

Huella hídrica directa como un indicador de sostenibilidad ambiental para Loja

MSc Ing. Pablo Guamán Eras.

juanpa6263@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-9010-2523>

Universidad Intercultural de las Nacionalidades y

Pueblos Indígenas Amawtay Wasi

Quito – Ecuador

Universidad Nacional Agraria La Molina

Lima – Perú

Dra. Mary Flor Césare Coral

<https://orcid.org/0000-0002-6901-3171>

mcesare@lamolina.edu.pe

Universidad Nacional Agraria La Molina

Lima - Perú

RESUMEN

El presente estudio estima la Huella Hídrica Directa (HH) de la ciudad de Loja para el periodo 2017 – 2019, analizando la sostenibilidad ambiental. Mediante el modelamiento geoespacial, se determinó las microcuencas que tienen influencia directa para la ciudad son: la del Río Zamora como abastecedora del recurso hídrico; y la microcuenca del Río Malacatos como depuradora de la contaminación hídrica producida por la población, los datos de precipitación fueron transformados a esorrentía y caudal, con el fin de estimar la disponibilidad real de las microcuencas y a partir de ello realizar el análisis de la sostenibilidad ambiental mediante la HH. La evaluación de la HH Directa Azul y Gris nos permitió observar que existe una disminución del consumo y contaminación del agua en el periodo de estudio, siendo los meses de julio, agosto y septiembre donde se observó mayor estrés hídrico e índices de contaminación más elevados, debido a las menores precipitaciones que ocurren en estos meses, existiendo menores caudales. Finalmente, la población de la ciudad de Loja debe tener un consumo moderado en estos meses para así evitar el estrés hídrico e índices de contaminación en las microcuencas.

Palabras clave: sostenibilidad ambiental; esorrentía; caudal; wfp; huella hídrica

Correspondencia: juanpa6263@gmail.com

Artículo recibido 15 noviembre 2022 Aceptado para publicación: 15 diciembre 2022

Conflictos de Interés: Ninguna que declarar

Todo el contenido de **Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar**, publicados en este sitio están disponibles bajo

Licencia [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) 

Cómo citar: Guamán Eras., M. I. P., & Césare Coral, D. M. F. (2022). Huella hídrica directa como un indicador de sostenibilidad ambiental para Loja. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(6), 8372-8390. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i6.4003

Direct water footprint as an indicator of environmental sustainability for Loja

ABSTRACT

This study estimates the Direct Water Footprint (HH) of the city of Loja for the period 2017 - 2019, analysing environmental sustainability. Through geospatial modelling, it was determined the micro-watersheds that have direct influence for the city are the Zamora River as a supplier of water resources and the Malacatos River micro-watershed as a purifier of water pollution produced by the population, the precipitation data were transformed to runoff and flow, in order to estimate the actual availability of the micro-watersheds and from this to carry out the analysis of environmental sustainability through the WF. The evaluation of the Direct Blue and Grey HH allowed us to observe that there is a decrease in water consumption and pollution in the study period, with the months of July, August and September being the months where the greatest water stress and higher pollution indices were observed, due to the lower rainfall that occurs in these months, with lower flow rates. Finally, the population of the city of Loja should have a moderate consumption in these months in order to avoid water stress and pollution indices in the micro-watersheds.

Keywords: *environmental sustainability; runoff; flow; WFP; water footprint*

INTRODUCCIÓN

El recurso hídrico es fundamental en el desarrollo de las actividades que realiza el hombre (Díaz, 2020). La FAO (2011) menciona que el aumento de la densidad demográfica, el calentamiento global, contaminación de los cuerpos de agua, la desigualdad en el reparto del recurso hídrico disminuyen el volumen de agua dulce que a ser consumida por una población. Estos factores son determinantes para que exista estrés y escasez hídrico en un continente, país y población. Es por esto que se ve la necesidad de implementar un indicador del manejo, uso y consumo del recurso hídrico (Arjen Y Hoekstra, CHHapagain, Aldaya, & Mekonnen, 2011).

Según Rendón (2015), HH forma parte de los indicadores de sostenibilidad fuerte junto con la huella ecológica y la huella de carbono, teniendo como principios la economía ecológica, la cual nos hace referencia que los recursos naturales no deben reducirse en la medida de lo posible. Entonces la HH es un indicador que mide el volumen total de agua dulce que es consumida o contaminada tanto directa e indirectamente por un bien, servicio o un producto, el concepto de huella hídrica está ligado al agua virtual y fue introducido por Arjen Hoekstra y Hung (2002) y luego de varios estudios difundido en 2008 por la Water Footprint Network (WFN).

La importancia de la Huella Hídrica (HH), está en medir todo el volumen de agua dulce que ha sido utilizado por un continente, país, población, sector, empresa y otra entidad con el fin de sugerir soluciones para la conservación del recurso hídrico (Chapagain & Orr, 2009). Debido a que Loja es un modelo a seguir de ciudad ecológica, es fundamental considerar los impactos que ocasiona la población en los sistemas hídricos y evaluar la sostenibilidad de la HH Azul y HH Gris para poder establecer mejores planes de gestión.

Existe dos metodologías para calcular la HH (Ruíz, Yago, Amores, & Marín, 2019) la primera propuesta por Hoekstra en el Manual de la Water Footprint (WFP), que divide en cuatro fases y cataloga al recurso hídrico en tres colores; Azul (agua subterránea o superficial), verde (agua de precipitaciones) y Gris (agua contaminada), el manual toma en cuenta los impactos sobre el medio ambiente (A. Y. Hoekstra et al., 2011); y la segunda mediante La norma internacional ISO 14046: "Gestión Ambiental-Huella de agua-Principios, requisitos y directrices" la cual se fundamenta en el Análisis de Ciclo de Vida,

esta se basa en la calidad del agua y no en el impacto ambiental sobre el entorno, esta no estudia la HH verde ni Azul, no permite así la comparación de huellas hídricas como lo propone Hoesktra (FCH, 2016).

Según Garrido y Aldaya (2015), la ISO 14046 desideologiza la HH alejándose de la gestión del recurso, además que para estimar impactos más allá del agua se debe incorporar la aplicación de la ISO 14044 para realizar un análisis completo, mientras que el manual de la WFN mantiene el liderazgo en los estudios de impacto, metodologías, influencia en la política del agua.

Para el analizar la sostenibilidad ambiental respecto al recurso hídrico se utilizó la metodología propuesta por Hoesktra en el Manual de la WFN, ya que considera la presión que se ejerce sobre las microcuencas dotan del agua a la ciudad y depurar su contaminación hídrica. Por el mayor aumento de población en el mundo se tiene una mayor presión sobre los recursos naturales pues a mayor población se tiene un mayor consumo para abastecer sus necesidades básicas y vitales (ONU, 2014), para cubrir estas demandas el recurso hídrico es por mucho el más usado ya que todo proceso personal o industrial requiere de este líquido, pero no existe un uso adecuado para el consumo y manejo del agua, la cual tiene grandes pérdidas y desperdicios en los diferentes procesos y servicios (LOJA, 2016).

ÁREA DE ESTUDIO

La zona de estudio se enfoca en las dos microcuencas que tienen influencia directa con la ciudad de Loja, la Microcuenca del Río Zamora como abastecedora del recurso hídrico y la Microcuenca del Río Malacatos la cual recibe los efluentes contaminados de la ciudad. Loja se encuentra ubicada a 2060 msnm al sur del Ecuador en la Provincia del mismo nombre la cual limita al norte con las Provincias de El Oro y Azuay, al sur y oeste con el Límite internacional con el Perú y al este con la Provincia de Zamora Chinchipe ver Figura 1, la ciudad tiene una superficie de 57 km² y una población de 286 938 habitantes aproximadamente. Geográficamente se encuentra situada entre las latitudes 9501249N y 9594638 N y las longitudes 661421 E y 711075 (Municipio de Loja, 2021).

Tabla 1:

Estaciones hidrometeorológicas ubicadas en Loja

Estaciones		Coordenadas		
Código	Nombre	X	Y	Altitud (m.s.n.m.)
M0033	La Argelia	699 711	9 553 630	2 160
M0142	Saraguro	696 167	9 600 576	2 525
M0143	Malacatos	691 894	9 533 772	1 453
M0432	San Lucas	693 086	9 587 311	2 525

El caudal fue tomado a partir de la conversión de las precipitaciones promedio mensual, a partir del caudal se calcula el requerimiento natural, el cual es el valor que se necesario para preservar la vida de los ecosistemas, a este también se lo denomina como caudal ecológico (Castillo, 2016). Para su obtención se aplicó la siguiente ecuación:

$$\text{Requerimiento natural} = \text{Disponibilidad natural} * 80\% \quad (1)$$

La precipitación media se calcula utilizando el método de Thiessen, luego se transforma a caudal medio obteniendo así la disponibilidad natural de las cuencas del río Zamora y Malacatos o su escorrentía (Sanchez, 2017), a este caudal se le restará el caudal ecológico, es decir, la disponibilidad real de la cuenca será el 80 por ciento de la escorrentía total, su calculo en la ecuación 2

$$\text{Disponibilidad real} = \text{Disponibilidad natural} - \text{Requerimiento Natural} \quad (2)$$

Para transformar de escorrentía a caudal total se utiliza el método racional (Ramón, 2015).

$$Q = \frac{C * I * A}{3,6} \quad (3)$$

Donde:

Q: caudal (m³/seg)

C: coeficiente de escorrentía

I: intensidad máxima de la precipitación (mm/hora)

A: Área de la cuenca (km²).

Modelamiento geoespacial

El modelamiento geoespacial permite tener un razonamiento espacial de nuestra área de estudio mediante el uso de sistemas de información geográficos, utilizando el software *ArcGis* el cual ayudara en tres etapas; la primera etapa elaborar un mapa base del área de estudio, ubicar las microcuencas, cargar información geográfica y alfanumérica; segunda tercera con la herramienta de interpolación (*kriging*), el cual mediante su ecuación matemática se ajusta a un número específico de puntos tomados dentro del área de estudio para dar una correlación espacial y determinar un valor de salida y aproximación a cada ubicación; y finalmente la tercera etapa en donde se crea el mapa final donde se analizan los factores que intervienen dentro de nuestro estudio (Aybar, 2016)

La ecuación de kriging es la siguiente:

$$\hat{Z}(S_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(S_i) \quad (4)$$

En donde:

$Z(S_i)$: valor medido en la ubicación geográfica i

λ_i : ponderación desconocida para el valor medido en la ubicación i

S_0 : ubicación de la predicción

N = cantidad de valores medidos

Los datos geográficos utilizados para el mapa final son: los *Shapefiles* de las microcuencas del Río Zamora y Río Malacatos, *kriging* de precipitaciones, polígono de Loja, polígonos de los ríos, puntos de las estaciones meteorológicas, carta topográfica y las imágenes de tipo *raster* de Loja.

El mapa final permite la visualización de las microcuencas que abastecen y reciben los efluentes contaminados de la ciudad de Loja, así mismo, el análisis de geoespacial permite analizar el comportamiento de las precipitaciones mensuales con la finalidad de calcular los mensualmente los índices de escasez y contaminación para las microcuencas del Río Zamora y Malacatos respectivamente.

Fases de la metodología del manual de la WFP

El manual original de Hoekstra nos menciona que para estimar la huella hídrica debemos de estudiar 4 fases (A. Y. Hoekstra et al., 2011), estas son:

Fase 1. Establecimiento de objetivos y alcance

Es el primer paso para la evaluación de la HH, aquí se identifica el objetivo y el alcance del estudio, nuestro objetivo es evaluar la sostenibilidad de la HH Azul y Gris de nuestro alcance Loja, midiendo solamente la HH directa.

Fase 2. Contabilidad de la huella hídrica

Esta fase se lleva a cabo siguiendo un conjunto de procesos, el primero de los cuales es la recogida de datos e información de la ciudad de estudio. Esta es la etapa que más tiempo conlleva, ya sea por la dificultad de obtención de datos confiables y el uso de ecuaciones, softwares y análisis de los distintos tipos de huellas.

Fase 3. Evaluación de la Sostenibilidad Ambiental

El manual de la WFN, menciona la sostenibilidad ambiental se realiza mediante el análisis de las HH Azul y Gris; la HH Verde Hoekstra (2011) propone su cálculo mediante la los softwares CROPWAT y CLIMWAT los cuales analizan la superficie y tipo de cobertura vegetal, este estudio no se enfoca y no realiza la estimación para la HH Verde, ya que no es representativa al volumen total de agua Azul y verde de una ciudad (O. Díaz, Lizarazo, & Torres, 2015), esto se debe a que el sector agrícola se encuentra en las periferias de la ciudad y la HH verde se enfoca más en el estudio vegetal y forestal.

La Evaluación de la Sostenibilidad Ambiental de la HH Azul y la HH Gris se analiza con la disponibilidad real de la cuenca, para esto se utiliza los datos de al menos cinco estaciones hidrometeorológicas del INAMHI, si no se logra obtener datos suficientes es necesario interpolarlos mediante los SIG o utilizar información satelital dependiendo de las necesidades del estudio.

Para el cálculo de la precipitación media y escorrentía de las microcuencas se utiliza el método de *Thiessen*. La escorrentía se divide en la disponibilidad real de la cuenca que es el 80 por ciento de la escorrentía total, el 20 por ciento sobrante es denominado como caudal ecológico.

La disponibilidad real de la cuenca se utiliza para evaluar la sostenibilidad ambiental de las HH Azul y Gris.

Evaluación de la sostenibilidad ambiental de la HH Azul

La ecuación para el cálculo de la sostenibilidad de la HH Azul es la siguiente:

$$\text{Sostenibilidad de la HH Azul} = \frac{\sum \text{HH azul}}{\text{Disponibilidad Real}} \quad (5)$$

Cuando valor obtenido es menor a 1, significa que hay una “Muy baja escasez del agua Azul”; valores entre 1 a 1,5, significa “moderada escasez”; entre 1,5 a 2, el valor ya representa una “significativa escasez”; y finalmente los valores mayores a 2, nos indican que existe una “severa escasez” y por ende niveles alarmantes de baja sostenibilidad ambiental, la Tabla 2 nos muestra los valores y colores asociados a los índices de escasez hídrica.

Tabla 2:

Rangos de Evaluación de los índices de escasez hídrica

> a 2	Escasez de agua Azul severa
1,5 - 2	Escasez de agua Azul significativa
1 - 1,5	Escasez de agua Azul moderada
< a 1	Escasez de agua Azul muy baja

Evaluación de la sostenibilidad ambiental de la HH Gris

La evaluación de la sostenibilidad de la HH Gris, tiene un procedimiento similar al de la sostenibilidad ambiental de la HH Azul, está dependerá de la esorrentía que disponible en la cuenca hidrográfica, esto se debe que el volumen de agua que exista en los causes de la cuenca ayudarán a asimilar y depurar la contaminación de los afluentes que produce la ciudad. Cuando los niveles de contaminación en la los causes de la cuenca estudiada sobrepasan los niveles de asimilación de contaminantes, significa que no existe sostenibilidad ambiental, cabe recalcar que los estándares de calidad del agua varían dependiendo del país o región. Para el Índice de contaminación hídrica se utiliza la Ecuación:

Índice de Contaminación Hídrica

$$= \frac{\sum HH \text{ gris}}{\text{Disponibilidad Real del agua}} * 100\%$$

(6)

Cuando los índices de contaminación hídrica son aproximados o mayores al 100 por ciento, significa que sobrepasan la capacidad de la cuenca de depurar la contaminación hídrica producida por la ciudad.

Fase 4. Formulación de respuestas

La fase 4 de la sostenibilidad ambiental es un proceso en donde se deben involucrar diferentes sectores de la ciudad comprometidos con las mejoras en el uso de agua. La formulación de respuestas debe incluir desde los sectores más pequeños hasta los más grandes, proyectos a corto, mediano y largo plazo, programas municipales y políticas públicas que logren reducir el consumo del recurso hídrico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Huella Hídrica Azul

Los resultados de la HH Azul, se obtuvieron mediante los efluentes que llegaron a las plantas de tratamiento de agua potable de Loja, se tomó de esta manera el consumo directo por volumen total de agua que abasteció a la población en el periodo de estudio. Los resultados de la estimación de la HH Azul se muestran en las Figuras 2, 3 y 4. En donde se observa que existe una mayor HH Azul en el año 2017 y gradualmente va disminuyendo para los años 2018 y 2019, se visualiza también que en los meses, la HH Azul per cápita fue de 110 m³, 101 m³ y 100 m³ para los años 2017, 2018 y 2019 respectivamente, esta disminución de la HH Azul también a la implementación del Plan Maestro de Agua Potable de Loja, el cual reestructuro, modifico y cambio la red de distribución de la ciudad, esto logra que ya no existan grandes pérdidas del recurso y se logre una dotación adecuada dentro de la ciudad. (LOJA, 2016)

Figura 2: Huella Hídrica para el año 2017



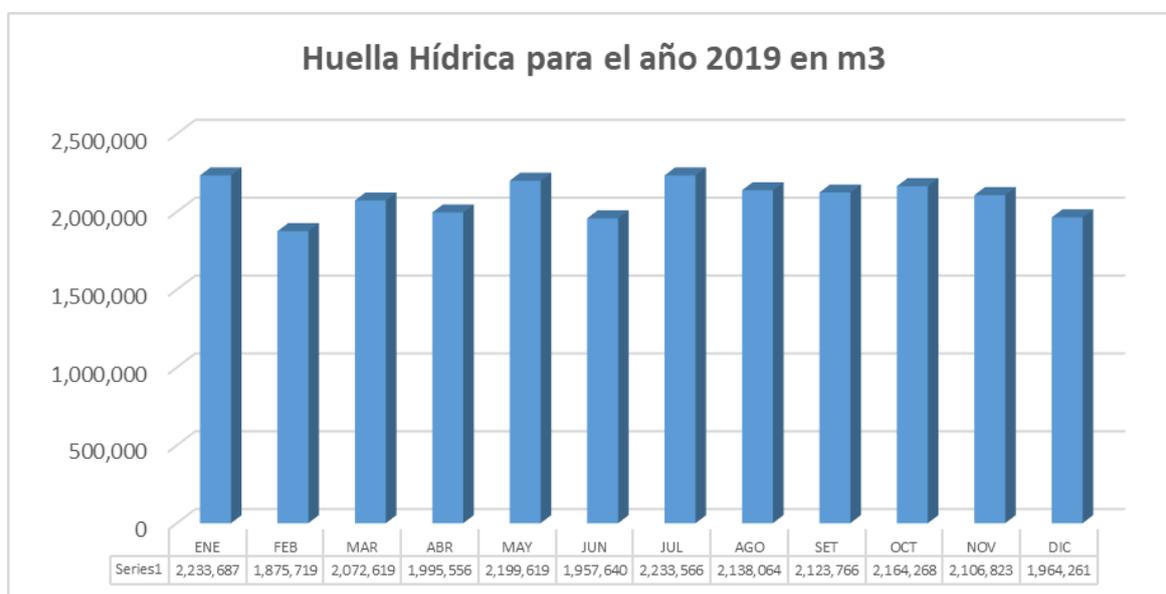
Figura 3:

Huella Hídrica para el año 2018



Figura 4:

Huella Hídrica para el año 2019



Estimación de la Huella Hídrica Gris

Para estimar de HH Gris como parámetro más representativo en la ciudad se escogió a la Demanda Química de Oxígeno (DQO). Estos valores fueron entregados por el municipio de Loja, los cuales hicieron los estudios previos a la construcción de la Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR).

La ecuación que se utilizó fue:

$$\mathbf{Huella\ Gris} = \frac{(\text{vol del efluente} * c \text{ del eflu})(\text{vol del aflu} * c \text{ del aflu})}{(C_{max} - C_{nat})} \quad (7)$$

Reemplazando los valores de los efluentes, afluentes y concentraciones de los años 2017, 2018 y 2019 (Guamán, 2020), se obtuvieron los siguientes resultados

HH Gris para el año 2017

$$\mathbf{HH\ Gris} = \frac{\left(25\,228\,800\,m^3 * 150\,\frac{mg}{l}\right) - \left(27\,565\,950\,m^3 * 0\,\frac{mg}{l}\right)}{(250 - 20)\,\frac{mg}{l}}$$

$$\mathbf{HH\ Gris} = 16\,453\,565.22\,m^3$$

HH Gris para el año 2018

$$\mathbf{Huella\ Gris} = \frac{\left(22\,075\,200\,m^3 * 150\,\frac{mg}{l}\right) - \left(25\,262\,592\,000\,m^3 * 0\,\frac{mg}{l}\right)}{(250 - 20)\,\frac{mg}{l}}$$

$$\mathbf{Huella\ Gris} = 14\,396\,869.57\,m^3$$

HH Gris para el año 2019

$$\mathbf{Huella\ Gris} = \frac{\left(18\,921\,600\,m^3 * 150\,\frac{mg}{l}\right) - \left(25\,065\,587\,m^3 * 0\,\frac{mg}{l}\right)}{(250 - 20)\,\frac{mg}{l}}$$

$$\mathbf{Huella\ Gris} = 12\,340\,173.91\,m^3$$

Los resultados obtenidos muestran una disminución de la HH Gris en el transcurso del periodo de estudio, para los años siguientes se piensa que este valor se reducirá al empezar a funcionar la PTAR.

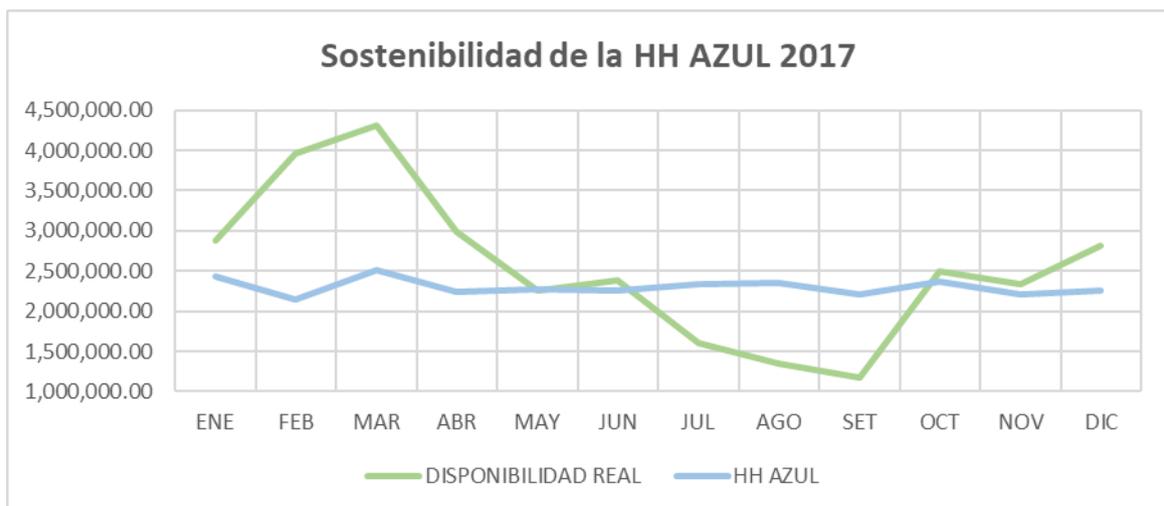
Sostenibilidad ambiental de la huella hídrica Azul

La microcuenca del Río Zamora abastece a Loja, por ello se calculó la sostenibilidad ambiental partiendo de la disponibilidad real de la microcuenca el cual es 80% del escurrimiento total, el 20% restante es considerado como caudal ecológico y se debe respetar para garantizar el funcionamiento de los ecosistemas que dependen de este para su supervivencia (Agirre & Bikuña, 2015). En las Figuras 5, 6 y 7 se presentan los resultados obtenidos de la HH Azul para el periodo de estudio 2017, 2018 y 2019 respectivamente. Los resultados muestran como los índices de escasez hídrica en los meses de junio a septiembre son mucho mayores respecto a los otros meses. Esto debido a la huella hídrica es muy alta en comparación a la disponibilidad real de la microcuenca del Río Zamora, la cual por la disminución de las precipitaciones no logra abastecer los requerimientos de consumo de la ciudad, en estos meses se puede decir que existe un estrés hídrico.

En la Figura 5 se observa en los meses de julio, agosto, septiembre la disponibilidad de agua es menor a la HH Azul, siendo así que en estos meses se presenta un alto índice de escasez hídrica.

Figura 5:

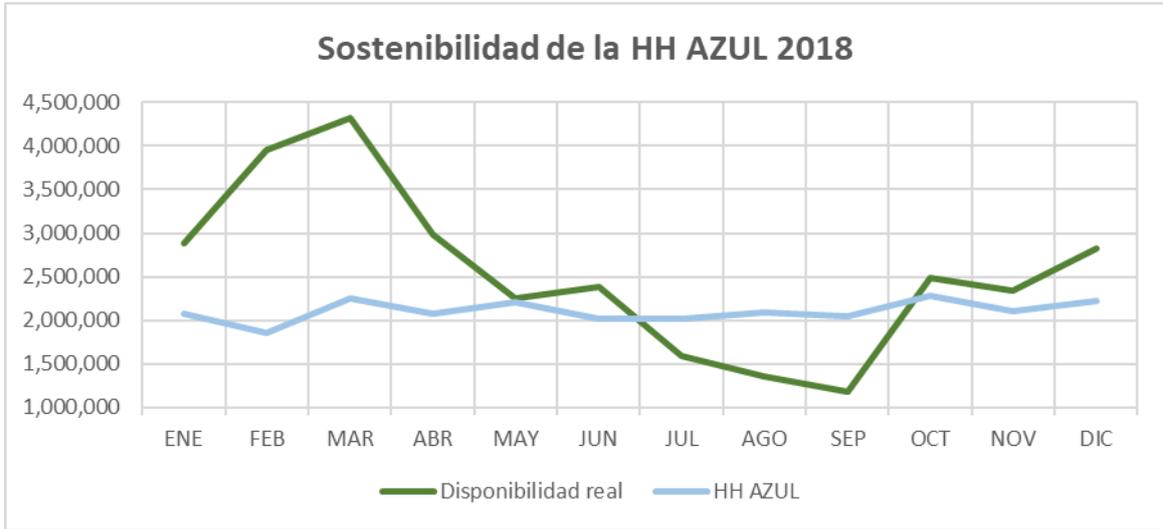
Sostenibilidad ambiental de la HH Azul para el año 2017.



En la Figura 6 se visualiza que los meses de junio, julio y agosto de 2018 la línea de disponibilidad real de la cuenca está bajo la línea de la HH Azul indicando que en estos meses existe escasez hídrica.

Figura 6:

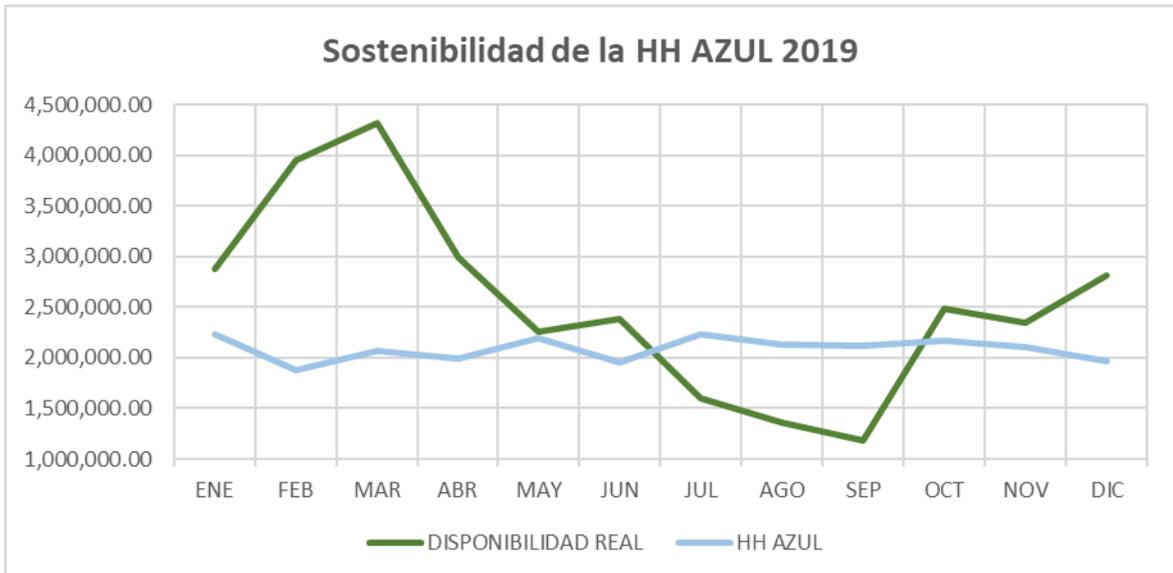
Sostenibilidad ambiental de la HH Azul para el año 2018.



Los resultados de la sostenibilidad ambiental para el año 2019 Figura 7, siguen la tendencia del año anterior, siendo los mismos meses de julio, agosto y septiembre en donde la disponibilidad real de la microcuenca del Río Zamora menor a la HH Azul, esto nos dice que Loja no es sostenible en estos meses con respecto a la microcuenca.

Figura 7:

Sostenibilidad ambiental de la HH Azul para el año 2019.



Sostenibilidad ambiental de la huella hídrica Gris

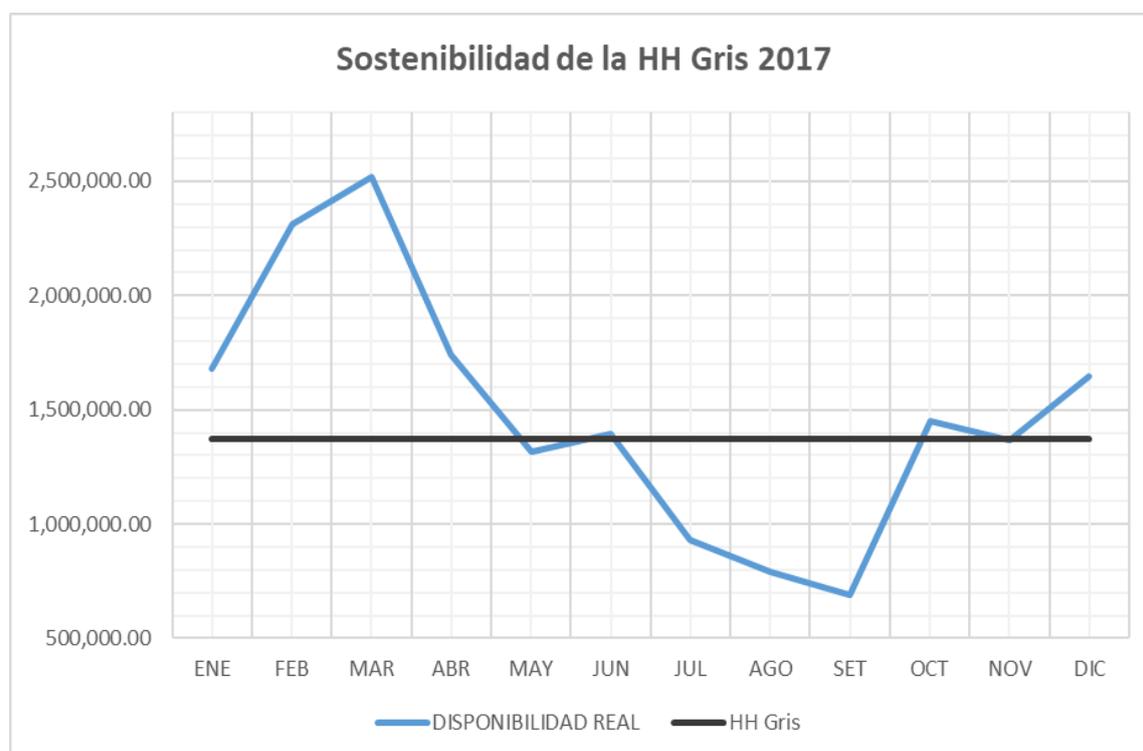
Para la Sostenibilidad Ambiental de la HH Gris, la metodología es prácticamente análoga a la HH Azul, la diferencia radica en medir el índice de contaminación hídrica mediante la ejecución de la Ecuación 6 (Arjen Y. Hoekstra, Ashok K. Chapagain, Maite M. Aldaya, &

Mesfin M. Mekonnen, 2021). La sostenibilidad se analiza partiendo desde la disponibilidad real de la microcuenca recordando que es el 80% del escurrimiento total, el 20% restantes es nombrado como caudal ecológico o requerimiento de la microcuenca. En las tablas 8, 9 y 10 se visualiza los valores para los años 2017, 2018 y 2019 respectivamente, obteniendo como resultado al año 2017 como el año con el nivel de contaminación más alto. En los años 2018 y 2019 los niveles de contaminación disminuyen a los meses de julio, agosto y septiembre. Al igual que los resultados de la sostenibilidad ambiental de la HH Azul, se observa que en estos meses el nivel de disponibilidad real de la cuenca es menor, por las bajas precipitaciones.

En la Figura 8, se observa que la disponibilidad real de la cuenca (línea color Azul), es inferior a la HH Gris (línea color Gris) en los meses de mayo, julio, agosto y septiembre, es decir, en estos meses la disponibilidad real de la microcuenca del Río Malacatos, no logra depurar o asimilar la contaminación hídrica de la ciudad, siendo así no sostenibles en estos meses. La menor disponibilidad real de la microcuenca es proporcional a las precipitaciones que ocurren en ella, a menor precipitaciones, menor escorrentía y menor disponibilidad real en la cuenca.

Figura 8.

Sostenibilidad ambiental de la HH Gris para el año 2017



Para el análisis de la sostenibilidad de la HH Gris en el año 2018, los resultados de las Figuras 9 y 10 nos muestran que la disponibilidad real de la microcuenca del Río Malacatos es menor a la HH Gris de Loja en los meses de julio, agosto y septiembre en los años 2018 y 2019, se tiene una similitud con los resultados de 2017, esto debido a que en estos meses el nivel de precipitaciones es mucho menor en relación al resto del año y por ende la microcuenca no logra asimilar y depurar la contaminación hídrica de Loja. Entonces, en los meses de julio a septiembre la ciudad no es sostenible ambientalmente con respecto al recurso hídrico.

Figura 9: Sostenibilidad ambiental de la HH Gris para el año 2018.

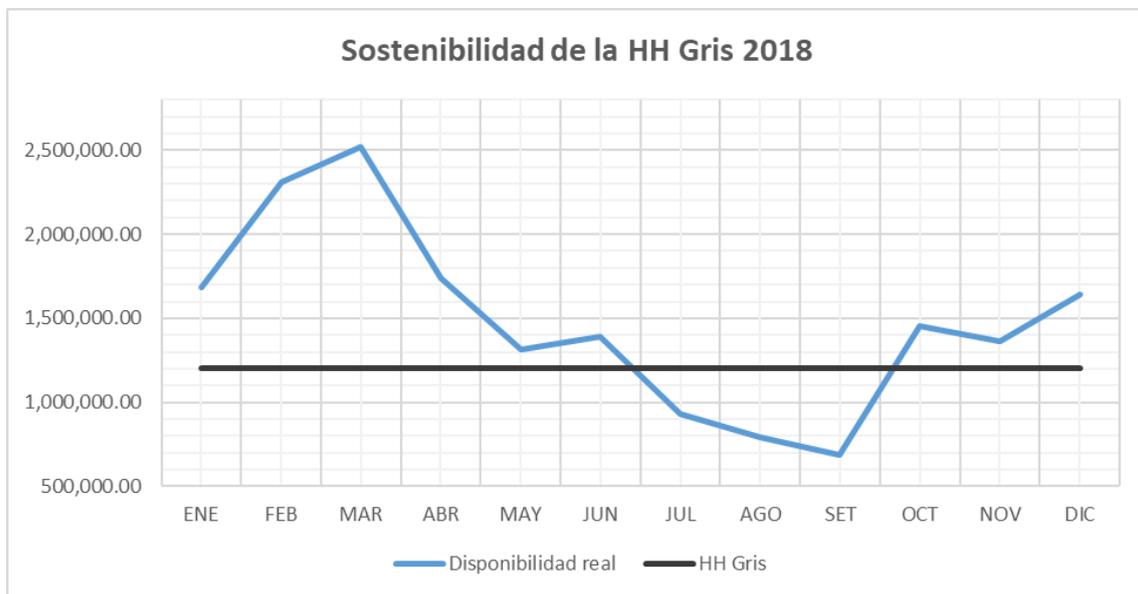
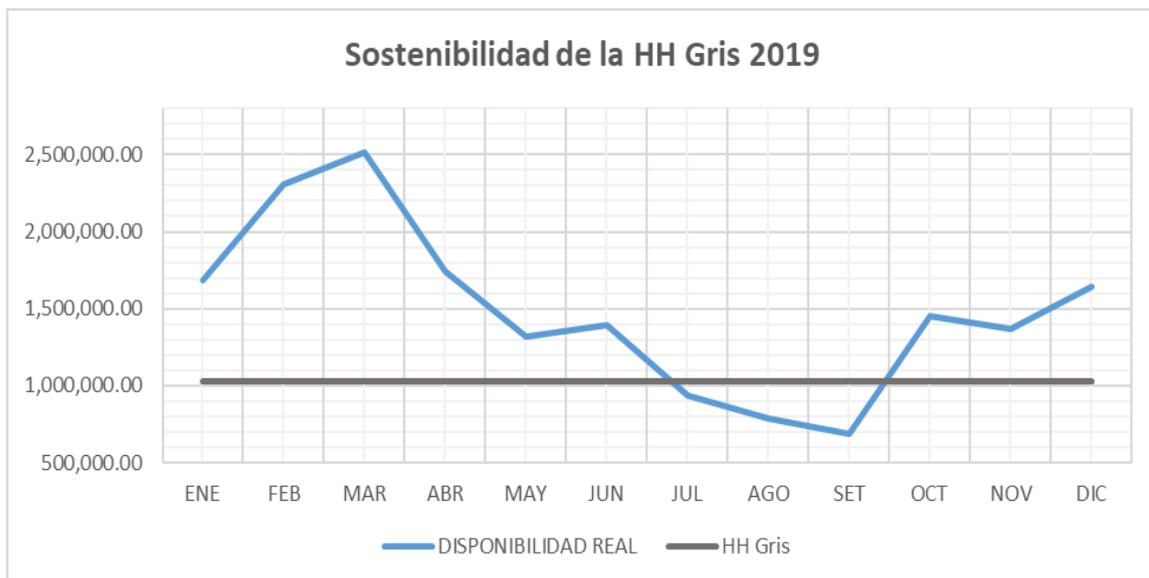


Figura 10. Sostenibilidad ambiental de la HH Gris para el año 2019.



CONCLUSIONES

El análisis de la sostenibilidad ambiental se lo logra únicamente evaluando las huellas hídricas Azul y Gris con respecto y realizándolo a nivel de las microcuencas que influyen directamente con la ciudad. El año donde existió mayor escasez e índices de contaminación ambiental hídrica fue 2017, en donde las HH Azul y Gris fueron más elevadas en relación a los años 2018 y 2019. Los meses de julio, agosto y septiembre en los años de estudio se visualiza que son los meses que tienen menores precipitaciones, es en estos meses en donde se debe poner más énfasis en el cuidado, consumo y uso de agua dulce.

Los SIG, son una herramienta versátil en el tema de análisis de HH, permiten dar una mejor visión de la realidad geográfica de la zona de estudio, además de tener múltiples herramientas que ayudan a llegar a una mejor estimación de las HH, con estas herramientas se puede calcular, precipitaciones, escurrimientos, caudales entre otros, Mediante los SIG se determinó que el río Zamora tiene una mayor precipitación anual.

El Municipio de Loja debe implementar planes, proyectos y programas a nivel de todos los sectores de la ciudad con el fin de mejorar el correcto uso y consumo de del recurso hídrico.

Mediante la ejecución del Plan Maestro de Agua Potable de Loja, se ha logrado disminuir la HH Azul, gracias al mejoramiento, adecuación y cambio de la red de distribución del agua hacia la ciudadanía, esto evita las pérdidas y distribución irregular del recurso. Una vez puesta en marcha PTAR de Loja se estima que disminuirá en aproximado de 70 % la HH de la ciudad.

LISTA DE REFERENCIAS

- Agirre, A., & Bikuña, B. G. De. (2015). *CONCEPTOS BÁSICOS PARA LA APLICACIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO EN*. (January 2001).
- Arjen Y. Hoekstra, Ashok K. Chapagain, Maite M. Aldaya, & Mesfin M. Mekonnen. (2021). *Manual de evaluación de la huella hídrica. Establecimiento del estándar mundial*.
- Aybar, C. (2016). *Modelamiento de la escurrimiento en cuencas de montaña: caso de estudio río Vilcanota*. Retrieved from <https://core.ac.uk/download/pdf/299324873.pdf>
- Castillo, M. (2016). *Huella Hídrica del campus de la Pontificia Universidad Católica del Perú en el 2014 Tesis para optar por el título de Licenciado / a en Geografía y Medio Ambiente que presenta la Bachiller : Mariana Castillo Valencia Asesora : Dra .*

Martha Bell.

- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.06.006>
- Díaz, O., Lizarazo, J., & Torres, J. (2015). Determinación de la Huella Hídrica del Algodón. *Universidad de La Salle*, 10, 39–46.
- Díaz, T. (2020). La Huella Hídrica Indicador Para Aplicar La Circularidad Del Agua: Modelo De Gestión Sostenible Para Panamá. *Cátedra*, (17), 66–78. <https://doi.org/10.48204/j.catedra.n17a5>
- FAO. (2011). El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura. La gestión de los sistemas en situación de riesgo. In *Mundi-Prensa Madrid*.
- FCH, F. C. (2016). *Manual de aplicación para evaluación de huella hídrica acorde a la norma ISO 14046*. 108. <https://doi.org/|q>
- Garrido, G., & Aldaya, B. M. M. (2015). *El enfoque norma ISO 14046*. 1–25.
- Guamán, P. (2020). *SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL DE LA HUELLA HÍDRICA AZUL Y GRIS DIRECTA PARA LA CIUDAD DE LOJA, ECUADOR*. Retrieved from <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2131/L02-C389-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hoekstra, A., & Pham Quang, H. (2002). *Manual para la evaluación de la huella hídrica*. 44. Retrieved from <http://waterfootprint.org/media/downloads/ManualEvaluacionHH.pdf>
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2011). The Water Footprint Assessment Manual. In *Febrero 2011*. <https://doi.org/978-1-84971-279-8>
- LOJA, G. M. DE. (2016). *Captación, conducción, tratamiento, distribución operación, mantenimiento y abandono del Plan Maestro de Agua potable de la ciudad de Loja*.
- Municipio de Loja. (2021). Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial. *Actualización*. Retrieved from <https://www.loja.gob.ec/contenido/plan-de-desarrollo-y-ordenamiento-territorial>

- Organización de las Naciones Unidas. (2014). La situación demográfica en el mundo. Informe conciso. *Madrid: Departamento de Asuntos Económicos y Sociales*, 1–30.
- Ramón, M. (2015). *Estimación de la fracción de agua de evento y pre evento que aportan al caudal, mediante el uso de isótopos estables, en la cuenca del río Zhuruca*. 64. Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/22781>
- Rendón, E. (2015). La Huella Hídrica como un indicador de sustentabilidad y su aplicación en el Perú. *USIL*, 2, 32–47.
- Ruíz, M., Yago, T., Amores, M., & Marín, D. (2019). La huella hídrica en el ciclo urbano del agua. *TecnoAgua*, (35), 102–106.
- Sanchez, N. (2017). Cálculo de la precipitación media sobre la península de la guajira usando el método Thiessen. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 26(1), 97–108. Retrieved from <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/16671/5/SanchezForeroNeckYeins2017.pdf>