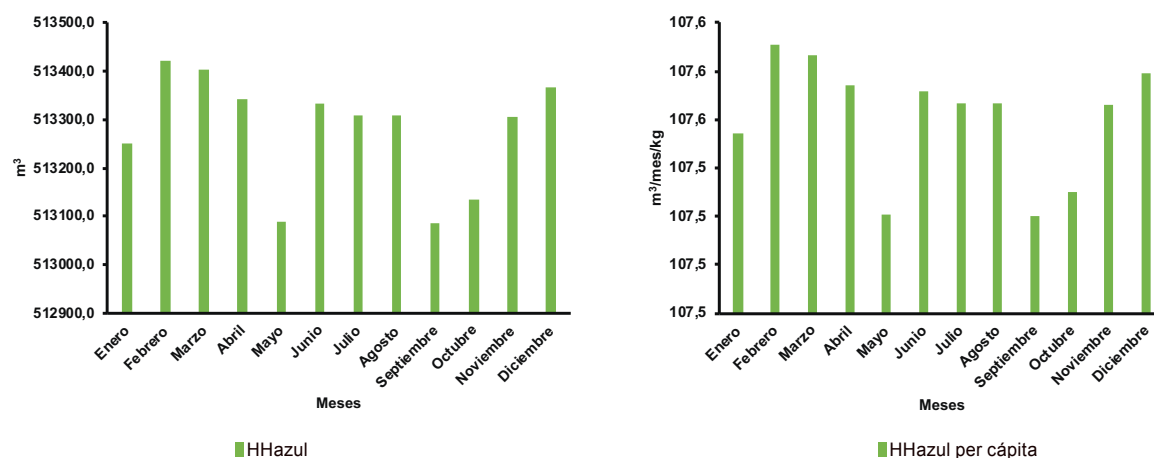


Figura 6. Huella hídrica azul para la pyme de espumas fenólicas. a) Huella hídrica azul mensual - b) Huella hídrica azul per cápita

Fuente: elaboración propia

son mayores (100 y 430 veces, respectivamente) respecto de las del sector de los plásticos.

Lo anterior va en consonancia con lo planteado por Rosenfeld [25], quien señala la pertinencia de desarrollar estudios de HH para ayudar a las empresas a comprometerse y contribuir a construir una buena reputación de carácter organizacional en relación con la transparencia y responsabilidad de las prácticas asociadas al uso adecuado del agua. Si bien las empresas que han implementado sistemas de gestión ambiental han podido identificar algunos de los usos del recurso hídrico, aún persisten falencias en cuanto a la evaluación e identificación de los usos de agua directos e indirectos en otras etapas de la cadena de valor de cada empresa [14, 26].

En la tabla 3 se muestran los resultados generales de los aspectos ambientales abordados para esta pyme; asimismo, se presentan los diferentes componentes utilizados en la medición del indicador para los doce meses del año 2020 y se incluyen los mismos aspectos abordados para la pyme del sector de plásticos. Adicionalmente, en la figura 7 se muestran los porcentajes de participación de los aspectos ambientales utilizados en el cálculo de la huella hídrica azul de la pyme de espumas fenólicas en el año 2020.

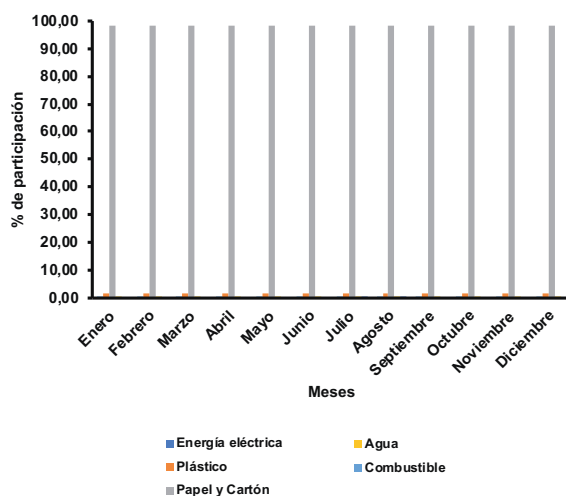


Figura 7. Porcentaje de participación de los aspectos ambientales en la hh para pyme de espumas fenólicas

Fuente: elaboración propia

De acuerdo con la tabla 3 y la figura 7, se observa que el aspecto ambiental que presentó mayor participación en el cálculo del indicador para todos los meses de estudio correspondió al consumo de papel y cartón, con una representación por encima del 95 %, lo que indica que casi la totalidad de la contribución en el consumo de agua ocurre de forma indirecta en el proceso de producción de espumas fenólicas. Lo anterior contrasta con el porcentaje del cálculo de este indicador para el consumo de agua (consumo directo), cuyo valor no supera el 1 % de la totalidad en la huella hídrica durante todo el periodo del estudio, comportamiento que también ocurre con el consumo de energía, plástico y combustibles (consumo indirecto). Aunque la espuma fenólica tiene un impacto ambiental significativo, superior al de otros materiales, para su producción se utilizan insumos derivados de petróleo y gas natural [27], evidenciando que, conforme a las prácticas operacionales, su impacto se extiende no solo a este tipo de combustibles.

El valor identificado en este estudio es atribuido al elevado consumo de papel y cartón que se presenta en la empresa (100 800,86 kg/mes), producto de la demanda interna, puesto que es utilizado principalmente para empaque y rotulado del producto terminado. El otro factor que incide es la elevada HH_{azul} que tiene la producción del papel y cartón en el sector industrial colombiano, ya que, para el año 2014, la HH_{azul} de la elaboración del papel y cartón ocupaba el segundo lugar nacional, con un valor de 5,8 Mm^3 , valor que nos indica la relevancia de analizar este proceso dentro de la organización [28]. De otro lado, Schyns *et al.* [29] aseveran que el papel y el cartón tienen una notoria incidencia en el consumo indirecto de diferentes procesos [30], y muestra de ello es que el papel puede demandar, para su elaboración, entre 5,1 y 12,9 litros por hoja producida, lo que a su vez se traslada a los productos que lo usen durante su elaboración, como es el caso de la espuma fenólica.

Lo previamente mencionado indica que la implementación del concepto de sostenibilidad ambiental en las pymes acarrea problemas particulares, propios de las condiciones de ese sector [31]. En ese mismo orden de ideas, la estructuración de

Tabla 3. Huella hídrica azul de la pyme de espumas fenólicas para el año 2020

Aspecto ambiental	Indicador	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Energía eléctrica	HH _{azul} (m ³)	570,3	687,5	668,5	608,3	354,8	611,4	583,5	582,1	352,4	412,6	582,8	674,8
	HH per cápita (m ³ /mes/kg)	0,12	0,14	0,14	0,13	0,07	0,13	0,12	0,12	0,07	0,09	0,12	0,14
	HH (%)	0,11	0,13	0,13	0,12	0,07	0,12	0,11	0,11	0,07	0,08	0,11	0,13
Plástico	HH _{azul} (m ³)	8572,2	8572,2	8572,2	8572,2	8572,2	8572,2	8572,2	8572,2	8572,2	8572,2	8572,2	8572,2
	HH per cápita (m ³ /mes/kg)	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80
	HH (%)	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67
Papel y cartón	HH _{azul} (m ³)	504000	504000	504000	504000	504000	504000	504000	504000	504000	504000	504000	504000
	HH per cápita (m ³ /mes/kg)	105,62	105,62	105,62	105,62	105,62	105,62	105,62	105,62	105,62	105,62	105,62	105,62
	HH (%)	98,20	98,16	98,17	98,18	98,23	98,18	98,19	98,19	98,23	98,22	98,19	98,18
Agua	HH _{azul} (m ³)	108,00	163,00	163,00	163,00	163,00	149,00	152,00	153,00	162,00	149,00	151,00	120,00
	HH per cápita (m ³ /mes/kg)	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
	HH (%)	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02
Combustible	HH _{azul} (m ³)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00
	HH per cápita (m ³ /mes/kg)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	HH (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	HH _{azul} (m ³)	513250,5	513422,7	513403,7	513343,5	513090,0	513332,6	513307,8	513307,6	513086,6	513133,8	513306,0	513367,0
	HH per cápita (m ³ /mes/kg)	107,6	107,6	107,6	107,6	107,5	107,6	107,6	107,6	107,5	107,5	107,6	107,6
	HH (%)	107,6	107,6	107,6	107,6	107,5	107,6	107,6	107,6	107,5	107,5	107,6	107,6

Fuente: elaboración propia

indicadores de sostenibilidad es considerada como una barrera, dado que la percepción por parte de esa población industrial (debido su tamaño individual) es que los niveles de contaminación producidos son poco significativos y, por ende, no se justifica invertir recursos en reducir el impacto ambiental generado [26]. Sin embargo, teniendo en cuenta que este sector incluye un 90 % de las industrias colombianas, el impacto de todas ellas sobre el recurso hídrico resulta bastante importante.

La relevancia y pertinencia de estudios como este radica en incorporar un dato más preciso sobre la demanda del recurso hídrico, como lo puede ser la HH_{azul} , y no solo sustentar los estudios de sostenibilidad ambiental con la cuantificación del consumo de agua directa, debido a que la cantidad de agua empleada es mucho mayor, teniendo en cuenta los consumos indirectos que inclusive tienen una HH superior, frecuentemente no estimados.

También es pertinente mencionar que la metodología aplicada, de acuerdo con el modelo de cálculo de la Water Footprint Network, es fácilmente aplicable y adaptable para las pymes en el Valle del Cauca y puede ser utilizado por otras empresas del sector que requieran medir el consumo de agua. Esto les permite tener un línea base a partir de la cual se pueden proponer estrategias ambientales preventivas y correctivas para el ahorro y disminución de la presión sobre el recurso hídrico, en el marco de la sostenibilidad ambiental.

Finalmente, aunque la aplicación de este tipo de metodología es relativamente sencilla, se necesita efectuar una serie de cálculos que requieren de numerosos datos, lo cual es una de las principales limitaciones detectadas durante la ejecución de este estudio de caso, que debe tenerse en cuenta para su implementación en otras pymes, pues precisamente la falta de información expedita constituye una limitación para la consolidación de las bases de datos y los posteriores cálculos de este indicador. Por lo anterior, es perenterio llevar un registro sistemático de toda la información necesaria referente a los recursos e insumos para el funcionamiento de las pymes abordadas en esta investigación, así como de cualquier otra que se pretenda estudiar.

Conclusiones

En las pymes de los sectores de espumas fenólicas y de envases plásticos objeto de este estudio, el consumo indirecto de agua representa más del 50 % de la demanda en su HH_{azul} . En consecuencia, sus actividades o planes para optimizar el uso del recurso hídrico en sus respectivos procesos productivos deben encaminarse a minimizar ese tipo de consumos, implementando prácticas como la selección de insumos y productos ambientalmente sostenibles, entre otras.

Este estudio evidencia la aplicación de una metodología sencilla para el establecimiento de un indicador de sostenibilidad ambiental para las pymes como lo es el de la HH_{azul} , el cual, a la fecha de la escritura del presente manuscrito, no ha sido reportado con anterioridad en la literatura científica del ámbito local, además de que su implementación puede resultar útil para la toma de decisiones en la gestión ambiental empresarial.

El uso de la HH_{azul} como indicador ambiental aporta al conocimiento de la contabilidad de HH en el Valle del Cauca, información que se tiene normalmente para empresas pertenecientes a grandes grupos empresariales, pero no para las pymes, pues generalmente el componente ambiental de estas es incipiente o inexistente. Por lo anterior, estimular la implementación de este indicador en pymes permite formular planes mucho más pertinentes para la gestión del recurso hídrico y de las cuencas hidrográficas de la región, además de constituir planes trabajo colaborativo para el desarrollo de la zona de incidencia de estas, las cuales desempeñan un rol fundamental en el desarrollo de la economía local y nacional.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia por la financiación del proyecto de investigación especial ECAPMAPS392019 titulado “Gestión en innovación sistémica de servicios sostenibles en un sector PYME del Valle del Cauca”, y a la Universidad Popular del Cesar seccional Aguachica, por brindar el apoyo para la escritura de este artículo en el marco del proyecto de semilleros de investigación “Digestión

anaerobia de biomasa residual como alternativa tecnológica para la generación de subproductos con valor agregado”.

Referencias

- [1] S. A. Morales Rodríguez, “Cálculo de la huella de carbono corporativa de la empresa 5ta SAROCO como insumo para la formulación de buenas prácticas operativas”, Trabajo de especialización, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, 2018. <http://hdl.handle.net/11349/13984>
- [2] A. J. Sarmiento Albarracín, Z. M. Rojas Mesa, “Propuesta de modelo para la elaboración de informe de sostenibilidad para MIPYMES en Colombia”. Trabajo de pregrado, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, 2017. <http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/2764>
- [3] G. Rivas Ibáñez, J. M. Molina Ruíz, M. I. Román Sánchez y J. L. Casas López, “A corporate water footprint case study: The production of Gazpacho, a chilled vegetable soup”. *Water Resources and Industry*. vol. 17, pp. 34–42, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2017.04.001>
- [4] F. Chavarría-Solera, R. Gamboa-Venegas, J. Rodríguez-Flores, D. Chinchilla-González, A. Herrera-Araya y A. C. Herra-Solís, “Medición de la huella hídrica azul de la Universidad Nacional en Costa Rica, del 2012 al 2016”. *Uniciencia*, vol. 34, n.º 1, pp. 189–203, 2020. <https://doi.org/10.15359/ru.34-1.11>
- [5] I. P. Cerda Solís, “Análisis de la huella hídrica a lo largo del ciclo de vida de producción de bioplásticos”, Tesis de maestría, Universidad Ean, Bogotá, 2020. <http://hdl.handle.net/10882/9874>
- [6] A. Y. Hoekstra, A. K. Chapagain, M. M. Aldaya y M. M. Mekonnen. “The Water Footprint Assessment Manual: setting the global standar”. The Water Footprint Network - AENOR Internacional, S.A.U, 2021. https://waterfootprint.org/media/downloads/Water_Footprint_Assessment_Manual_Spa
- [7] Z. Xu, L. Yao, Q. Zhang, K. Dowaki y Y. Long, “Inequality of water allocation and policy response considering virtual water trade: A case study of Lanzhou city, China”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 269, p. 122326, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122326>
- [8] Meng J, Mi Z, Guan D, Li J, Tao S, Li Y, et al, “The rise of South–South trade and its effect on global CO2 emissions”, *Nature Communications*, vol. 9, n.º 1, 2018. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04337->
- [9] P. Dounngmanee, “The nexus of agricultural water use and economic development level”, *Kasetsart Journal of Social Sciences*, vol. 37, n.º 1, pp. 38–45, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.kjss.2016.01.008>
- [10] J. Cai, R. Xie, S. Wang, Y. Deng y D. Sun, “Patterns and driving forces of the agricultural water footprint of Chinese cities”, *Science of The Total Environment*, p. 156725, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156725>
- [11] S. M. Wahba, K. Scott y J. K. Steinberger, “Analyzing Egypt’s water footprint based on trade balance and expenditure inequality”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 198, pp. 1526–1535, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.266>
- [12] E. Hua et al., “Synergy and competition of water in Food-Energy-Water Nexus: Insights for sustainability”, *Energy Conversion and Management*, vol. 266, p. 115848, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115848>
- [13] D. Fadly, “Greening Industry in Vietnam: Environmental Management Standards and Resource Efficiency in SMEs”, *Sustainability*. vol. 12, n.º 18, p. 7455, 2020. <https://doi.org/10.3390/su12187455>
- [14] Y. A. Zorrilla-Ortega, J. P. Silva, V. Prado Lopez y P. C. Manyoma Velásquez, “Evaluation of water use in food SMEs: case study of a poultry processing plant in Colombia”, *Dyna*, vol. 85, n.º 206, pp. 226–235, 2018. <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n206.68809>
- [15] A. L. Valderrama Santibáñez, “Huella hídrica manufacturera. Una comparación entre países ricos y pobres”, *Análisis Económico*, vol. 35, n.º 88, pp. 69–88, 2020. <https://doi.org/10.24275/uam/azc/dcsh/ae/2020v35n88/valderrama>
- [16] Xu, J. Lian, R. Wang, Y. Qiu, T. Song y K. Hua, “Development of Method for Assessing Water Footprint Sustainability”, *Water*, vol. 14, n.º 5, p. 694, 2022. <https://doi.org/10.3390/w14050694>
- [17] V. A. Cerón Hernández, I. C. Hurtado, I. C. Bolaños, A. Figueroa Casas y I. Restrepo Tarquino, “Water footprint analysis as an indicator of sustainability in nonconventional drinking water treatment systems”, *Dyna*, vol. 87, n.º 213, pp. 140–147, 2020. <https://doi.org/10.15446/dyna.v87n213.81247>
- [18] P. Loubet, J. Couturier, R. Horta Arduin y G. Sonnemann, “Life cycle inventory of plastics losses from seafood supply chains: Methodology and application to French fish products”, *Science of The Total Environment*, vol. 804, p. 150117, de 2022. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150117>
- [19] S. A. Tandon, N. Kolekar y R. Kumar, “Water and Energy Footprint Assessment of Bottled Water Industries

- in India”, *Natural Resources*. vol. 05, n.º 02, pp. 68–72, 2014. <https://doi.org/10.4236/nr.2014.52007>
- [20] V. Niccolucci, S. Botto, B. Rugani, V. Nicolardi, S. Bastianoni y C. Gaggi, “The real water consumption behind drinking water: The case of Italy”, *Journal of Environmental Management*, vol. 92, n.º 10, pp. 2611–2618, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.05.033>
- [21] V. A. Franklin Oracio, “Estudio de la huella ecológica de plástico Pet (Tereftalato de polietileno) del barrio Nueva Aurora en la parroquia de Guamaní en el Distrito Metropolitano de Quito”, Trabajo de pregrado, Universidad Central del Ecuador, Quito, 2017. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/10338>
- [22] Unidad de Planeación Minero Energética UPME. “Plan Energético Nacional PEN 2020-2050: La transformación energética que habilita el desarrollo sostenible”, 2020. <https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Paginas/PEN.aspx>.
- [23] A. Dormer, D. P. Finn, P. Ward y J. Cullen, “Carbon footprint analysis in plastics manufacturing”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 51, pp. 133–141, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.01.014>
- [24] P. H. Gleick y H. S. Cooley, “Energy implications of bottled water”, *Environmental Research Letters*. vol. 4, n.º 1, p. 014009, 2009. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/4/1/014009>
- P. H. Gleick y H. S. Cooley, “Energy implications of bottled water”, *Environmental Research Letters*,
- [25] A. M. Fernández, “Huella hídrica. análisis de la potencialidad de aplicación de la herramienta en la realidad empresarial argentina.”, Trabajo de pregrado, Universidad Nacional de Luján, Luján, 2011. <http://ri.unlu.edu.ar/xmlui/handle/rediunlu/462>
- [26] M. B. Fernández Viñé, T. Gómez Navarro y S. Capuz Rizo, “Diagnóstico de la implantación de la ecoeficiencia en las pequeñas y medianas industrias venezolanas”. *Anales de la Universidad Metropolitana*, vol. 9, n.º 2, pp. 119–136, 2009. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3624022>
- [27] J. S. Sánchez-Estrada, O. D. González-Gómez, “Aprovechamiento De Residuos Industriales De Poliuretano Termoes estable En La Elaboración De Paneles Para Terminados Constructivos, A Partir De Patente Brasileña”, Trabajo de pregrado, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, 2017. <https://repository.ucatolica.edu.co/items/f7d2f2d0-0dfa-45da-b548-48c31a12484f>
- [28] Y. Contreras Tuirán, C. M. Torres Porto, “Cuantificación de la huella hídrica en las instalaciones de la universidad de córdoba campus montería, para el año 2014”, Trabajo de pregrado, Universidad De Córdoba, Montería, 2016. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/471>
- [29] J. F. Schyns, M. J. Booij y A. Y. Hoekstra, “The water footprint of wood for lumber, pulp, paper, fuel and firewood”, *Advances in Water Resources*, vol. 107, pp. 490–501, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2017.05.013>
- [30] C. Ferrara y G. De Feo, “Environmental Assessment of the Recycled Paper Production: The Effects of Energy Supply Source”, *Sustainability*, vol. 13, n.º 9, p. 4841, 2021. <https://doi.org/10.3390/su13094841>
- [31] M. Herimar, W. Pérez, Y. Quevedo, “Indicadores para la Medida del Grado de Desarrollo Sostenible de una PYME del Sector Consumo Masivo Ubicada en Valencia”, Trabajo de pregrado, Universidad de Carabobo, Bárbula, 2016. <http://mriuc.bc.uc.edu.ve/bitstream/handle/123456789/3993/medinah.pdf?sequence=1>