

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES



**“SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL DE LA HUELLA HÍDRICA AZUL
Y GRIS DIRECTA PARA LA CIUDAD DE LOJA, ECUADOR”**

Presentada por:

JUAN PABLO GUAMÁN ERAS

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO

MAGISTER SCIENTIAE EN CIENCIAS AMBIENTALES

Lima - Perú

2022

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES

**“SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL DE LA HUELLA HÍDRICA AZUL
Y GRIS DIRECTA PARA LA CIUDAD DE LOJA, ECUADOR”**

Presentada por:

JUAN PABLO GUAMÁN ERAS

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:



Lic. Rer.Reg. Víctor Aguilar Vidangos
PRESIDENTE



Mg.Sc. Víctor Miyashiro Kiyán
ASESOR



Dr. Nestor Montalvo Arquíñigo
MIEMBRO



Mg. Sc. Armando Aramayo Bazzetti
MIEMBRO



ACTA DE SUSTENTACIÓN

ASTM-EPG-UNALM: N° 55/2021

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos para evaluar la sustentación de tesis presentada por el alumno **JUAN PABLO GUAMÁN ERAS**, titulada: "SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL DE LA HUELLA HÍDRICA AZUL Y GRIS DIRECTA PARA LA CIUDAD DE LOJA, ECUADOR", para cumplir con uno de los requisitos para optar el grado académico de Maestro denominado *Magister Scientiae* en **CIENCIAS AMBIENTALES**.

Teniendo en consideración los méritos del referido trabajo así como los conocimientos demostrados por el sustentante, el Jurado otorga el siguiente calificativo:

<u>JURADO</u>	<u>CALIFICATIVO*</u>	<u>FIRMA</u>
Lic. Rer.Reg. Víctor Aguilar Vidangos PRESIDENTE	MUY BUENO	
Dr. Néstor Montalvo Arquiñigo MIEMBRO	MUY BUENO	
Mg.Sc. Armando Aramayo Bazzetti MIEMBRO	MUY BUENO	
Mg.Sc. Víctor Miyashiro Kiyari ASESOR	MUY BUENO	
Siendo su calificativo final:	MUY BUENO	

En consecuencia, queda en condición de ser considerado APTO por el Consejo Universitario y recibir el grado académico de Maestro denominado *Magister Scientiae*, de conformidad con lo estipulado en el Artículo 97°, inciso c) del Reglamento de la Escuela de Posgrado.

La Molina, 29 de setiembre del 2021

(*) De acuerdo con el Artículo 102° de la Escuela de Posgrado, el calificativo de la sustentación será nominal: bueno, muy bueno o sobresaliente. El calificativo de sobresaliente deberá aplicarse solo si existe unanimidad.

DEDICATORIA

A mis padres Francisco y Fany quienes me han apoyado incondicionalmente en cada una de las etapas de mi vida profesional.

A mi hijo Pablo Matías quien es mi mayor orgullo y motivación.

A todas las personas que me han apoyado y me han abierto las puertas de su conocimiento para lograr culminar con éxito esta investigación.

AGRADECIMIENTOS

A la Maestría de Ciencias Ambientales a toda su planta docente y administrativa.

A mi patrocinador, Ing. Victor Miyashiro Kyan, Mg. Sc. por su dirección en esta investigación.

A todas las personas que estuvieron directa e indirectamente en esta etapa profesional.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1	DEFINICIÓN DE AGUA Y CICLO HIDROLÓGICO.....	4
2.1.1	Cuenca hidrográfica.....	5
2.1.2	Precipitación.....	6
2.1.3	Escorrentía.....	6
2.1.4	Caudal ecológico	6
2.2	ESCASEZ DE AGUA	7
2.3	DERECHO AL AGUA	7
2.4	AGUA VIRTUAL.....	8
2.5	HUELLA HÍDRICA, HUELLA HÍDRICA DIRECTA Y HUELLA HÍDRICA INDIRECTA	9
2.5.1	Huella Hídrica Azul.....	9
2.5.2	Huella Hídrica Gris.....	10
2.5.3	Huella Hídrica Verde.....	10
2.5.4	Respuestas a la Huella Hídrica	10
2.6	MODELAMIENTO GEOESPACIAL MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICOS (SIG).....	11
2.6.1	Método de los Polígonos de Thiessen.....	13
2.6.2	Cálculo de escorrentía método racional	14
2.7	SITUACIÓN ACTUAL DE LAS MICROCUENCAS DE LA CIUDAD DE LOJA	14
2.7.1	Manejo de cuencas hidrográficas	14
2.7.2	Agua potable Loja	15
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
3.1	UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA ZONA DE ESTUDIO	17
3.2	MICROCUENCAS HIDROGRÁFICAS ABASTECEDORAS DE AGUA CRUDA.....	18
3.3	DETERMINACIÓN DE LA ESCORRENTÍA Y CAUDAL ECOLÓGICO	21
3.4	MODELAMIENTO GEOESPACIAL.....	22
3.5	METODOLOGÍA DEL MANUAL DE EVALUACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA	23
3.5.1	Establecimiento de objetivos y alcance.....	24
3.5.2	Contabilidad de la Huella Hídrica.....	24
3.5.3	Evaluación de la Sostenibilidad Ambiental	25
3.5.4	Evaluación de la sostenibilidad ambiental de la HH Azul	26
3.5.5	Evaluación de la sostenibilidad ambiental de la HH Gris	28

3.5.6	Formulación de respuestas.....	28
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
4.1	RECONOCIMIENTO DE LAS CAPTACIONES Y PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LOJA	29
4.2	DETERMINACIÓN DE PRECIPITACIONES ANUALES	32
4.3	ESTIMACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA AZUL	36
4.4	ESTIMACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA GRIS	38
4.4.1	HH Gris para el año 2017	38
4.4.2	HH Gris para el año 2018	39
4.4.3	HH Gris para el año 2019	39
4.5	SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL DE LA HUELLA HÍDRICA AZUL	40
4.6	SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL DE LA HUELLA HÍDRICA GRIS	44
4.7	PLANTEAMIENTO DE ESTRATEGIAS PARA REDUCCIÓN DE LA HH AZUL	49
4.7.1	Estrategias como ciudadanía.....	50
4.7.2	Estrategias como municipio.....	52
V.	CONCLUSIONES	54
VI.	RECOMENDACIONES	55
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
VIII .	ANEXOS	59

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Subcuenca de la provincia de Loja	18
Cuadro 2: Estaciones meteorológicas ubicadas en y cerca de la ciudad de Loja.	21
Cuadro 3: Huella Hídrica mensual (m ³) para los años 2017, 2018 y 2019.....	36
Cuadro 4: Huella Hídrica Azul para el año 2017	37
Cuadro 5: Huella Hídrica Azul para el año 2018.	37
Cuadro 6: Huella Hídrica Azul para el año 2019.	37
Cuadro 7: Huella Hídrica Gris para el periodo de estudio 2017 - 2019.	39
Cuadro 8: Escurrimiento natural, caudal ecológico y requerimiento ambiental de la cuenca del Río Zamora en (m ³).	41
Cuadro 9: Sostenibilidad ambiental de la HH Azul para el año 2017.	41
Cuadro 10: Sostenibilidad ambiental de la HH Azul para el año 2018.	42
Cuadro 11: Sostenibilidad ambiental de la HH Azul para el año 2019.	43
Cuadro 12. Escurrimiento natural, caudal ecológico y requerimiento ambiental de la cuenca del Río Malacatos (HH Gris).	45
Cuadro 13. Sostenibilidad ambiental de la HH Gris para el año 2017	46
Cuadro 14: Sostenibilidad ambiental de la HH Gris para el año 2018.	46
Cuadro 15. Sostenibilidad ambiental de la HH Gris para el año 2019.	47
Cuadro 16. Ahorro de agua en m ³ , suponiendo que el promedio de uso de inodoros es de 5 a 7 veces al día.	50
Cuadro 17. Desperdicio de agua en actividades cotidianas	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo Hidrológico.....	4
Figura 2. Características de una cuenca hidrográfica	5
Figura 3. Mapa base de las microcuencas del río Pita y río Machángara.....	12
Figura 4. Ejemplo Método de Thiessen.....	13
Figura 5. Ejemplo del método racional.....	14
Figura 6. Esquema de tratamiento de Agua Potable Loja.....	16
Figura 8. Cuencas de la provincia de Loja.....	19
Figura 9. Sistemas hidrográficos de Loja y microcuencas abastecedoras.....	20
Figura 10. Fases de la evaluación de HH	23
Figura 11. Rangos de Evaluación de los índices de escasez hídrica.....	27
Figura 12. Comparación entre la HH Azul y la disponibilidad de agua azul en un año.....	27
Figura 13. Captación Jipiro 1 – Jipiro 2	29
Figura 14. Captación San Simón	30
Figura 15. Captación el Carmen.....	30
Figura 16. Planta de agua potable Pucará.....	31
Figura 17. Planta de agua potable Chontacruz.....	31
Figura 18. Planta de agua potable Carigán.....	31
Figura 19. Mapa de Precipitaciones de la cuenca del río Zamora.....	33
Figura 20. Mapa de Precipitaciones de la cuenca del río Malacatos	34
Figura 21. Mapa base de las cuencas del río Zamora y Malacatos.....	35
Figura 22: Huella Hídrica Azul de la ciudad de Loja para los años 2017, 2018 y 2019	38
Figura 23: Huella Hídrica Gris de la ciudad de Loja de los años 2017, 2018 y 2019	40
Figura 24. Sostenibilidad de la HH Azul de año 2017.....	43
Figura 25. Sostenibilidad de la HH Azul de año 2018.....	44
Figura 26. Sostenibilidad de la HH Azul de año 2019.....	44
Figura 27: Sostenibilidad de la HH Gris de año 2017	48
Figura 28: Sostenibilidad de la HH Gris de año 2018.....	48
Figura 29: Sostenibilidad de la HH Gris de año 2019.....	49

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1. PRECIPITACIÓN MEDIA.....	13
ECUACIÓN 2. REQUERIMIENTO NATURAL.....	21
ECUACIÓN 3. DISPONIBILIDAD REAL DE AGUA.....	22
ECUACIÓN 4. CÁLCULO DEL CAUDAL POR EL MÉTODO RACIONAL.....	22
ECUACIÓN 5. ECUACIÓN DE KRIGING.....	23
ECUACIÓN 6. CÁLCULO DE LA HHAZUL.....	24
ECUACIÓN 7. CÁLCULO DE LA HHGRIS.....	25
ECUACIÓN 8. CÁLCULO DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA HHAZUL.....	26
ECUACIÓN 9. ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN HÍDRICA.....	28

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Reforestación con pinos en la microcuenca el Carmen	59
Anexo 2. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce	60
Anexo 3. Tanques de floculación Planta de Agua Potable Carigán	63
Anexo 4. Visita Técnica Planta de Agua Potable Carigán	64
Anexo 5. Dosificador de polímeros Planta de Agua Potable Chontacruz	64
Anexo 6. Trámite para obtención de datos.	65
Anexo 7. Respuesta a la solicitud de los datos por parte del municipio de Loja.	66
Anexo 8. Estado de la PTAR de Loja	67

RESUMEN

El agua es recurso elemental para las poblaciones, pero el aumento demográfico de las mismas conlleva a un mayor consumo del agua en el desarrollo de actividades cotidianas al igual que el desarrollo de muchas actividades productivas llega a ser un derecho que exige servicios de saneamiento como elemento innegable para la dignidad humana y vida privada de cada familia, por este motivo es necesario cuidar, proteger la calidad y suministro de este recurso vital para todo ser vivo. Es por esta razón que se debe estudiar la Huella Hídrica (HH) como un indicador de sostenibilidad ambiental del consumo de agua por parte de una población. Para la ciudad de Loja como un referente en temas de cuidado ecológico a nivel de Ecuador, el análisis de este estudio de investigación se centró en estimar solamente la sostenibilidad ambiental de la Huella Hídrica Directa Azul y Gris que busca, determinar, evaluar, analizar y aportar con soluciones con respecto al recurso hídrico, frente a los graves efectos de la densidad poblacional, contaminación del agua, calentamiento global y la distribución irregular del recurso agua. El objetivo general de investigación fue Evaluar la sostenibilidad ambiental de la HH directa de la ciudad de Loja para el periodo 2017 – 2019 a fin de contribuir a la reducción del uso de agua a nivel de estrategias municipales y ciudadanas, así mismo este estudio está enfocado a la Huella Hídrica Directa como uno de los indicadores de sostenibilidad los parámetros fueron estimados, graficados por medio de softwares ambientales y datos institucionales entregados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) y el Municipio de Loja; adicional, se utilizó la metodología de Water Footprint Network (WFN), que permite analizar la sostenibilidad de la Huella Hídrica azul y gris del uso de agua en la ciudad de Loja, a nivel de subcuenca hidrográfica para el periodo 2017-2019. El análisis de Sostenibilidad Ambiental y en conjuntos con las variables cuantificadas de la HH Azul y Gris de la ciudad, permitirá tomar decisiones a las respectivas autoridades y ciudadanos con la finalidad de reducir la HH de la ciudad evaluada; los impactos positivos que se pueden generar permitirán cuidar y aprovechar correctamente el agua a nivel de ciudad o disminuir el nivel de agua en un inodoro. Todas estas acciones permitirán un cambio en el subconsciente de la persona.

Palabras clave: Loja, sostenibilidad ambiental, Huella Hídrica, agua virtual, cuencas hidrográficas.

ABSTRACT

Water is an elementary resource for populations, but the demographic increase leads to greater water consumption in the development of daily activities as well as the development of many productive activities that becomes a right that requires sanitation services as an undeniable element for human dignity and private life of each family. For that reason it is necessary to care for, protect the quality and supply of this vital resource for all living beings. It is for this reason the water footprint should be studied as an indicator of environmental sustainability of water consumption of the population. For the city of Loja as a reference in terms of ecological care in Ecuador, the analysis of this research study will focus on estimating only the environmental sustainability of the direct water footprint that seeks to determine, evaluate, analyse and provide solutions with respect to water resources, in the face of the serious effects of population density, water pollution, global warming and the irregular distribution of water resources. The general research objective was to evaluate the environmental sustainability of the direct water footprint of the city of Loja for the period 2017 - 2019 in order to contribute to the reduction of water use at the level of municipal and citizen strategies, likewise this study is focused on the Direct Water Footprint as one of the sustainability indicators. The parameters were estimated and plotted using environmental software and institutional data provided by the National Institute of Meteorology and Hydrology (INAMHI) and the Municipality of Loja; in addition, the Water Footprint Network (WFN) methodology was used to analyse the sustainability of the blue and grey water footprint in water use in the city of Loja, at the sub-basin level for the period 2017-2019. The sustainability analysis in conjunction with the quantified variables of the Blue and Grey WF of the city, will allow the respective authorities and citizens to make decisions in order to reduce the WF of the city: the positive impacts generated will allow to take a better care and make a correct use of water at the city level and reduce the level of water in a toilet. All these actions will allow a change in the subconscious of the person.

Keywords: Loja, environmental sustainability, water footprint, virtual water, watersheds.

I. INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de agua dulce a nivel global cada vez va en descenso, principalmente por diversos factores los cuales disminuyen la cantidad teórica que podría ser consumida por una población, entre estos factores tenemos la contaminación de los cuerpos hídricos, el crecimiento de la población, calentamiento global y la distribución irregular del recurso. La Huella Hídrica nace con la necesidad de ser un indicador del consumo y uso del recurso agua (Hoekstra *et al.* 2011).

La Huella Hídrica es uno de los tres indicadores de sostenibilidad ambiental junto con la Huella de Carbono y la Huella Ecológica, esta indica el consumo y la contaminación de los cuerpos de agua dulce, tanto directa e indirectamente por las diferentes actividades realizadas por los humanos. Este concepto fue introducido en el año 2002 por Arjen Hoekstra y difundido por la Water Footprint Network (WFN).

El Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021, menciona que el Ecuador tiene problemas de contaminación en sus recursos hídricos ya sea por vertimiento de las aguas residuales y en especial por los efectos de extracción de recursos naturales no renovables, a esto también se debe agregar el mal uso del recurso hídrico por parte de la mayoría de la población, es por eso, que es necesaria la generación de información sobre el estado de las fuentes hídricas, los balances hídricos, el control de la calidad; así como fortalecer el trabajo entre el Gobierno Central y los Gobiernos Autónomos Descentralizados, para un manejo sustentable del agua, en la actual Constitución del Ecuador debe ser tratada como un derecho (Gobierno Nacional del Ecuador 2017).

La importancia de la Huella Hídrica (HH), radica en la medición del volumen total de agua dulce consumido por parte de un sector, empresa, institución, ciudad, país etc. para plantear soluciones para la conservación del recurso agua. Al ser la ciudad de Loja un referente de ciudad ecológica es importante tomar en cuenta los impactos ocasionados hacia los sistemas hídricos por parte de la población y mediante la evaluación de la sostenibilidad de la HH Azul y HH Gris se podrán desarrollar estrategias para una mejor gestión adecuada de este recurso.

Para realizar el cálculo de la HH se encuentran dos metodologías la primera propuesta por Hoesktra en el Manual de la Water Footprint (WFP), el cual consta de cuatro fases para su estimación y clasifica al recurso hídrico por colores; azul, verde y gris, tomando en cuenta los impactos que se producen sobre el medio y la segunda mediante la ISO 14046 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 (Fundacion Chile [FCH] y Agualimpia 2016).

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 (Garrido y Aldaya 2015).

Este estudio se centrará en estimar la sostenibilidad ambiental para la ciudad de Loja - Ecuador a partir de la estimación del cálculo de la HH que realizó el Municipio de Loja, el cual da como valor base de HH total de 86 270 736 metros cúbicos. Para el análisis de la sostenibilidad se utilizará la metodología propuesta en el Manual de la WFN debido a que se tomaran en cuenta la presión que se tiene sobre las microcuencas de donde se abastece y a las cuales afecta la ciudad.

El crecimiento poblacional a nivel global va en aumento lo cual implica mayor presión hacia los recursos naturales, con el fin de alcanzar la demanda de estos hacia la población, el recurso hídrico es uno de los más usados por parte de la urbe para poder cubrir necesidades

básicas, pero a su vez no existe un adecuado uso en cuanto al consumo y manejo del agua, la cual se desperdicia en los diferentes usos, procesos y servicios.

El principal problema radica debido a que sin una evaluación de esta sostenibilidad ambiental no podemos estimar si el valor de la HH es alta, media o baja con respecto a las cuencas o micro cuencas que abastecen a la población de estudio.

La mayoría de los estudios realizados en Ecuador hasta el 2017, con la metodología del manual de la WFP para el cálculo de la HH, no toman en cuenta la Fase tres, que es la Evaluación de la Sostenibilidad de la HH, este análisis permite pasar a la fase final la Formulación de respuestas.

De acuerdo con el problema expuesto, en el presente estudio se propone como objetivo general:

- Evaluar la sostenibilidad ambiental de la Huella Hídrica directa de la ciudad de Loja para el periodo 2017- 2019, a fin de contribuir a la reducción del uso de agua.

Así mismo, los objetivos específicos:

- Realizar el modelamiento geoespacial de la Huella Hídrica mediante la esorrentía y caudal de la cuenca del río Zamora.
- Analizar la sostenibilidad ambiental del uso de agua en la ciudad de Loja respecto a la Huella Hídrica Gris y Azul para el periodo 2017-2019, utilizando la metodología de la Water Footprint Network (WFN)
- Plantear y proyectar estrategias para la reducción de la Huella Hídrica Gris y Azul dentro de la ciudad de Loja para los siguientes años

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 DEFINICIÓN DE AGUA Y CICLO HIDROLÓGICO

El agua es un recurso vital básico para el desarrollo de las actividades y desarrollo de todos los seres vivos, a la vez cumple un ciclo biogeoquímico de gran importancia denominado “ciclo hidrológico”, que no es más que el movimiento del agua dentro de las cuencas hidrográficas (Loera 2002).

El ciclo hidrológico Figura 1, se desarrolla en los tres estratos del sistema terrestre. La atmósfera en donde se encuentra el agua principalmente en forma gaseosa, en la litosfera y la hidrósfera donde el agua se encuentra en su mayor parte en forma líquida y sólida. Se cree que el ciclo Hidrológico empieza en los mares y océanos debido a que estos ocupan 70% de la superficie del planeta, ya que la evaporación proveniente de ellos es mucho más alta que la que proviene de la superficie terrestre.

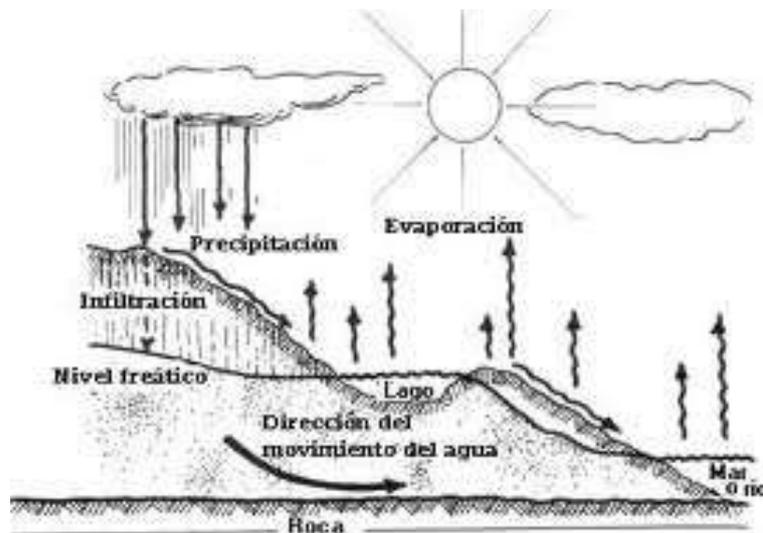


Figura 1. Ciclo Hidrológico

Fuente: Loera (2002).

2.1.1 Cuenca hidrográfica

Una cuenca hidrográfica, se la define como el territorio drenado por un único sistema de drenaje natural en el cual interactúan diversos factores económicos, sociales y ambientales con un interés común como el recurso hídrico. El agua que llega a la cuenca proviene de precipitaciones que forma la acumulación que se convierte en el cauce principal que desemboca en los mares, océanos y lagos (Zaldívar 2017).

La cuenca funciona como un colector que recibe las precipitaciones y las convierte en escurrimiento, en esta conversión existen pérdidas de agua, que están en función de las características fisiográficas y a las condiciones climatológicas de la misma. Una cuenca hidrográfica presenta algunas características las cuales se muestran en la Figura 2 (Loera 2002).



Figura 2. Características de una cuenca hidrográfica

Fuente: Loera (2002)

Una cuenca hidrográfica contiene varios ecosistemas: lagos, bosques, humedales, pastizales, terrenos de cultivo e inclusive ciudades, que a pesar de su aparente independencia lo que le hagamos a uno de ellos influirá directamente en el otro, pues estos ecosistemas son interdependientes (Zarate 2011).

2.1.2 Precipitación

Se denomina precipitación, al agua que procedente de la atmósfera la cual está en estado líquida o sólida y se deposita sobre la superficie terrestre. La precipitación puede presentarse en forma de lluvia, llovizna, granizo, neblina, nieve, rocío, entre otros. Algunos autores como Padrón, toma como precipitación solamente a la lluvia y llovizna que representa alrededor del 80 % de las precipitaciones totales (Padrón 2013).

La información de la magnitud de las precipitaciones es analizada en función del tiempo a esta se la denomina como “intensidad” que no es más que la cantidad de agua que cae por unidad de tiempo en un lugar determinado (Ramón 2015).

2.1.3 Escorrentía

La escorrentía se refiere a la lámina de agua que circula sobre la superficie de la tierra, se la puede clasificar de dos tipos: Escorrentía por exceso de infiltración, la cual ocurre cuando los suelos no están saturados, en donde la cubierta del suelo no puede absorber el agua que se produce por precipitaciones; y la Escorrentía por exceso de saturación, la cual se produce cuando el suelo se encuentra saturado y no queda espacios para que el agua logre infiltrar (Aybar 2016).

2.1.4 Caudal ecológico

Se define caudal ecológico a la cantidad de agua necesaria para la preservación de la biodiversidad de un río y la cuenca hidrográfica a la cual pertenece. En la actualidad existen gran cantidad de metodologías las cuales se basan en indicadores biológicos e indicadores hidráulicos, es por esto que el caudal ecológico se ha convertido en un aspecto de gran relevancia dentro de los estudios hidrológicos y de la calidad de las aguas algunas metodologías proponen un 10% de la disponibilidad de la cuenca como caudal ecológico (Agirre y Bikuña, 2001). En el Ecuador, la contaminación de ríos no permite el cálculo exacto del caudal ecológico el cual no puede basarse solamente en los parámetros hidrológicos, pues la diversidad biológica es muy extensa y por lo tanto existe una complejidad de los ecosistemas acuáticos. Por lo tanto, según la metodología de la HH de la WFP, propone 20% de la disponibilidad hídrica como caudal ecológico.

2.2 ESCASEZ DE AGUA

El agua es un recurso renovable pero cada vez existe escasez en ciertos lugares, lo cual causa estragos en la vida de los pobladores en diferentes regiones del mundo. Hablamos de escasez de agua cuando la demanda supera el suministro de agua para un territorio, en breves términos existe escases de agua cuando el consumo por parte de la población es mayor con respecto al suministro disponible (Guamán 2018).

Una variable para la escasez del agua es el crecimiento poblacional, se calcula que para el año 2050 se alcanzará un aproximado de 9 mil millones de habitantes, este crecimiento poblacional es la principal limitante en el ciclo hidrológico del agua, debido a que a mayor número de consumidores menor es la capacidad del sistema hídrico en recircular el agua, esto se debe a que es muy alto el estrés hídrico el cual es directamente proporcional a la población que habita en determinada región (Agua Ecuador 2018).

En el Ecuador existen zonas donde la única fuente de agua accesible para abastecer a las poblaciones, son las aguas subterráneas, lo cual ocurre en cuencas que presentan déficit superficial del recurso. Por ejemplo la ciudad de Quito – Ecuador, no logra abastecer su población con las cuencas hidrográficas cercanas; es por eso que se ha visto en la necesidad de exportar esa agua de cuencas aledañas (Empresa Pública Metropolitana de Agua y Saneamiento de Quito [EPMAPS] 2016).

2.3 DERECHO AL AGUA

El derecho humano al agua es un derecho internacional, las obligaciones por parte de los estados exigen obligaciones que garanticen a las personas una cantidad suficiente de agua potable para el uso personal, como el saneamiento, aseo, consumo, lavado de ropa y preparación de alimentos. Los derechos del agua también exigen que se de servicios de saneamiento adecuados como un elemento fundamental de la dignidad humana y vida privada, pero también que se proteja la calidad y suministro de este vital recurso (Organización Mundail de Salud [OMS] 2011).

En noviembre de 2002, el Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales aprobó su Observación general N° 15 sobre el derecho al agua, como el derecho de todos a disponer de agua suficiente, salubre, aceptable, accesible y asequible para el uso personal y domésticos. Aunque en el Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales no se menciona expresamente el derecho al agua, el Comité subrayó que este forma parte del derecho a un nivel de vida adecuado, al igual que los derechos a disponer de alimentación, de una vivienda y de vestido adecuados. El Comité también subrayó que el derecho al agua está indisolublemente asociado al derecho a la salud, a una vivienda y una alimentación adecuadas (OMS 2011).

Cuando hablamos del derecho humano al agua, no se refiere a cualquier tipo de uso que se le pueda dar o cualquier cantidad que se pueda consumir, sino de las cantidades mínimas de agua que garanticen una vida sana y digna, estas cantidades mínimas deben ser accesibles para todas las personas sea donde sea que se encuentren.

2.4 AGUA VIRTUAL

El concepto de Agua Virtual se encuentra relacionado con el concepto de HH, debido a que el agua que se necesita para la producción de un bien o un servicio se la denomina “agua virtual”, en un inicio este término se lo utilizaba para referirse al agua que se utilizaba en la producción de alimentos, pero paulatinamente se lo ha añadido a la producción de los bienes y servicios que necesitan del uso del agua en una región (Llamas 2006).

El comercio del agua virtual produce un importante ahorro de agua para los países importadores y mayor uso del recurso en países exportadores. Por ejemplo, cuando un país importa un producto no solo está importando ese bien o servicio si no que está importando el agua virtual que se utilizó para poder elaborarlo, mientras que, el país exportador está enviando el agua teórica que utilizaron de sus fuentes hídricas (Pengue 2015).

La diferencia del agua virtual con la HH, se basa a las implicaciones conceptuales y las metodologías para sus cálculos, el agua virtual se lo asume como un indicador del uso de agua para la “producción” de un producto, un bien o un servicio, mientras que, la HH es utilizado como un indicador de requerimientos de agua para “consumo” de un producto, un bien o un servicio por parte de una población (Velázquez 2010).

2.5 HUELLA HÍDRICA, HUELLA HÍDRICA DIRECTA Y HUELLA HÍDRICA INDIRECTA

Según la WFP la HH es un indicador que permite medir el uso de agua dulce, abarca dos tipos: la directa relacionada al consumo o contaminación por acciones propias y la indirecta que se refiere al volumen de agua incorporada o contaminada en la cadena de producción de un bien, servicio o producto (Hoekstra *et al.* 2011).

La HH se puede estudiar en dos fases la primera la Huella Hídrica Directa que es el consumo del agua que lo podemos apreciar directamente en el uso personal, de limpieza, uso en servicios higiénicos, lavar platos, regar, cocinar, para la entrada a un proceso productivo beberla, etc. Es decir, es al agua que la ocupamos directamente de la cuenca o microcuenca (Castillo 2016).

Por otra parte la Huella Hídrica Indirecta es aquella que no la podemos apreciar directamente, pero el volumen de agua que se utilizó fue necesario para poder fabricar un producto o un servicio. Como por ejemplo las prendas de vestir que usamos a diario necesitaron de una cantidad muy elevada para su producción, fabricación y distribución. Lo mismo pasa con los alimentos, por ejemplo, para que un kilo de carne llegue a nuestra mesa se necesitó de 15 415 litros de agua, este volumen se reparte en el agua que se necesitó para alimentar a la res, para el proceso de faenamiento y finalmente para su empaquetado y distribución (Mekonnen y Hoekstra 2012).

Para calcular con mayor precisión el agua dulce consumida, además de la HH Indirecta y HH Directa, se analiza las tres variables siguientes:

2.5.1 Huella Hídrica Azul

La HH Azul es el volumen total de agua que es consumida directamente desde las cuencas que abastecen el consumo de la población desde las aguas de superficiales y subterráneas, la cual es incorporada a un bien, servicio o un producto, pero no se devuelve a la cuenca de la cual fue extraída (Vázquez y Buenfil 2012).

2.5.2 Huella Hídrica Gris

La HH Gris es el volumen total de agua dulce contaminada por los procesos antropogénicos en la producción de bienes, servicios o productos. Es un indicador del agua dulce que ha sido contaminada en la cadena de suministro para la elaboración o la fabricación de un producto, el agua utilizada para asimilar y depurar los contaminantes hasta que llegue a un punto donde cumpla los niveles de la norma (Castillo 2016).

El cálculo de la HH Gris se efectúa tomando en cuenta la legislación ambiental de cada país respecto a descarga de afluentes, mediante los límites máximos permisibles que se pueden arrojar a un cuerpo de agua. El manual de la HH de Hoekstra propone como norma el factor de dilución que va entre 10 a 50 veces el flujo de aguas contaminadas (Hoekstra *et al.* 2011).

2.5.3 Huella Hídrica Verde

La HH Verde es el volumen de agua por precipitación que cae sobre la tierra y no se suma a los acuíferos, sin embargo, se mantiene en la superficie o en la vegetación, esta regresa a la atmósfera mediante la evaporación y la transpiración (evotranspiración). El agua verde está vinculada con los cultivos, debido a que la mayor parte de agua que cae por precipitación es transpirada por la vegetación (Osorio 2013).

La HH Verde está relacionada al volumen total de agua lluvia consumida para la elaboración de un proceso productivo, sobre todo, dentro de los procesos agrícolas o forestales, en donde existe la evotranspiración del agua de lluvia, también es el agua que se incorpora en cosechas o la plantación arbórea (Hoekstra *et al.* 2011).

2.5.4 Respuestas a la Huella Hídrica

La formulación de las respuestas se debe realizar después de la evaluación de la sostenibilidad, debido a que se tienen análisis aproximados del consumo y uso que está teniendo el recurso hídrico en la población estudiada. Las formulaciones de respuestas pueden incluir planes, programas y proyectos a corto, mediano y largo plazo con el fin de que los diferentes sectores disminuyan su HH (Hoekstra *et al.* 2011).

2.6 MODELAMIENTO GEOESPACIAL MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICOS (SIG)

El análisis mediante el modelamiento espacial es una técnica de construcción de modelos para representar la realidad de un área de estudio, mediante el uso de datos espaciales georreferenciados. Las principales funciones de un SIG son: análisis de superficies, distribuciones espaciales, reclasificaciones espaciales, superposición e interpolación (Leal *et al.* 2010).

Por ejemplo, en la Figura 3 se observa el modelamiento geoespacial de la escorrentía y caudal mediante el SIG para el análisis de la HH Azul y HH Gris de las microcuencas del río Pita (color marrón) y río Machángara (color gris) ubicadas en la provincia de Pichincha - Ecuador (Guamán 2018).

ZONA 17S **MAPA BASE DE LA MICROCUENCAS PITA Y MACHANGARA**

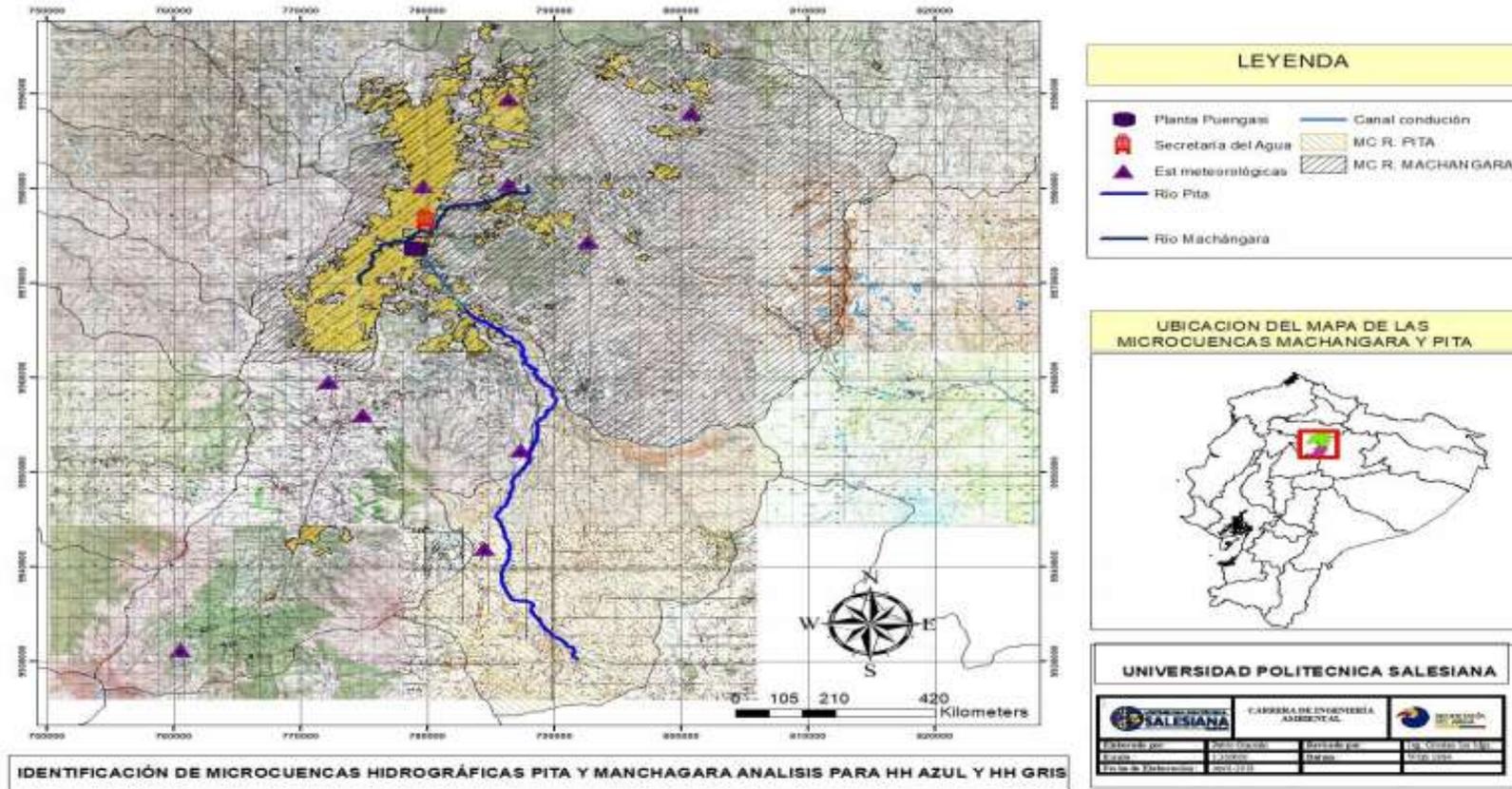


Figura 3. Mapa base de las microcuencas del río Pita y río Machángara.

Fuente: Guamán (2018).

2.6.1 Método de los Polígonos de Thiessen

El método de Polígonos de Thiessen Figura 4, identifica el área de influencia de cada pluviómetro, para lo cual se requiere saber la ubicación de cada estación meteorológica esté o no dentro de la cuenca. Luego se forman triángulos entre las estaciones que se encuentran cercanas, las cuales se unen con segmentos rectos sin que los mismos se corten entre sí y tratando que sean los más equiláteros posibles.

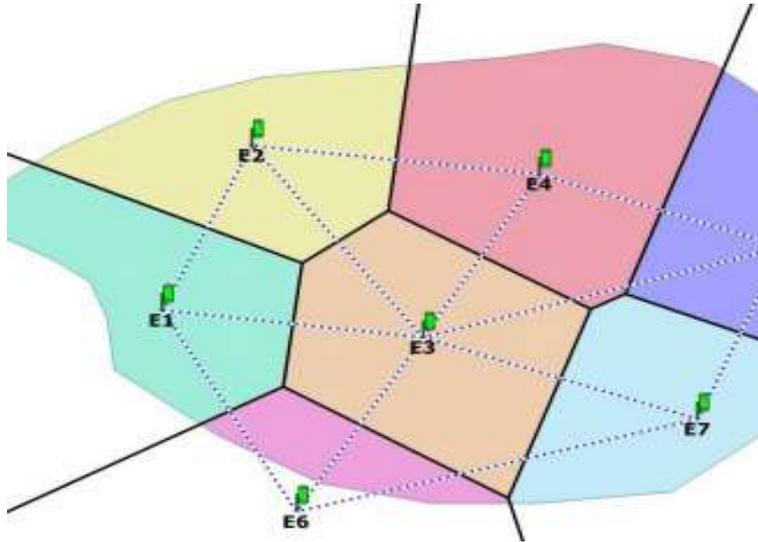


Figura 4. Ejemplo Método de Thiessen

Fuente: Aybar (2016).

Entonces la precipitación media será (Ecuación 1):

Ecuación 1. Precipitación media

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i \cdot A_i)}{A} = \sum_{i=1}^n (P_i \cdot \frac{A_i}{A})$$

Siendo:

\bar{P} : precipitación media sobre la cuenca

P_i : precipitación observada en la estación i

A_i : área del polígono que corresponde a la estación i

A : área total de la cuenca

n : número de estaciones pluviométricas.

2.6.2 Cálculo de esorrentía método racional

Este método se utiliza para evaluar el caudal que produce una precipitación como se observa en la Figura 5. Se necesita conocer los valores: intensidad de precipitación “I”, área de la cuenca “A” y el coeficiente de lluvia “C”. En la mayoría de bibliografía hidrológica se pueden encontrar los valores aproximados para este coeficiente (Sánchez 2016).

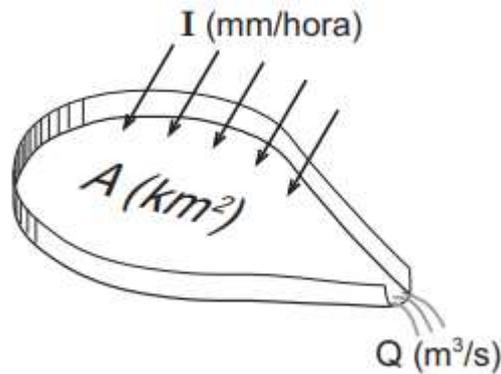


Figura 5. Ejemplo del método racional.

Fuente: Sánchez (2016).

2.7 SITUACIÓN ACTUAL DE LAS MICROCUENCAS DE LA CIUDAD DE LOJA

El caudal necesario para el consumo de agua de la ciudad de Loja se abastece de ocho captaciones de agua cruda. Siendo las siguientes microcuencas: El Carmen, San Simón, Jipiro I y Jipiro II, las cuales abastecen a la planta de tratamiento de Agua Potable Pucará, en tanto, Tambo Grande, Pizarros, Shucos - Planta Carigan y Curitroje abastecen a la Planta Chontacruz (Flores y Cabrera 2012).

2.7.1 Manejo de cuencas hidrográficas

El manejo de cuencas hidrográficas ha evolucionado en los últimos años, anteriormente el manejo y planificación de estas solo tomaba el factor hídrico. Sin embargo, el concepto de manejo de cuencas va más allá considerando las características biogeofísicas, que forman los sistemas hidrológicos y ecológicos, mismos que, necesitan de una planificación integral, para así evitar el deterioro ambiental (Zarate 2011).

El Ilustre Municipio de Loja es la institución encargada del manejo de las microcuencas a través de la Unidad Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (UMAPAL). El cantón tiene 33 fuentes abastecedoras, las cuales proveen del líquido vital para la ciudad y sus cabeceras parroquiales. De las cuales Shucos, Jipiro, Mendieta, El Carmen, San Simón, Curitroje, están reguladas a través de la “Ordenanza para la protección de las microcuencas y otras áreas prioritarias para la conservación del cantón Loja”.

2.7.2 Agua potable Loja

Posteriormente de la “Ordenanza para la protección de las microcuencas y otras áreas prioritarias para la conservación del cantón Loja” en el año 2007, se expidió el “Reglamento de Aplicación de la Ordenanza para la Protección de las Microcuencas y otras Áreas Prioritarias para la Conservación del Cantón Loja”, mediante el cual se creó la tasa ambiental que se recauda en la planilla de agua potable, los recursos obtenidos son destinados únicamente para la compra, manejo, vigilancia, recuperación de cobertura vegetal natural, compensación por servicios ambientales, conservación y protección de los bienes inmuebles declarados como reservas en las partes altas de las microcuencas abastecedoras (Zarate 2011).

La ciudad de Loja cuenta con el proyecto denominado “Plan Maestro de Agua Potable”, el cual tiene el propósito de mejorar la dotación y calidad del agua potable, además del mejoramiento y ampliación de las redes de los sistemas, con el fin que se llegue a toda la ciudadanía (Gobierno Autónomo Descentralizado de Loja [GADDL] 2016).

La ciudad cuenta con dos plantas de tratamiento de agua potable funcionales, que se han diseñado para una población futura de 341 027 habitantes. Para el cálculo se ha considerado una dotación de 24 lt./hab./día y el índice de crecimiento poblacional de un 4.17 %, establecido en el último censo poblacional de 2010 (GADDL 2016)

En la Figura 6 se observa el esquema de tratamiento que recibe el agua cruda obtenida de las 8 captaciones y tratada en las tres plantas de tratamiento de Agua Potable.

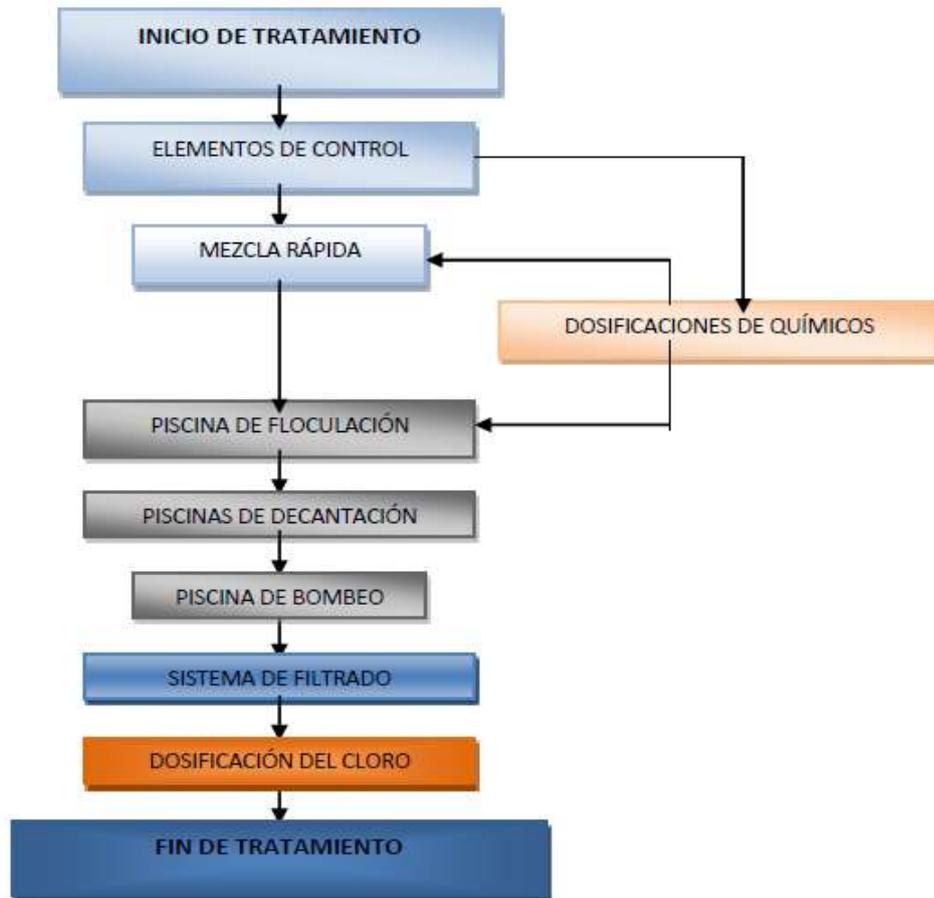


Figura 6. Esquema de tratamiento de Agua Potable Loja.

Fuente: Sánchez (2016).

Para realizar el análisis de la sostenibilidad Ambiental de la HH de la ciudad de Loja – Ecuador, se basó en la metodología propuesta en el manual de evaluación de la HH de, la cual consta de cuatro fases, para ello estudiaremos cada una de las 4 fases de este manual.

En el apartado 3.5, se detallan las cuatro fases del Manual de la WFP.

3.2 MICROCUENCAS HIDROGRÁFICAS ABASTECEDORAS DE AGUA CRUDA

La ciudad de Loja pertenece a la subcuenca hidrográfica del río Zamora, la cual pertenece a la cuenca hidrográfica del río Santiago como lo muestra la Figura 8. En el cuadro 1 se puede apreciar la división de las cuencas y subcuencas con sus áreas expresadas en hectáreas.

Cuadro 1: Subcuenca de la provincia de Loja

CUENCA	SUBCUENCAS	ÁREA (ha)
Río Jubones	Río León	72941,37
	Río Uchucay	22583,15
	Río Ganacay	2746,71
Río Puyango	Río Luis	19114,02
	Río Yaguachi	38805,96
	Río Tamine	24911,29
	Q. Conventos	30036,21
	Q. Cazaderos	33028,23
Río Chira	Río Catamayo	416106,3
	Río Macará	183675,98
	Río Alamor	109671,84
Río Santiago	Río Zamora	63388,01

Fuente: Gobierno Provincial de Loja (2014).



Figura 8. Cuencas de la provincia de Loja.

Fuente: SNI (2014).

Alrededor del 98% de las microcuencas, abastecedoras de agua para Loja se encuentran en áreas protegidas, esto beneficia en el consumo para los ciudadanos, debido a que anteriormente en estas microcuencas se encontraban fincas ganaderas las cuales generaban problemas hacia los cauces. Estas fincas que sumando dan 3500 hectáreas de terreno y que se ubican río arriba de las captaciones El Carmen, Jipiro I y II, Pizarros y Shucos, fueron adquiridas con el fondo que se recauda por la tasa ambiental que se cobra en las planillas de agua potable, que van de 3 a 7 centavos de dólar por metro cúbico de consumo, además este va de acuerdo a las categorías como lo son comercial, industrial y residencial.

Las microcuencas luego de ser adquiridas fueron reforestadas Anexo 1 en mayor parte con fin de evitar erosión hacia los causes de agua

En la Figura 9 se observan las microcuencas Jipiro, Mendieta, El Carmen, San Simón, Namanda, Mónica y Curitroje abastecedoras de agua potable.

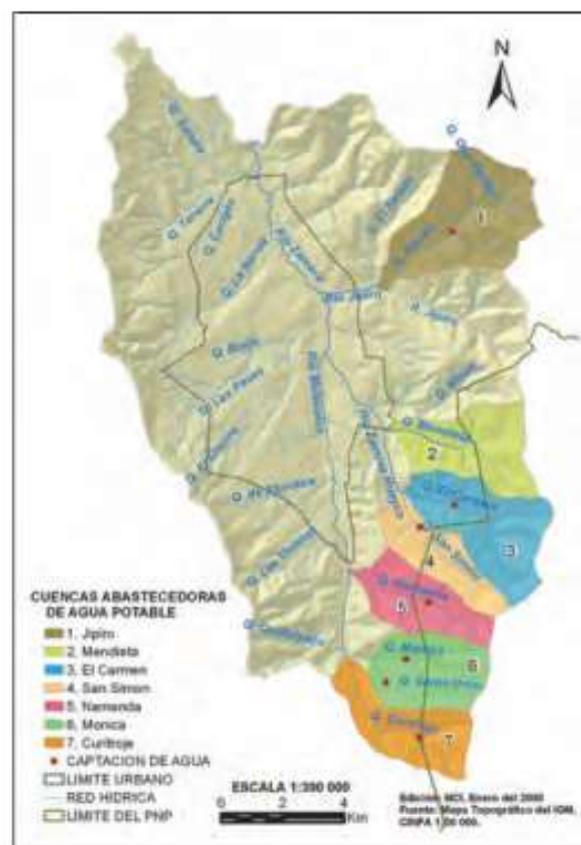


Figura 9. Sistemas hidrográficos de Loja y microcuencas abastecedoras.

Fuente: GEO LOJA (2016).

3.3 DETERMINACIÓN DE LA ESCORRENTÍA Y CAUDAL ECOLÓGICO

Según el Manual de la Water Footprint (2009), para los análisis de la sostenibilidad de la HH Azul y Gris, se realiza a nivel subcuencas hidrográfica, es decir, se toma en cuenta los ríos que abastecen a la ciudad de Loja. Para este análisis se recopiló los datos de precipitación de los años 2000 a 2015 (periodo de 15 años), debido a que las estaciones funcionaron solamente hasta ese año para la ciudad de Loja y sus alrededores, la información fue entregada por parte del INAMHI. En el Cuadro 2 se observan las estaciones meteorológicas que fueron utilizadas en este estudio.

Cuadro 2: Estaciones meteorológicas ubicadas en y cerca de la ciudad de 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

Fuente: INAMHI (2020).

El caudal ecológico o requerimiento natural, representa el valor que se necesita para poder preservar la calidad, cantidad y distribución de flujos de agua que son necesarios para mantener el funcionamiento y la vida de los ecosistemas (Castillo 2016). Para la obtención de este se aplicó la siguiente ecuación:

Ecuación 2. Requerimiento natural

$$\text{Requerimiento natural} = \text{Disponibilidad natural} * 80\%$$

Mediante el método de Thiessen, se calculó la precipitación media (disponibilidad natural) de la cuenca del río Zamora y escorrentía, ingresando los datos de las precipitaciones de las estaciones meteorológicas disponibles, los datos obtenidos para escorrentía se transforman a caudal que es disponible en la cuenca, a este se tomará en cuenta el caudal ecológico que

representa el 20 por ciento del caudal disponible total, es decir nuestra disponibilidad real de la cuenca para la evaluación de la sostenibilidad ambiental será el 80 por ciento de la esorrentía total. La disponibilidad real de agua se la calculará con la siguiente expresión matemática:

Ecuación 3. Disponibilidad real de agua

$$**Disponibilidad real de agua = Disponibilidad natural - Requerimiento natural**$$

Para el cálculo del caudal se utilizó la ecuación de cálculo de caudal por el método racional:

Ecuación 4. Cálculo del caudal por el método racional

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{3,6}, \text{ donde:}$$

Donde:

Q: caudal (m³/seg)

C: coeficiente de esorrentía

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

A: Área de la cuenca (km²).

3.4 MODELAMIENTO GEOESPACIAL

Para el modelamiento geoespacial de la HH para la ciudad Loja, se utiliza un Sistema de Información Geográfico, específicamente *ArcGis* en dos fases; la primera fase con la herramienta de interpolación (*kriging*), que es un método que permite generar nuevos valores en base a unos ya conocidos, para la precipitación, pudiendo así observar su distribución temática; En la segunda fase se cargan los datos georreferenciados como las microcuencas, las precipitaciones, caudales e imágenes satelitales con el fin de poder realizar el análisis temático de la HH mediante la ejecución de los mapas.

La ecuación que utiliza *ArcGis* para las predicciones es la siguiente:

Ecuación 5. Ecuación de Kriging

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

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 que se utilizarán están compuestos de *Shapefiles* de las cuencas de los ríos Zamora y Malacatos, *kriging* de precipitaciones, *shapefile* de la ciudad de Loja, polígonos de ríos, puntos de las estaciones meteorológicas, carta topográfica e imágenes de tipo *raster* de la ciudad de Loja.

Los mapas finales facilitan la visualización de las microcuencas que abastecen a la ciudad para el consumo de agua potable y las microcuencas que reciben el agua residual que produce Loja, así mismo, ayuda a visualizar las precipitaciones mensuales para representar los índices de escasez y contaminación.

3.5 METODOLOGÍA DEL MANUAL DE EVALUACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA

La metodología propuesta consta de 4 fases representadas en la figura 10:

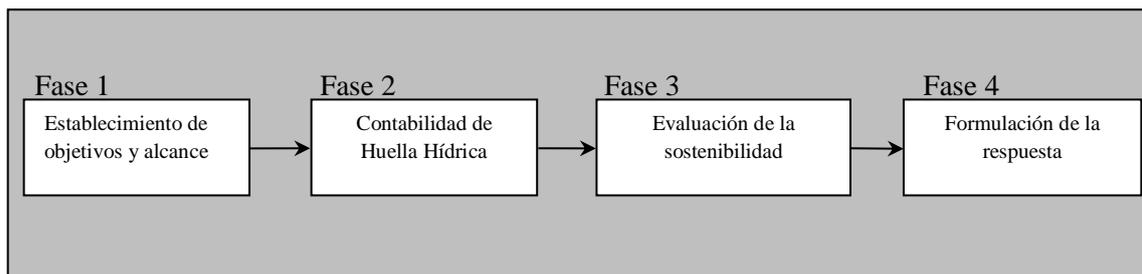


Figura 10. Fases de la evaluación de HH

Fuente: Tomado de Hoekstra *et al.* (2011).

3.5.1 Establecimiento de objetivos y alcance

Es el primer paso para el cálculo de la HH, en esta fase se identifica los límites y el alcance que se le dará al estudio, que huellas se van a medir y en donde se aplicara el estudio de la HH, con qué objetivo y para que se está evaluando la HH.

3.5.2 Contabilidad de la Huella Hídrica

Esta fase se la realiza mediante la aplicación de una serie de pasos, en los cuales se inicia con la recolección de los datos e información del área de estudio. Esta es la etapa que demanda más tiempo ya sea por datos que se obtienen tras mediciones propias o se las tome de fuente de datos debido a que deben ser fuentes confiables.

Posterior a la recolección de datos, se aplican algunas ecuaciones y programas para poder medir los diferentes tipos de huellas, finalmente la sumatoria de todas las HH da el resultado de la HH total.

3.5.2.1 Cálculo de la HH Azul

Para el cálculo de la HH Azul se utilizó la siguiente ecuación:

Ecuación 6. Cálculo de la HH Azul

$$HH\ Azul = Incorp + evap$$

En donde:

Incorp = Volumen de agua incorporada

Evap = Volumen de agua evaporada

Esta expresión contempla los volúmenes de agua que se incorpora y que se evaporan.

3.5.2.2 Cálculo de la HH Gris

La estimación de la Huella Hídrica gris para los años 2017, 2018 y 2019 se la realizó utilizando la siguiente ecuación:

Ecuación 7. Cálculo de la HH Gris

$$\text{Huella Gris} = \frac{(\text{Vol del efl} * \text{C del efl}) - (\text{Vol del aflu} * \text{C del aflu})}{\text{C max} - \text{C nat}}$$

En donde:

Vol del eflu = Volumen del efluente

C del eflu = Concentración del efluente en base al parámetro más representativo

Vol del aflu = Volumen del afluyente

C del afluyente = Concentración del afluyente al parámetro más representativo

C max

= Concentración máxima del parámetro utilizado para la cuantificación en el cuerpo receptor de a según la normativa ambiental.

C nat = Concentración natural libre de impactos antropogénicos del parámetro utilizado

En el Anexo 2 se observa los diferentes límites de descarga a un cuerpo de agua dulce en el Ecuador, estos se encuentran en cuadro 12 de la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua, Libro VI.

3.5.3 Evaluación de la Sostenibilidad Ambiental

Según el manual de la WFN, el análisis de la sostenibilidad ambiental se realizó mediante la HH Azul y Gris; para la HH Verde se estimó mediante el análisis del volumen de agua lluvia que se utiliza para riego de cultivos cuantificados para la evaluación, en este caso no se realizará el estudio de la sostenibilidad de la HH Verde ya que corresponde principalmente para el sector agrícola y su cálculo se lo realiza mediante el *software CROPWAT*, por lo que

su evaluación no es representativa comparado al volumen de agua usado en la generación HH Azul y HH Gris por la ciudad de Loja debido a que el sector agrícola se encuentra en las periferias de la misma.

La Evaluación de la Sostenibilidad Ambiental de la HH Azul y la HH Gris se analiza tomando en cuenta la disponibilidad real de la cuenca, con datos de las precipitaciones de al menos cinco estaciones hidrometeorológicas del INAMHI, en el caso de no obtener la data suficiente es necesario interpolar los datos mediante Sistemas de Información Geográfica o en su defecto utilizar información satelital dependiendo de las necesidades del estudio.

Mediante el método de *Thiessen* se calculó la precipitación media de la cuenca y esorrentía. La esorrentía se divide en la disponibilidad real de la cuenca que es el 80 por ciento de la esorrentía total, ya que el 20 por ciento restante es destinado como caudal ecológico. La disponibilidad real de la cuenca es utilizada para realizar la evaluación de la sostenibilidad ambiental.

3.5.4 Evaluación de la sostenibilidad ambiental de la HH Azul

La HH Azul es la sumatoria total de las HH cuantificadas de los diferentes sectores, la sostenibilidad se mide mediante la comparación entre la disponibilidad de agua azul mensual dada como disponibilidad real de la cuenca, esta permite identificar la escasez de agua y la sostenibilidad de agua, mediante la división de la HH Azul de la ciudad entre el volumen de agua real disponible.

Para el cálculo de la sostenibilidad de la HH Azul se aplicó la Ecuación 8

Ecuación 8. Cálculo de la sostenibilidad de la HH Azul

$$\text{Sostenibilidad de la HH Azul} = \frac{\Sigma \text{HH azul}}{\text{Disponibilidad Real}}$$

Con el valor obtenido en la ecuación; si la división es menor a 1, se concluye que el impacto ambiental no existe o no es significativo y por ende existe sostenibilidad, pero si es mayor a 2 la situación es de una severa escasez de agua azul (Figura 11).

Mayor a 2	Severa escasez de agua azul
Entre 1,5 y 2	Significativa escasez de agua azul
Entre 1 y 1,5	Moderada escasez de agua azul
Menor a 1	Muy baja escasez de agua azul

Figura 11. Rangos de Evaluación de los índices de escasez hídrica.

Fuente: Tomado y adaptado de Hoekstra et al. (2011).

Cuando en un determinado periodo, la HH Azul supera la disponibilidad de agua azul de la cuenca quiere decir que el requisito de caudal para preservar la diversidad en los recursos hídricos se ve afectada, en la Figura 12 se puede muestra como la HH Azul promedio en un año es comparada con la disponibilidad del agua azul durante todo el año.

También se observa que los requerimientos de la cuenca se infringen durante los meses de mayo a septiembre y el resto del mes es sostenible ambientalmente. La escasez de agua azul en una cuenca hidrográfica se la puede calcular tomando la relación entre la HH Azul y la disponibilidad de agua azul como se muestra en la Figura 12, debido a que la HH Azul como la disponibilidad de agua azul varían durante el año, la escasez de agua también fluctuará dentro del año. Por lo tanto, la escasez de agua azul se puede calcular entre la división de la HH Azul y el agua azul disponible mensualmente.

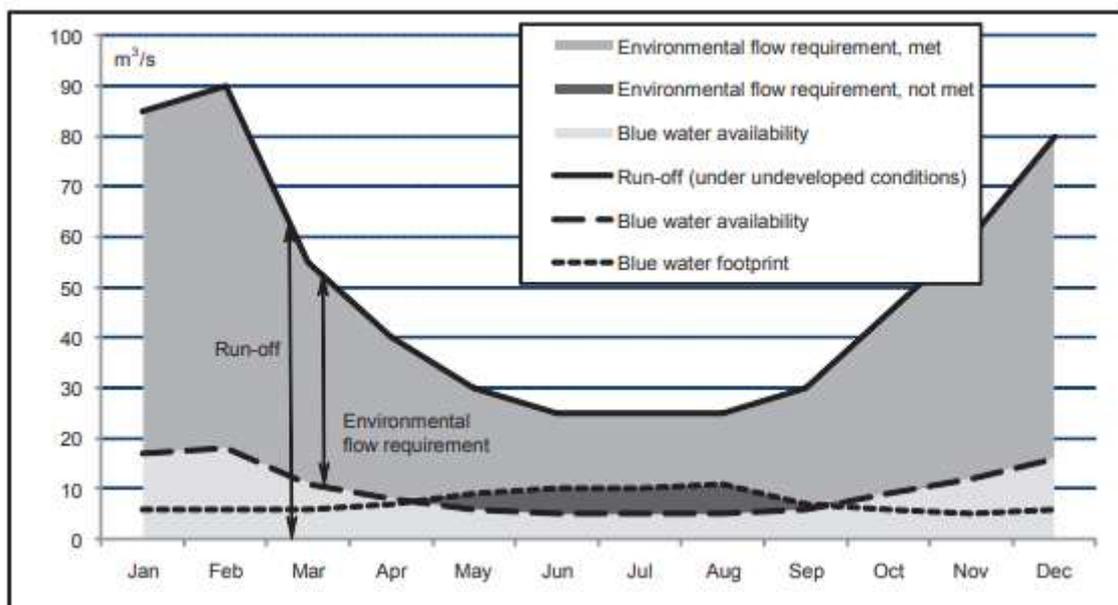


Figura 12. Comparación entre la HH Azul y la disponibilidad de agua azul en un año.

Fuente: Tomado de Hoekstra et al. (2011).

3.5.5 Evaluación de la sostenibilidad ambiental de la HH Gris

La sostenibilidad de la HH Gris, depende de la esorrentía disponible en la cuenca, para asimilar los residuos o el contaminante más representativo en la misma. La HH Gris en un periodo específico dentro de la cuenca afecta a la calidad del agua que recibe la contaminación antrópica, cuando los estándares de calidad ambiental sobrepasan la capacidad de asimilación de los contaminantes significa que no se es sostenible con la misma. Si los valores son superiores al 100% indican que las condiciones son insostenibles ambientalmente. Para medir el índice de contaminación hídrica por esta HH se utilizó la siguiente Ecuación 9.

Ecuación 9. Índice de contaminación hídrica

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

El índice de contaminación hídrica se lo obtiene mediante la división de la HH Gris promedio mensual, este se obtiene dividiendo el total de la HH Gris para cada mes (esto debido a que el cálculo no se lo puede realizar mensual) y la disponibilidad de volumen de agua natural real de la cuenca.

3.5.6 Formulación de respuestas

En esta fase se obtiene un producto al cuantificar la HH total de la ciudad, que requiere estrategias de tomadores de decisiones, técnicos y otros para poder definir estrategias orientadas a reducir la HH de la ciudad evaluada. Esta fase se la puede estimar únicamente después de haber realizado el análisis de la sostenibilidad. El estudio de la HH en el periodo 2017- 2019 dará una estadística del consumo mensual de agua en los años de estudio, así, se podrá formular acciones para los próximos años.

Las directrices formuladas se discutieron en conjunto con el Departamento de Gestión Ambiental del Ilustre Municipio de la Ciudad de Loja, con el fin de generar propuestas de reducción de la HH, dirigidas a la ciudadanía en general. Estás serán propuestas a la ciudadanía lojana y Municipio de Loja, para lograr una disminución de consumo del recurso hídrico para años posteriores a esta investigación.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RECONOCIMIENTO DE LAS CAPTACIONES Y PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LOJA

Como primeros resultados se tiene el reconocimiento de las captaciones y de las plantas de tratamiento de agua potable de Loja, en donde se constató que la calidad de agua para la ciudad es de buena procedencia gracias a los planes de manejo de las cuencas hidrográficas existentes. En las figuras 13,14 y 15 se observan las captaciones de Jipiro 1 - Jipiro 2, San Simón y El Carmen.



Figura 13. Captación Jipiro 1 – Jipiro 2



Figura 14. Captación San Simón



Figura 15. Captación el Carmen

En las figuras 16, 17 y 18 se observan las plantas de tratamiento de agua potable Pucara, Chontacruz y Carigan. En los Anexos 3, 4 y 5 se observa más registro fotográfico sobre el estado de las Plantas de Tratamiento de Agua Potable.



Figura 16. Planta de agua potable Pucará



Figura 17. Planta de agua potable Chontacruz.



Figura 18. Planta de agua potable Carigán.

4.2 DETERMINACIÓN DE PRECIPITACIONES ANUALES

La sostenibilidad ambiental empieza por el estudio de las precipitaciones anuales las cuales fueron entregadas por el INAMHI, estas precipitaciones fueron calculadas mediante el *Software ArcGis*, mediante la herramienta *Interpolation – kriging*. En la Figura 19, se observa el Mapa de Precipitaciones Anuales de la cuenca del Río Zamora, mientras en la Figura 20, se observa el Mapa de Precipitaciones Anuales de la cuenca del Río Malacatos.

En la Figura 21, se observa el mapa base de las cuencas del río Zamora y del río Malacatos, así como la ubicación de estas dentro de la provincia de Zamora Chinchipe y Loja, se observa también la ubicación de la ciudad de Loja y sus tres plantas de tratamiento de agua potable y la planta de tratamiento de agua residual.

MAPA DE PRECIPITACIONES ANUALES CUENCA RÍO ZAMORA

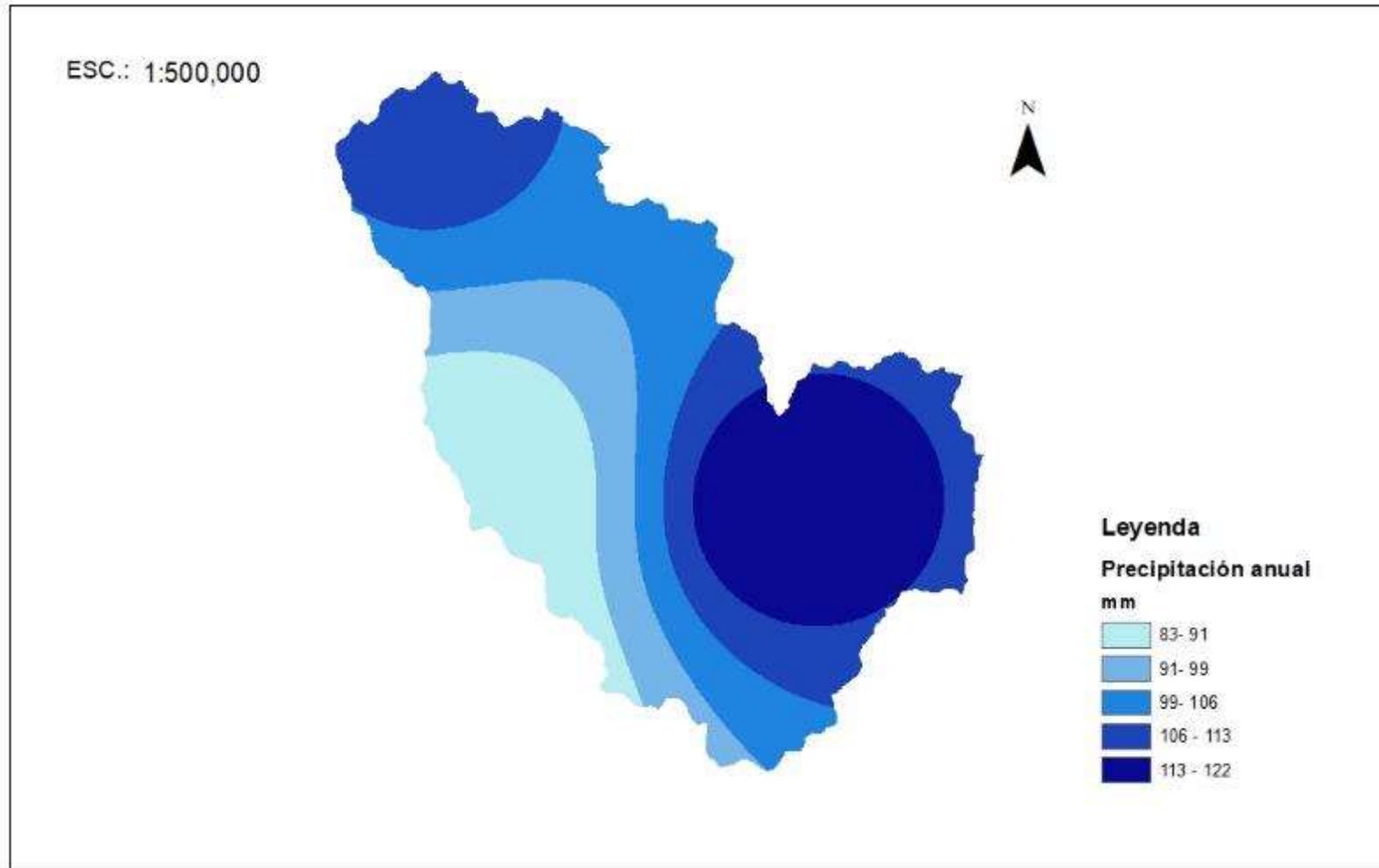


Figura 19. Mapa de Precipitaciones de la cuenca del río Zamora

MAPA DE PRECIPITACIONES ANUALES CUENCA DEL RIO MALACATOS

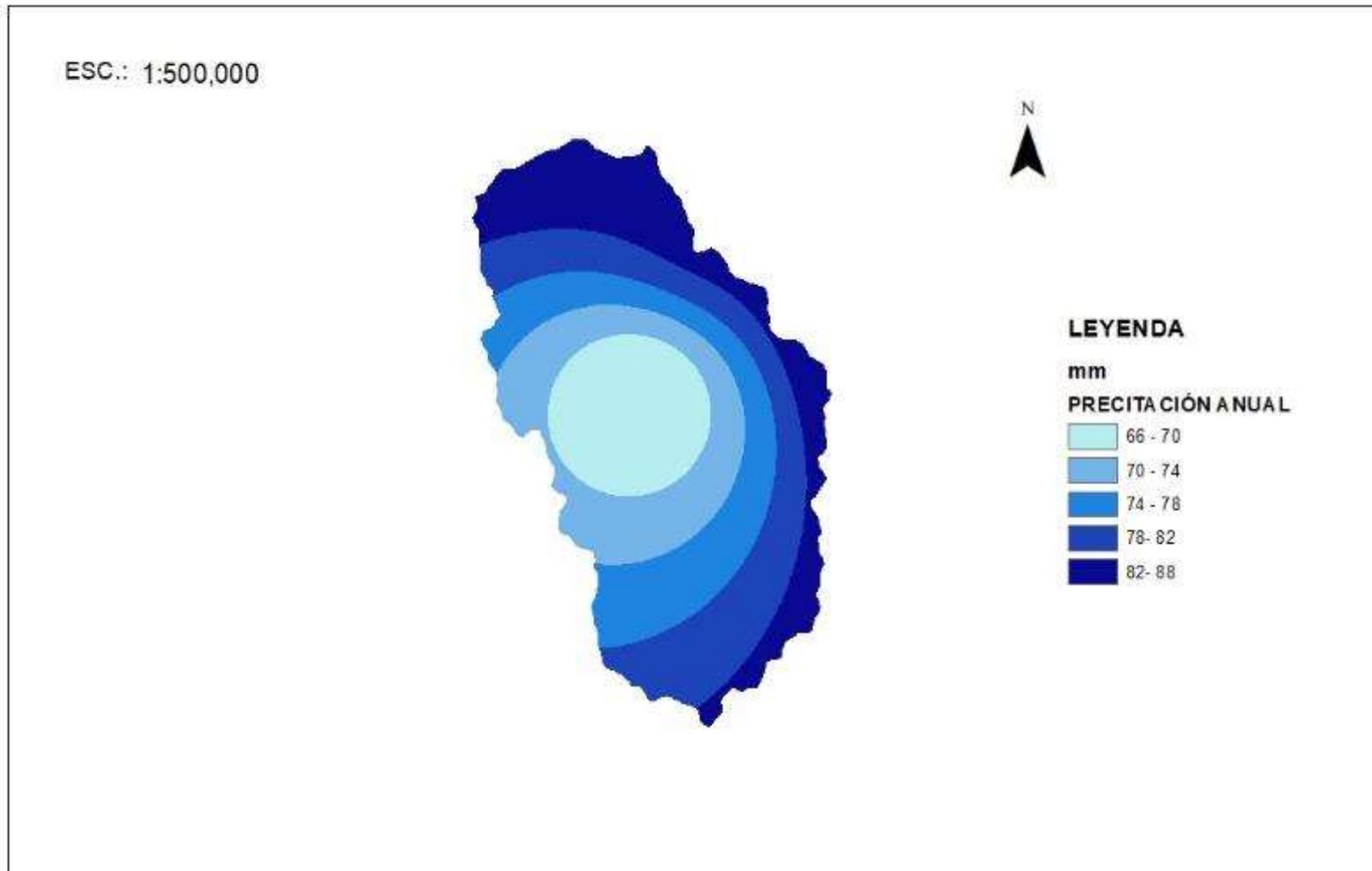


Figura 20. Mapa de Precipitaciones de la cuenca del río Malacatos

4.3 ESTIMACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA AZUL

Para las estimaciones de la HH Azul, se tomó en cuenta los efluentes de las 3 plantas de agua potable que posee la ciudad de Loja, debido a que éste es el consumo directo de volumen de agua por parte de la ciudadanía lojana. Este volumen de agua se calculó mediante el volumen de agua que se incorpora en la planta menos el volumen evaporado. En el Cuadro 3 se expone la HH Azul total de la ciudad.

Cuadro 3: Huella Hídrica mensual (m³) para los años 2017, 2018 y 2019

AÑO/MES	2017	2018	2019
ENERO	2,431,038.45	2,078,582.11	2,233,687.09
FEBRERO	2,152,919.49	1,862,987.66	1,875,719.29
MARZO	2,512,738.86	2,253,347.05	2,072,619.50
ABRIL	2,234,957.37	2,075,061.09	1,995,555.52
MAYO	2,268,992.71	2,209,557.41	2,199,619.09
JUNIO	2,251,562.58	2,011,488.92	1,957,639.81
JULIO	2,330,406.38	2,014,531.91	2,233,565.65
AGOSTO	2,350,861.16	2,091,067.69	2,138,064.10
SEPTIEMBRE	2,209,534.27	2,045,890.70	2,123,766.36
OCTUBRE	2,360,696.15	2,285,130.24	2,164,267.72
NOVIEMBRE	2,208,451.10	2,108,032.85	2,106,822.52
DICIEMBRE	2,253,792.26	2,226,914.43	1,964,261.32
TOTAL	27,565,950.78	25,262,592.06	25,065,587.96

En el Cuadro 3 y Figura 22, se observa la Huella Hídrica mensual para los años de estudio 2017, 2018 y 2019. La sumatoria de estos volúmenes de agua da el total de agua azul consumida en los diferentes años pudiéndose apreciar que el año 2017 tiene un mayor consumo con 27,565,950.78 m³, seguido con el año 2018 con una HH Azul de 25,262,592.06 m³ y finalmente el año 2019 con una HH Azul de 25,065,587.96 m³. Es decir que la Huella Hídrica Directa Azul per cápita para los años 2017, 2018 y 2019 fue de 110.26 m³, 101.05 m³ y 100.26 m³ respectivamente.

En los Cuadros 4, 5 y 6 se observa las HH Azules de los ingresos que presentan las plantas Pucará, Carigán y Curitroje para los años 2017, 2018 y 2019. En estos cuadros se puede

apreciar que la planta que abastece más volumen de agua para el periodo estudiado (2017 – 2019), fue la planta Carigán.

Cuadro 4: Huella Hídrica Azul para el año 2017

Planta de tratamiento	Consumo (m³) año 2017
Pucará	12,532,786.00
Carigán	13,583,349.47
Curitroje	1,449,815.31
Total	27,565,950.78

Cuadro 5: Huella Hídrica Azul para el año 2018.

Planta de tratamiento	Consumo (m³) año 2017
Pucará	10,167,961.00
Carigán	13,795,720.34
Curitroje	1,298,910.72
Total	25,262,592.06

Cuadro 6: Huella Hídrica Azul para el año 2019.

Planta de tratamiento	Consumo (m³) año 2017
Pucará	8,437,416.00
Carigán	15,245,492.40
Curitroje	1,382,679.56
Total	25,065,587.96

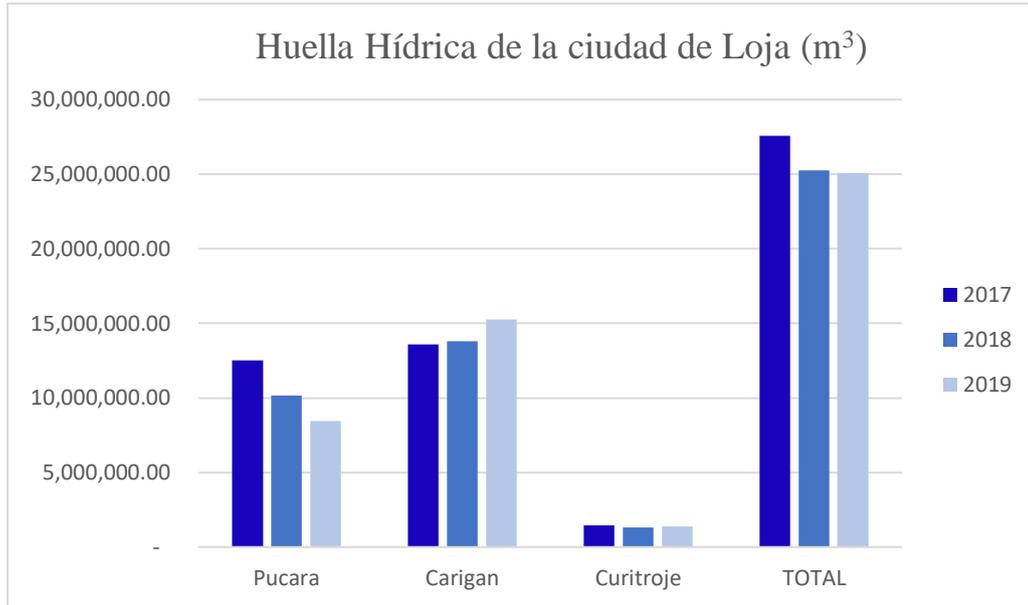


Figura 22: Huella Hídrica Azul de la ciudad de Loja para los años 2017, 2018 y 2019

4.4 ESTIMACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA GRIS

Para la estimación de la HH Gris se utilizó a la Demanda Química de Oxígeno (DQO) como el parámetro más representativo, los valores de este parámetro fueron entregados por parte del municipio de Loja (Anexo 6 y 7), el cual se lo obtuvo en los estudios previos que se elaboraron para la construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Loja (PTAR).

Las HH Gris para el periodo de estudio 2017 – 2019 fueron los siguientes:

4.4.1 HH Gris para el año 2017

$$Huella\ Gris = \frac{(25\ 228\ 800\ 000\ l * 150 \frac{mg}{l}) - (27\ 565\ 950\ 000\ 000\ l * 0 \frac{mg}{l})}{(250 - 20) \frac{mg}{l}}$$

$$Huella\ Gris = 16\ 453\ 565.22\ m^3$$

4.4.2 HH Gris para el año 2018

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

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

4.4.3 HH Gris para el año 2019

$$\text{Huella Gris} = \frac{\left(18\,921\,600\,000\,l * 150 \frac{mg}{l}\right) - \left(25\,065\,587\,000\,l * 0 \frac{mg}{l}\right)}{\left(250 - 20\right) \frac{mg}{l}}$$

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

En Cuadro 7 y la Figura 23, se puede observar que el volumen de la HH Gris disminuye en el transcurso del periodo de estudio dando así el año 2017 un mayor volumen de agua gris con un total de 16 453 565.22 m³, el año 2018 obtuvo un valor de 14 396 869.57 m³ y finalmente el año 2019 un volumen total de 12 340 173.91 m³, cabe resaltar que estos datos son anuales, dado así una Huella Hídrica per cápita para los años 2017, 2018 y 2019 de 65.81 m³, 57.58 m³ y 49.36 m³ respectivamente, observándose que en el año 2019 es menor.

Cuadro 7: Huella Hídrica Gris para el periodo de estudio 2017 - 2019.

AÑO	HH Gris m ³
2017	16 453 565.22
2018	14 396 869.57
2019	12 340 173.91

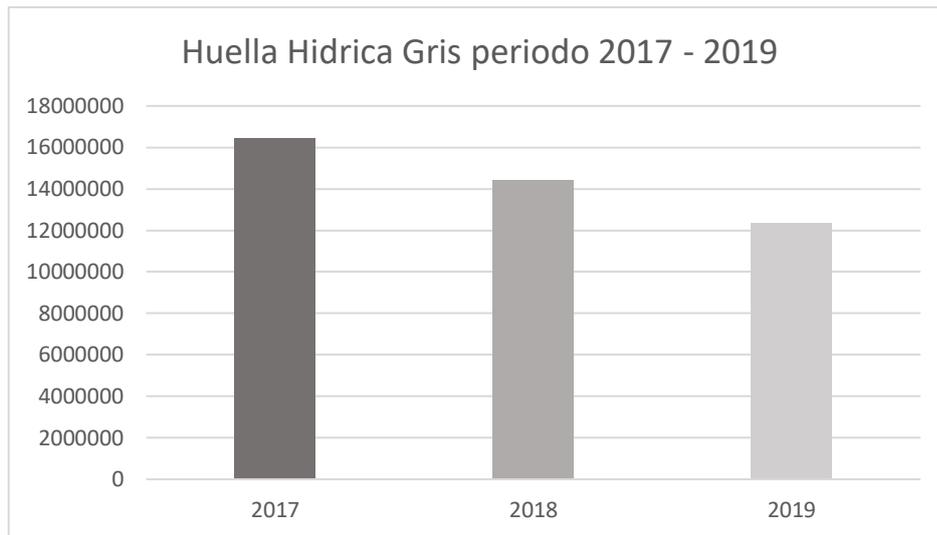


Figura 23: Huella Hídrica Gris de la ciudad de Loja de los años 2017, 2018 y 2019.

4.5 SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL DE LA HUELLA HÍDRICA AZUL

Hoekstra cuando habla de sostenibilidad ambiental se refiere a la comparación del volumen de agua dulce que consumen las personas con lo que la cuenca hidrográfica dota de este recurso.

La ciudad de Loja está abastecida del recurso hídrico de la cuenca del Río Zamora el cual queda al este de la ciudad. Para calcular la sostenibilidad ambiental es necesario tener en cuenta la disponibilidad real de la cuenca que es el 80% del escurrimiento natural, el otro 20% es el requerimiento ambiental de la cuenca o caudal ecológico propuesto por Hoekstra, el cual, se debe respetar para precautelar las especies de flora y fauna que dependen de este para su sobrevivencia. En el Cuadro 8 se observa los volúmenes de agua en m³ del escurrimiento, la disponibilidad real y el requerimiento ambiental de la cuenca del río Zamora.

Cuadro 8: Escurrimiento natural, caudal ecológico y requerimiento ambiental de la cuenca del Río Zamora en (m³).

MES	Escurrimiento natural (A)	Disponibilidad real de la cuenca de la cuenca 80% (B)	Requerimiento ambiental de la cuenca (20%) (A-B)
ENERO	3,601,876.78	2,881,501.42	720,375.36
FEBRERO	4,948,337.52	3,958,670.02	989,667.50
MARZO	5,397,157.77	4,317,726.22	1,079,431.55
ABRIL	3,733,882.74	2,987,106.19	746,776.55
MAYO	2,817,384.25	2,253,907.40	563,476.85
JUNIO	2,983,334.59	2,386,667.67	596,666.92
JULIO	1,998,947.32	1,599,157.86	399,789.46
AGOSTO	1,693,447.83	1,354,758.26	338,689.57
SETIEMBRE	1,474,695.10	1,179,756.08	294,939.02
OCTUBRE	3,111,568.95	2,489,255.16	622,313.79
NOVIEMBRE	2,926,760.61	2,341,408.49	585,352.12
DICIEMBRE	3,522,673.21	2,818,138.57	704,534.64

En el Cuadro 9, se observa la sostenibilidad ambiental de la Huella Hídrica Azul Directa en la ciudad de Loja para el año 2017, observándose que los meses enero, febrero, marzo, abril, junio, octubre noviembre y diciembre no sufren escasez de agua con un índice menor a 1, mientras que los meses de mayo y julio se encuentra con una moderada escasez de agua azul con índices entre 1 y 1,5. Y finalmente los meses de agosto y septiembre se encuentran con índices de escasez significativa de agua azul con índices entre 1,5 y 2.

Cuadro 9: Sostenibilidad ambiental de la HH Azul para el año 2017.

MES	Disponibilidad real de la cuenca de la cuenca	Huella Hídrica	Índice de escasez de agua
ENERO	2,881,501.42	2,431,038.45	0.8
FEBRERO	3,958,670.02	2,152,919.49	0.5
MARZO	4,317,726.22	2,512,738.86	0.6
ABRIL	2,987,106.19	2,234,957.37	0.7
MAYO	2,253,907.40	2,268,992.71	1.0
JUNIO	2,386,667.67	2,251,562.58	0.9
JULIO	1,599,157.86	2,330,406.38	1.5
AGOSTO	1,354,758.26	2,350,861.16	1.7
SETIEMBRE	1,179,756.08	2,209,534.27	1.9
OCTUBRE	2,489,255.16	2,360,696.15	0.9
NOVIEMBRE	2,341,408.49	2,208,451.10	0.9
DICIEMBRE	2,818,138.57	2,253,792.26	0.8

En el Cuadro 10, se muestra la sostenibilidad ambiental para el año 2018, se observa que los índices de escasez de agua se mantienen en iguales rangos, siendo los meses de agosto y septiembre los que poseen mayor preocupación en cuanto al consumo del recurso hídrico con índices entre 1,5 y 2, lo que indica una significativa escasez de agua.

Cuadro 10: Sostenibilidad ambiental de la HH Azul para el año 2018.

MES	Disponibilidad real de la cuenca de la cuenca	Huella Hídrica	Índice de escasez de agua
ENERO	2,881,501.42	2,078,582.11	0.7
FEBRERO	3,958,670.02	1,862,987.66	0.5
MARZO	4,317,726.22	2,253,347.05	0.5
ABRIL	2,987,106.19	2,075,061.09	0.7
MAYO	2,253,907.40	2,209,557.41	1.0
JUNIO	2,386,667.67	2,011,488.92	0.8
JULIO	1,599,157.86	2,014,531.91	1.3
AGOSTO	1,354,758.26	2,091,067.69	1.5
SETIEMBRE	1,179,756.08	2,045,890.70	1.7
OCTUBRE	2,489,255.16	2,285,130.24	0.9
NOVIEMBRE	2,341,408.49	2,108,032.85	0.9
DICIEMBRE	2,818,138.57	2,226,914.43	0.8

En el Cuadro 11, se muestra que para el año 2019 continua el patrón de los años 2017 y 2018, siendo enero, febrero, marzo, abril, junio, octubre, noviembre y diciembre los meses con índices de muy baja escasez de agua azul, los meses de mayo y julio con índices de una moderada escasez de agua azul y los meses de agosto y septiembre siguen teniendo una significativa escasez de agua.

Cuadro 11: Sostenibilidad ambiental de la HH Azul para el año 2019.

MES	Disponibilidad real de la cuenca de la cuenca	Huella Hídrica	Índice de escasez de agua
ENERO	2,881,501.42	2,233,687.09	0.8
FEBRERO	3,958,670.02	1,875,719.29	0.5
MARZO	4,317,726.22	2,072,619.50	0.5
ABRIL	2,987,106.19	1,995,555.52	0.7
MAYO	2,253,907.40	2,199,619.09	1.0
JUNIO	2,386,667.67	1,957,639.81	0.8
JULIO	1,599,157.86	2,233,565.65	1.4
AGOSTO	1,354,758.26	2,138,064.10	1.6
SETIEMBRE	1,179,756.08	2,123,766.36	1.8
OCTUBRE	2,489,255.16	2,164,267.72	0.9
NOVIEMBRE	2,341,408.49	2,106,822.52	0.9
DICIEMBRE	2,818,138.57	1,964,261.32	0.7

En las Figuras 24, 25 y 26, se observa que para en los años 2017, 2018 y 2019 los meses con mayor afectación por escasez del recurso hídrico empiezan desde mediados de junio hasta finales de setiembre, teniendo así que en estos meses la ciudadanía lojana debe disminuir su consumo del agua.

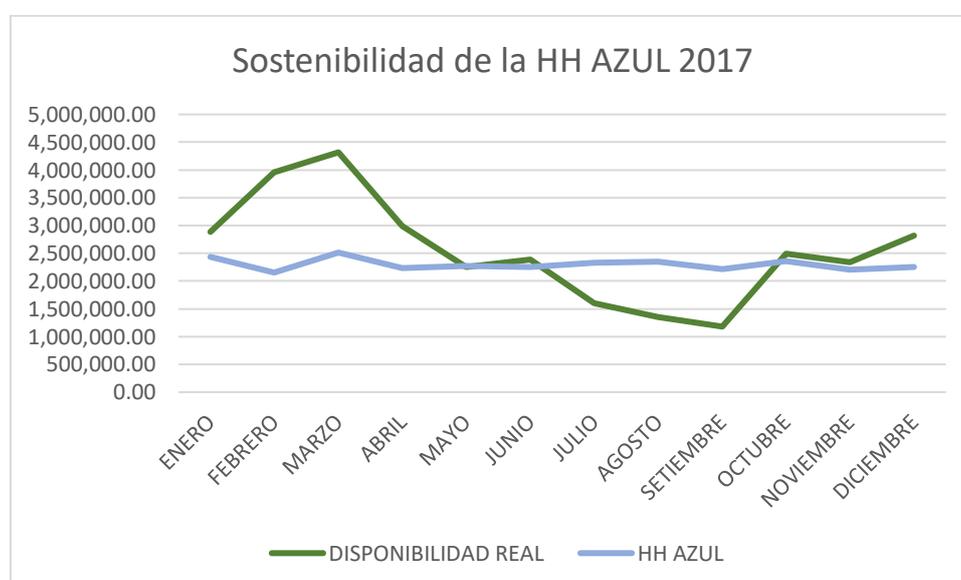


Figura 24. Sostenibilidad de la HH Azul de año 2017.

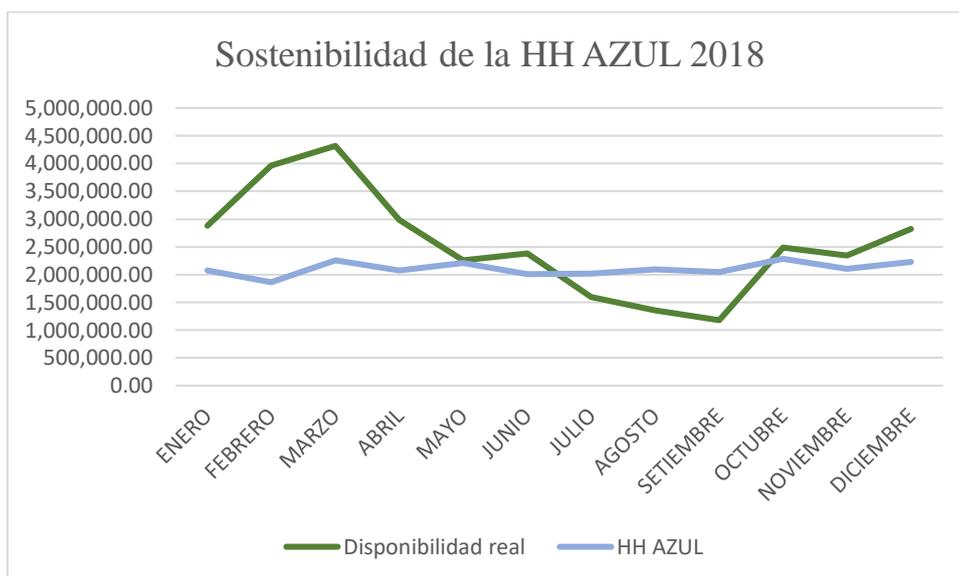


Figura 25. Sostenibilidad de la HH Azul de año 2018.

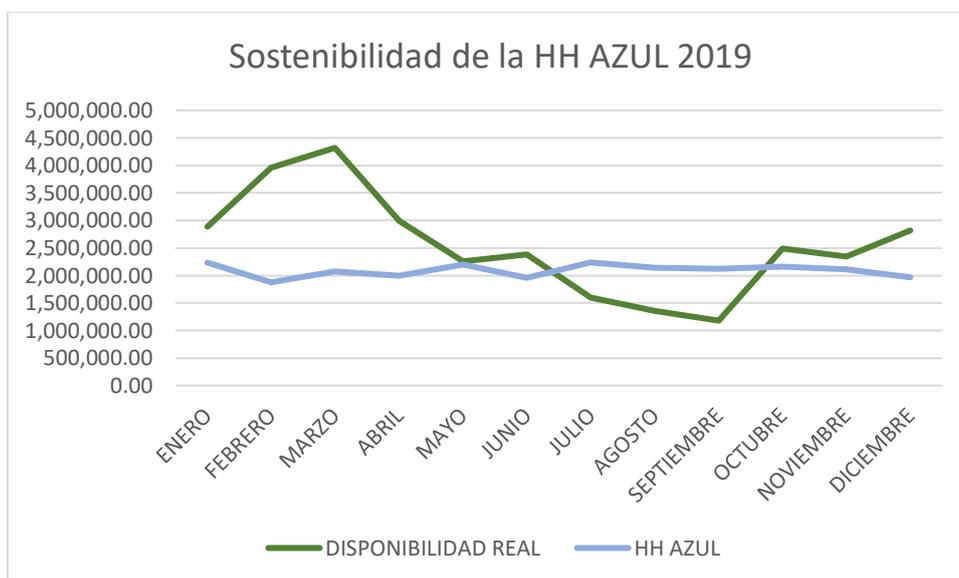


Figura 26. Sostenibilidad de la HH Azul de año 2019.

4.6 SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL DE LA HUELLA HÍDRICA GRIS

El análisis de la Sostenibilidad Ambiental de la Huella Hídrica Gris es similar al procedimiento de la HH Azul, en esta se evalúa el índice de contaminación de agua, el cual se lo encuentra con la ecuación 7. Así mismo, se analizó la disponibilidad real de la cuenca

la cual, es el 80% del escurrimiento natural, dejando así el 20% como requerimiento de la cuenca para preservar la biodiversidad que depende de ella.

Ecuación 10: Índice de contaminación Hídrica

$$\text{Índice de Contaminación Hídrica} = \frac{\text{HH Gris promedio mensual}}{\text{Disponibilidad real mensual}}$$

El Cuadro 12 presenta los valores calculados para el escurrimiento natural, disponibilidad real y el requerimiento de la cuenca o también expresado como caudal ecológico.

Cuadro 12. Escurrimiento natural, caudal ecológico y requerimiento ambiental de la cuenca del Río Malacatos (HH Gris).

MES	Escurrimiento natural (A)	Disponibilidad real de la cuenca de la cuenca 80% (B)	Requerimiento ambiental de la cuenca (20%) (A-B)
ENERO	2,101,472.68	1,681,178.14	420294.54
FEBRERO	2,887,049.38	2,309,639.50	577409.88
MARZO	3,148,908.28	2,519,126.62	629781.66
ABRIL	2,178,490.00	1,742,792.00	435698
MAYO	1,643,769.73	1,315,015.78	328753.95
JUNIO	1,740,591.51	1,392,473.21	348118.3
JULIO	1,166,262.33	933,009.86	233252.47
AGOSTO	988,022.23	790,417.79	197604.45
SETIEMBRE	860,393.53	688,314.82	172078.71
OCTUBRE	1,815,408.34	1,452,326.67	363081.67
NOVIEMBRE	1,707,584.08	1,366,067.27	341516.82
DICIEMBRE	2,055,262.29	1,644,209.83	411052.46

En el Cuadro 13 se observa el análisis de la sostenibilidad ambiental de la HH Gris para el año 2017, en donde se observa que los meses de mayo, junio, julio, agosto, septiembre y noviembre tienen un índice de escasez de agua muy elevado, el resultado de esto es que la disponibilidad real de la cuenca no logra depurar la contaminación producida por la HH Gris obteniendo así un índice de escasez de agua igual o mayor al 100 % en los meses nombrados.

Cuadro 13. Sostenibilidad ambiental de la HH Gris para el año 2017

MES	Disponibilidad real de la cuenca de la cuenca	Huella Hídrica	Índice de contaminación del agua	Nivel de contaminación
ENERO	1,681,178.14	1,371,130.43	0.8	81.56
FEBRERO	2,309,639.50	1,371,130.43	0.6	59.37
MARZO	2,519,126.62	1,371,130.43	0.5	54.43
ABRIL	1,742,792.00	1,371,130.43	0.8	78.67
MAYO	1,315,015.78	1,371,130.43	1.0	104.27
JUNIO	1,392,473.21	1,371,130.43	1.0	98.47
JULIO	933,009.86	1,371,130.43	1.5	146.96
AGOSTO	790,417.79	1,371,130.43	1.7	173.47
SETIEMBRE	688,314.82	1,371,130.43	2.0	199.20
OCTUBRE	1,452,326.67	1,371,130.43	0.9	94.41
NOVIEMBRE	1,366,067.27	1,371,130.43	1.0	100.37
DICIEMBRE	1,644,209.83	1,371,130.43	0.8	83.39

En el análisis de la sostenibilidad ambiental de la HH Gris para el año 2018 Cuadro 14, se observa que ha disminuido el índice y nivel de contaminación, pese a esta disminución en los meses de julio a septiembre los índices de escasez de agua sobrepasan el 100 %, dando como resultado, que la ciudad de Loja en estos meses no es sostenible ambientalmente en relación de la HH Gris con la cuenca que auto depura la contaminación.

Cuadro 14: Sostenibilidad ambiental de la HH Gris para el año 2018.

MES	Disponibilidad real de la cuenca de la cuenca	Huella Hídrica	Índice de contaminación del agua	Nivel de contaminación
ENERO	1,681,178.14	1,199,739.13	0.7	71.36
FEBRERO	2,309,639.50	1,199,739.13	0.5	51.94
MARZO	2,519,126.62	1,199,739.13	0.5	47.63
ABRIL	1,742,792.00	1,199,739.13	0.7	68.84
MAYO	1,315,015.78	1,199,739.13	0.9	91.23
JUNIO	1,392,473.21	1,199,739.13	0.9	86.16
JULIO	933,009.86	1,199,739.13	1.3	128.59
AGOSTO	790,417.79	1,199,739.13	1.5	151.79
SETIEMBRE	688,314.82	1,199,739.13	1.7	174.3
OCTUBRE	1,452,326.67	1,199,739.13	0.8	82.61
NOVIEMBRE	1,366,067.27	1,199,739.13	0.9	87.82
DICIEMBRE	1,644,209.83	1,199,739.13	0.7	72.97

El análisis de la HH Gris para el año 2019 Cuadro 15, aunque en términos de cifras el nivel de contaminación para los meses de enero a diciembre ha ido disminuyendo, se puede observar la misma tendencia del año 2018, teniendo así los meses de julio a septiembre con altos índices de escasez de agua superando el 100 % del nivel de contaminación, esto se debe a que la Huella Hídrica Gris sigue siendo elevada en relación de la disponibilidad real de la cuenca, la cual no logra depurar la contaminación producida por la urbe.

Cuadro 15. Sostenibilidad ambiental de la HH Gris para el año 2019.

MES	Disponibilidad real de la cuenca	Huella Hídrica	Índice de contaminación del agua	Nivel de contaminación
ENERO	1,681,178.14	1,028,347.83	0.6	61.17
FEBRERO	2,309,639.50	1,028,347.83	0.4	44.52
MARZO	2,519,126.62	1,028,347.83	0.4	40.82
ABRIL	1,742,792.00	1,028,347.83	0.6	59.01
MAYO	1,315,015.78	1,028,347.83	0.8	78.2
JUNIO	1,392,473.21	1,028,347.83	0.7	73.85
JULIO	933,009.86	1,028,347.83	1.1	110.22
AGOSTO	790,417.79	1,028,347.83	1.3	130.1
SETIEMBRE	688,314.82	1,028,347.83	1.5	149.4
OCTUBRE	1,452,326.67	1,028,347.83	0.7	70.81
NOVIEMBRE	1,366,067.27	1,028,347.83	0.8	75.28
DICIEMBRE	1,644,209.83	1,028,347.83	0.6	62.54

En las Figura 27, 28 y 29, se muestra la disponibilidad real de la cuenca en comparación con la HH Gris promedio, donde se observa que en el periodo de estudio se va disminuyendo relativamente la contaminación de Huella Hídrica Gris.

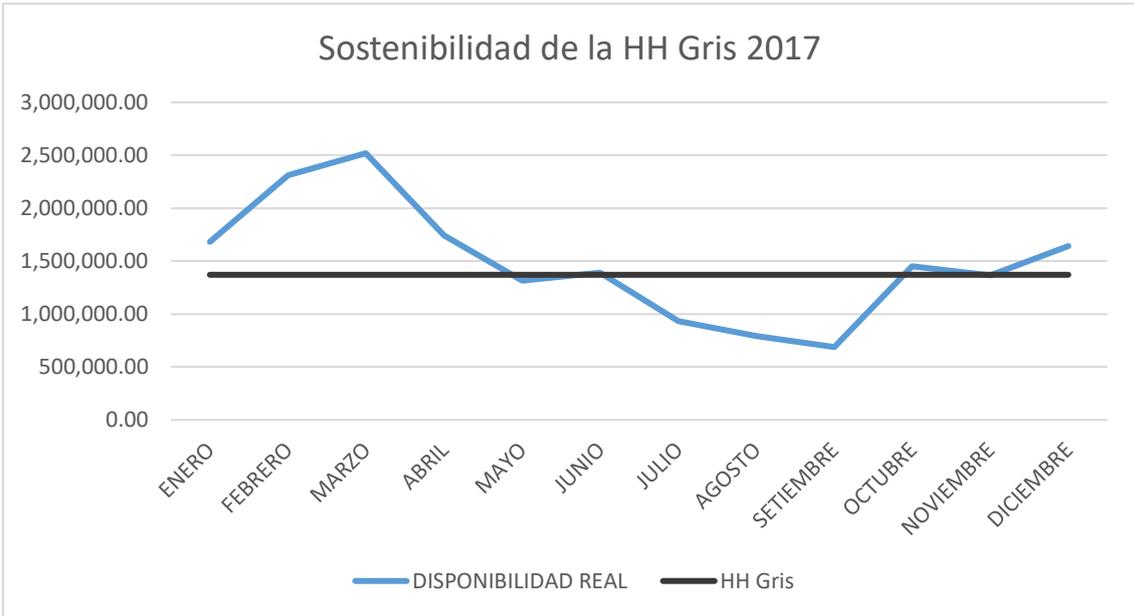


Figura 27: Sostenibilidad de la HH Gris de año 2017

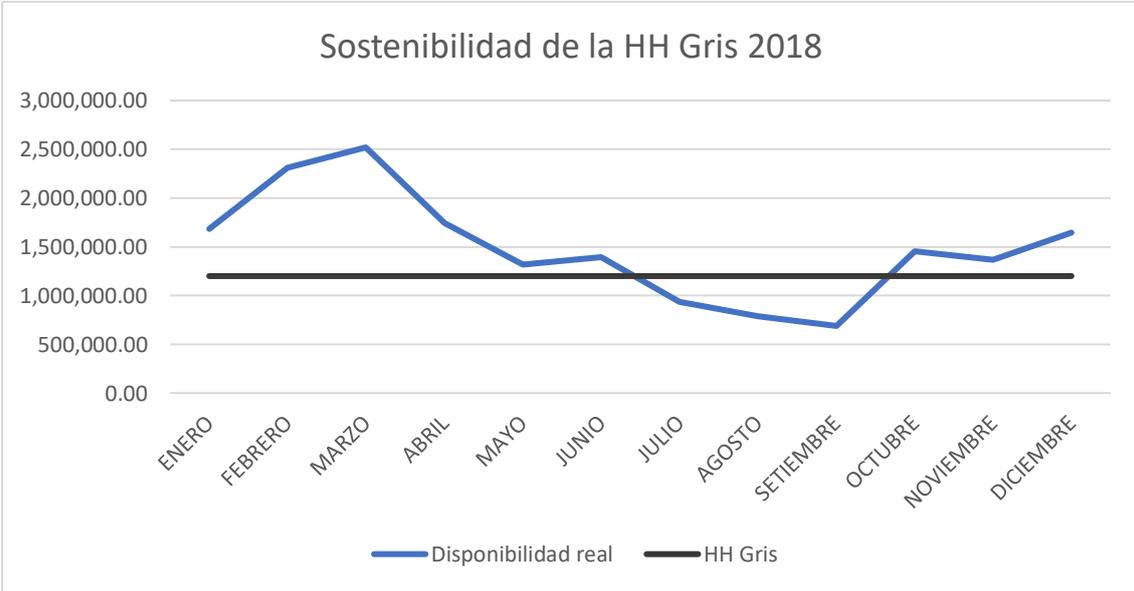


Figura 28: Sostenibilidad de la HH Gris de año 2018.

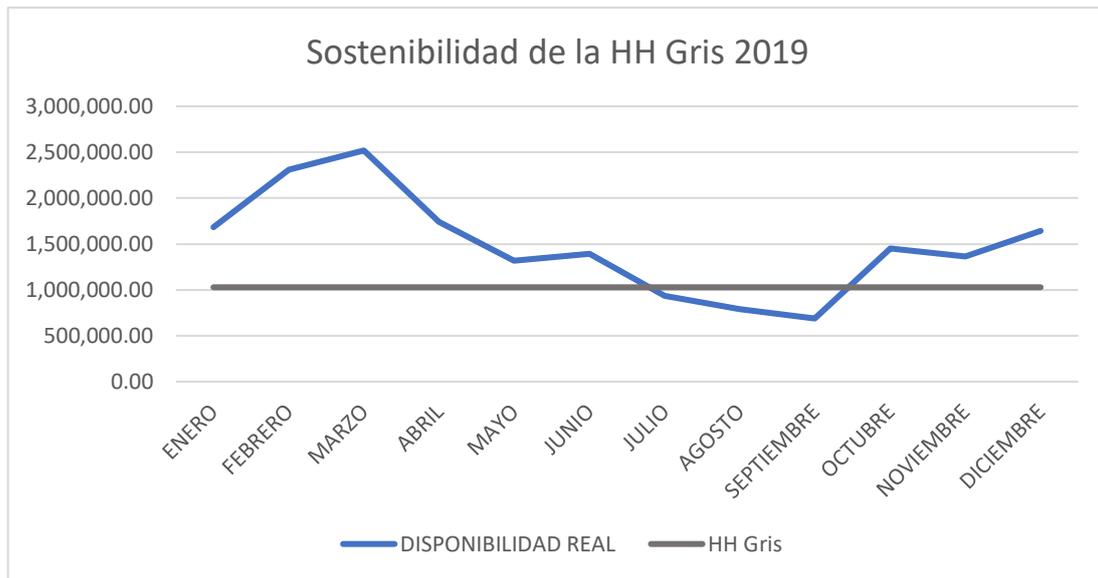


Figura 29: Sostenibilidad de la HH Gris de año 2019.

4.7 PLANTEAMIENTO DE ESTRATEGIAS PARA REDUCCIÓN DE LA HH AZUL

El planteamiento de las estrategias busca que la ciudadanía y el municipio de Loja disminuyan el consumo de sus Huellas Hídricas Directas Azul y Gris. Cabe recalcar que la Loja es un referente a nivel nacional e internacional de ciudad ecológica, en donde, los residuos sólidos se convierten en materia prima mediante la clasificación de los residuos orgánico e inorgánicos, esto se ha dado gracias a la educación de la ciudadanía por parte del municipio, lo cual se ha venido implementando desde hace 20 años la educación ambiental con visitas de estudiantes, empresas y público en general al Centro de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Con esta preliminar se busca, que al igual que se realizó una concientización de los residuos sólidos, también se lo haga con el recurso hídrico, llegando así a la mayor parte de población de la ciudad.

La ciudad de Loja ha disminuido en los últimos años sus Huellas Hídricas, esto gracias al proyecto Plan Maestro de Agua Potable, en el cual se cambió las tuberías que conducen el agua, disminuyendo así las pérdidas es este recurso. A la vez que el 98% de las microcuencas que abastecen a la ciudad son áreas protegidas. Sin embargo, está investigación busca plantear otras estrategias hacia la ciudadanía y municipio, con el fin de disminuir aún más la Huella Hídrica de la ciudad de Loja.

4.7.1 Estrategias como ciudadanía

En el Ecuador en el año 2017 la Secretaría del Agua opto por un sencillo y eficaz sistema de ahorro de agua el cual consiste en la colocación de una botella de un litro dentro de los tanques de descarga, este sistema represento un ahorro del 2% del total del efluente de ingreso para una población de alrededor 300 funcionarios, siendo un total de 788 litros de agua azul ahorrados al día (Guamán 2018).

Tomando en cuenta que la población de Loja es de aproximadamente de 250 mil habitantes, en el Cuadro 16, se muestra las aproximaciones que se podría tener un ahorro de agua en cuanto a la utilización de inodoros, suponiendo que la mayoría de las viviendas, edificaciones e instituciones lojanas no cuentan con servicio de baños de doble descarga.

Cuadro 16. Ahorro de agua en m³, suponiendo que el promedio de uso de inodoros es de 5 a 7 veces al día.

Veces que se utiliza el inodoro (Ahorrando 1 litro de agua)	Ahorro en m ³ de agua al día	Ahorro en m ³ de agua al año
1	250	91 250
2	500	182 500
3	750	273 750
4	1 000	365 000
5	1 250	456 250
6	1 500	547 500
7	1 750	638 750

En promedio una persona utiliza entre 5 a 7 veces al día un inodoro, basándonos en promedio de 5,6 y 7 veces que se utiliza el inodoro, si lo multiplicamos por los habitantes de la ciudad de Loja se tendrá un ahorro aproximado de 456 250 m³, 547 500m³ y 638 750 m³ de agua dulce.

Para lograr este ahorro de agua al usar los inodoros lo que se propone es una solución muy eficaz, colocar una botella de un litro con 1000 gramos de arena, grava, piedra o en su defecto el mismo litro de agua en su interior dentro del tanque, con el fin de disminuir el volumen de agua en cada descarga.

En promedio cada tanque de un inodoro sin doble descarga utiliza 16.0 litros cada vez que se acciona la palanca, como se observa en la Figura 30 para ahorrar un litro de agua por descarga se ha colocado dos botellas que en conjunto suman un kilo o el equivalente a un litro de agua.



Figura 30. Procedimiento de ahorro de agua en tanque de inodoros.

Dentro de las opciones para el ahorro de agua y uso eficiente se tiene:

- Uso de sistemas ahorradores de agua como los aireadores y reductores volumétricos, estos garantizan un ahorro entre el 40 a 50 % dependiendo de la presión del agua; válvulas de sanitarios de baja descarga, que permiten ahorrar hasta el 50% de agua dulce por descarga; otras tecnologías también como duchas, lavaplatos y electrodomésticos de línea blanca los cuales requieren menor uso del recurso hídrico, estos por lo general presentan un ahorro del 30% del consumo de agua.
- En la ducha cerrar el grifo de agua mientras se enjabona, ya que a cada minuto se pierde alrededor de 12 litros de agua aproximadamente.
- Revisar las instalaciones de grifería, un grifo que gotea puede desperdiciar agua hasta 30 litros diarios. Una conexión que pierda agua puede suponer un desperdicio de 2 200 litros de agua al año y pérdidas económicas para el usuario.
- Utilizar electrodomésticos de bajo consumo. Por ejemplo, con una lavadora Clase A se puede ahorrar hasta 12 000 litros de agua como promedio al año. Estas lavadoras permiten ahorrar entre un 35 a 40 % de agua dulce utilizada.

- Si se lava el auto con una manguera se gasta aproximadamente 500 litros de agua, mientras que si se realiza de manera tradicional con un balde y esponja se consumirá tan solo 40 litros.

El Cuadro 17 presenta el desperdicio de agua en actividades cotidianas, el consumo de una persona debería ser aproximadamente 5 m³ al mes, que equivale a 160 litros de agua al día, debemos de tomar en cuenta las recomendaciones anteriores con el fin de reducir nuestro consumo de agua dulce.

Cuadro 17. Desperdicio de agua en actividades cotidianas

Uso de agua	Volumen desperdiciado
Lavado de auto con manguera	500 litros
Lavado con grifo abierto	12 litros
Descarga de inodoros	10 litros
Ducha de 15 min	180 litros
Fugas de agua o goteos	170 litros
Lavado incompleto en lavadora	200 litros

4.7.2 Estrategias como municipio

La Alcaldía de Calí – Colombia presentó en el año 2018 su Plan de Acción para la mitigación de sus impactos sobre el agua, en el cual al mejorar su PTAR de Cañaveralejo y la implementación de una nueva PTAR se lograría disminuir hasta en un 80% la Huella Hídrica gris (Banco de Desarrollo de America Latina [CAF] 2018).

Con este indicio las estrategias y acciones que debe implementar el Municipio de Loja para la disminución de la HH Gris tenemos:

- Según Manuel Medina Técnico de Gestión Ambiental del municipio de Loja, culminar la construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales ubicada al norte de la

ciudad, está PTAR (Anexo 8) contribuirá con la reducción del 78% de la Huella Hídrica gris producida por la urbe.

- Trabajar con la ciudadanía involucrando a la población de centros educativos estatales y privados, niños, jóvenes y adultos en formación con charlas ambientales que incentiven a utilizar tecnologías ahorradoras de agua que disminuyan el consumo de esta y a la vez rindan mayor eficiencia en el desarrollo de diferentes actividades.

Entre las estrategias que debe implementar el Municipio de Loja para la disminución de la HH Azul tenemos los siguientes:

- Realizar la promoción de equipos y artefactos que posean bajo consumo de agua, como: inodoros de doble descarga, cisternas de bajo consumo, duchas y grifos de bajo consumo, lavadoras, etc.
- Realizar campañas periódicas y continuas de sensibilización a la población lojana sobre la importancia de la gestión, consumo y uso de los recursos hídricos.
- Registrar datos de los usos del agua por sectores, para la toma de decisiones sobre la gestión del agua.
- Reparación y mantenimiento de la red de distribución de agua potable a fin de evitar las pérdidas de agua.

V. CONCLUSIONES

1. En el análisis de la sostenibilidad ambiental se puede observar que en el año 2017 la ciudad de Loja presento grandes índices de escasez de agua y contaminación del recurso hídrico para los meses de mayo hasta noviembre en donde se aproximaron o sobrepasaron los niveles, mientras que, en los años 2018 y 2019, ha sido relativamente sostenible ambientalmente debido a que ha ido disminuyendo paulatinamente los índices de escasez y los niveles de contaminación en los meses de julio a septiembre.
2. El modelamiento geoespacial y las herramientas de los Sistemas de Información Geográfica permitieron calcular la esorrentía, el caudal disponible y caudal ecológico de las microcuencas del río Zamora y río Malacatos gracias a la interpolación de datos, obteniéndose así los valores para realizar esta investigación. Siendo el río Zamora el que presenta mayor precipitación anual.
3. La ciudad de Loja debe tomar medidas para disminuir su consumo en los meses de junio a septiembre en los cuales se observó que debido a la baja disponibilidad real de la cuenca se aproxima a los índices de escasez de agua, así como a los índices de contaminación en los cuales se sobrepasa los niveles de contaminación en los meses mencionados para el periodo 2017 -2019.
4. La disminución de la HH Azul en el periodo de estudio se ha logrado mediante la ejecución del Plan Maestro de Agua Potable de Loja, en el cual se adecuó, modificó y cambió la red de tuberías las cuales evitan pérdidas de agua para su distribución hacia la ciudadanía, así mismo, la municipalidad de Loja está culminando la construcción de la PTAR la cual disminuirá en un 70 % la Huella Hídrica Gris de la ciudad.

VI. RECOMENDACIONES

- Debido a la falta de información meteorológica en la Zona de planificación 7 – Sur del Ecuador, perteneciente a las provincias de Loja, El Oro y Zamora Chinchipe, para la obtención de datos meteorológicos e hidrometeorológicos se sugiere utilizar la teledetección como una técnica de datos de la superficie terrestre mediante el uso de satélites espaciales.
- Es necesario que las estrategias hacia la ciudadanía sean dadas a conocer por parte de las autoridades del Ilustre Municipio de Loja, empezando por las escuelas municipales y a nivel institucional con el fin de llegar a la mayor parte de la ciudadanía lojana y así empezar con una concientización sobre el buen uso del recurso hídrico.
- Es necesario que la ciudadanía se eduque en cuanto a los temas ambientales y la eficiencia energética, cuando adquiramos un producto nuevo es importante basarnos en las etiquetas energéticas las cuales dan un aproximado del ahorro real que tendremos no solo en el consumo del agua también otras energías como la electricidad.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agirre, A. y Bikuña, B. G. 2001. Conceptos basicos para la aplicación del caudad ecológico
Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=613097>
- Agua Ecuador. 2018. El agua en el Ecuador El cambio climático, nuestras decisiones y capacidad de adaptación. Disponible en: <http://agua-ecuador.blogspot.com/>
- Aybar, C. 2016. Modelamiento de la escorrentía en cuencas de montaña: caso de estudio río Vilcanota. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/299324873.pdf>
- CAF (Banco de Desarrollo de America Latina). 2016. Cali presentó su Plan de Acción para mitigación de sus emisiones e impactos sobre el agua. Disponible en: <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.
- EPMAPS - Aguan de Quito. 2016. Memoria de Sostenibilidad 2016. Materiality Disclosures, 33–35. Disponible en: <https://www.aguaquito.gob.ec/wp-content/uploads/2017/06/MEMORIA-DE-SOSTENIBILIDAD-AGUA-DE-QUITO-2016.pdf>
- FCH (Fundación Chile) y Agualimpia. 2016. Manual de aplicación para evaluación de Huella Hídrica acorde a la norma ISO 14046. 108.
- Flores, V. y Cabrera, M. 2012. Elaboración de una guía eco-turística para la Microcuenca El Carmen, zona intangible del Parque Nacional Podocarpus del cantón Loja.
Universidad Nacional de Loja. Disponible en: <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/933>
- Garrido, G. & Aldaya, B. M. M. 2015. El enfoque norma ISO 14046. 1–25.
- Gobierno Nacional del Ecuador. 2017. Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021.

- Guamán, P. 2018. Estimación de la Huella Hídrica para la Secretaría del Agua Planta Central Quito (Vol. 2).
- Hoekstra, A.Y.: Chapagain, A. K.: Aldaya, M.M. & Mekonnen, M. M. 2011. The Water Footprint Assessment Manual. Disponible en: <https://doi.org/978-1-84971-279-8>
- Leal, O.; Mendoza, M. y Gonzalez, E. 2010. Spatial analysis and modeling of climate variables in the Cuitzeo Basin, Mexico. *Investigaciones Geograficas*, 72(8701), 49–67.
- Llamas, M. R. 2006. Los colores del agua, el agua virtual y los conflictos hídricos. 99, 369–389.
- Loera, R. 2002. Selección y establecimiento de especies forestales de acuerdo al régimen pluviométrico de Loma Alta, Arteaga, Coahuila. Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro, 154. Disponible en : [http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/5499/T13362 LOERA AMAYA, RIGOBERTO TESIS.pdf?sequence=1](http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/5499/T13362_LOERA_AMAYA_RIGOBERTO_TESIS.pdf?sequence=1)
- Loja, G. M. 2016. Captación, conducción, tratamiento, distribución operación, mantenimiento y abandono del Plan Maestro de Agua potable de la ciudad de Loja.
- Mekonnen, M. M. & Hoekstra, A. Y. 2012. A Global Assessment of the Water Footprint of Farm Animal Products. *Ecosystems*, 15(3), 401–415.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 2011. El derecho al agua. Folleto Informativo N°35, 35(Geneva).
- Osorio, A. (ed). 2013. Determinación de la huella del agua y estrategias de manejo de recursos hídricos. Serie Actas, N° 50, 211.
- Padrón, R. S. 2013. Análisis de la estructura de la lluvia del páramo. Undergraduate Thesis, 100.
- Pengue, W. A. 2015. " Agua virtual ", agronegocio sojero y cuestiones económico ambientales futuras. (August).
- 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 Zhurucay. 64. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/22781>
- Rodrigues, D. 2013. This article has been accepted for publication and undergone full peer review but has not been through the copyediting, typesetting, pagination and

proofreading process which may lead to differences between this version and the Version of Record . Pleas. Earth Surface Processes and Landforms.

Sánchez, J. 2016. Hidrología Superficial (III): Relación Precipitación - Escorrentía. (III), 1–23

Vázquez, R. & Buenfil, O. 2012. Huella Hídrica de América Latina. Aqua, LAC 4, 41–48.

Velázquez, E. 2010. Agua Virtual, Huella Hídrica y el Binomio Agua-Energía: Repensando Los Conceptos. 12. Disponible en: http://hisagua2.adasistemas.com/sites/default/files/hisagua_documento/agua_virtual.pdf

Zaldívar, J. P. 2017. La cuenca hidrográfica como propuesta de unidad de análisis y gestión sustentable del territorio. Caso de estudio de las cuencas de los ríos Limari y Rapel a partir de la información del VII Censo Nacional Agropecuario de análisis y gestión Sustentable del Territorio . 179.

Zarate, C. 2011. Hacia un modelo de ordenación Para los Territorios de: Protección Natural del Area de Influencia Inmediata de la Ciudad de Loja. Microcuenca El Carmen. Universidad Estatal de Cuenca, 279. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/588/1/ta738.pdf>

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Reforestación con pinos en la microcuenca el Carmen



Anexo 2. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Alkil mercurio		mg/l	No DETECTABLE
Aldehídos		mg/l	2,0
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	0,1
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	Nmp/100 ml		¹ Remoción > al 99,9 %
Color real	Color real	unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2

¹ Aquellos regulados con descargas de coliformes fecales menores o iguales a 3 000, quedan exentos de tratamiento.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O ₅ .	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	250
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitratos + Nitritos	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/l	10,0

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Nitrógeno Total Kjedahl	N	mg/l	15
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,05
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales.	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		5-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Sedimentables		ml/l	1,0
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	100
Sólidos totales		mg/l	1 600
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	mg/l	1000
Sulfitos	SO ₃	mg/l	2,0
Sulfuros	S	mg/l	0,5
Temperatura	°C		< 35
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0
Vanadio		mg/l	5,0
Zinc	Zn	mg/l	5,0

*

La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida.

Anexo 3. Tanques de floculación Planta de Agua Potable Carigán



Anexo 4. Visita Técnica Planta de Agua Potable Carigán



Anexo 5. Dosificador de polímeros Planta de Agua Potable Chontacruz



Anexo 6. Trámite para obtención de datos.

4/2/2019
Municipio de Loja
Ppless BPM
COMPROBANTE DE TRÁMITE
ARCHIVO CENTRAL

Trámite Nro.:
2019-EXT-4311



ASUNTO: SOLICITA SE FACILITE INFORMACIÓN SOBRE LOS RESULTADOS DE MUESTREO OBTENIDOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

FECHA DE INICIO: 2019-02-04 15:24:00.817

INGRESADO POR: ajcorreas

CLAVES DE BÚSQUEDA: 1103938633

SOLICITANTE: GUAMAN ERAS JUAN PABLO

Departamento destino: Secretaria Administrativa

La única definición de lo que somos... es lo que hacemos!

MUNICIPIO DE LOJA
UNIDAD DE REGISTRO Y OBRAS
RECIBIDO

Fecha: 05-02-2019
Hora: 15H46
Firma: *Monica Sarany*

Regeneración Urbana:
Vp pertenencia de solicitud, de su el caso apoyar.

[Signature]

CONSERVE ESTE DOCUMENTO PARA EL SEGUIMIENTO DE SU TRÁMITE

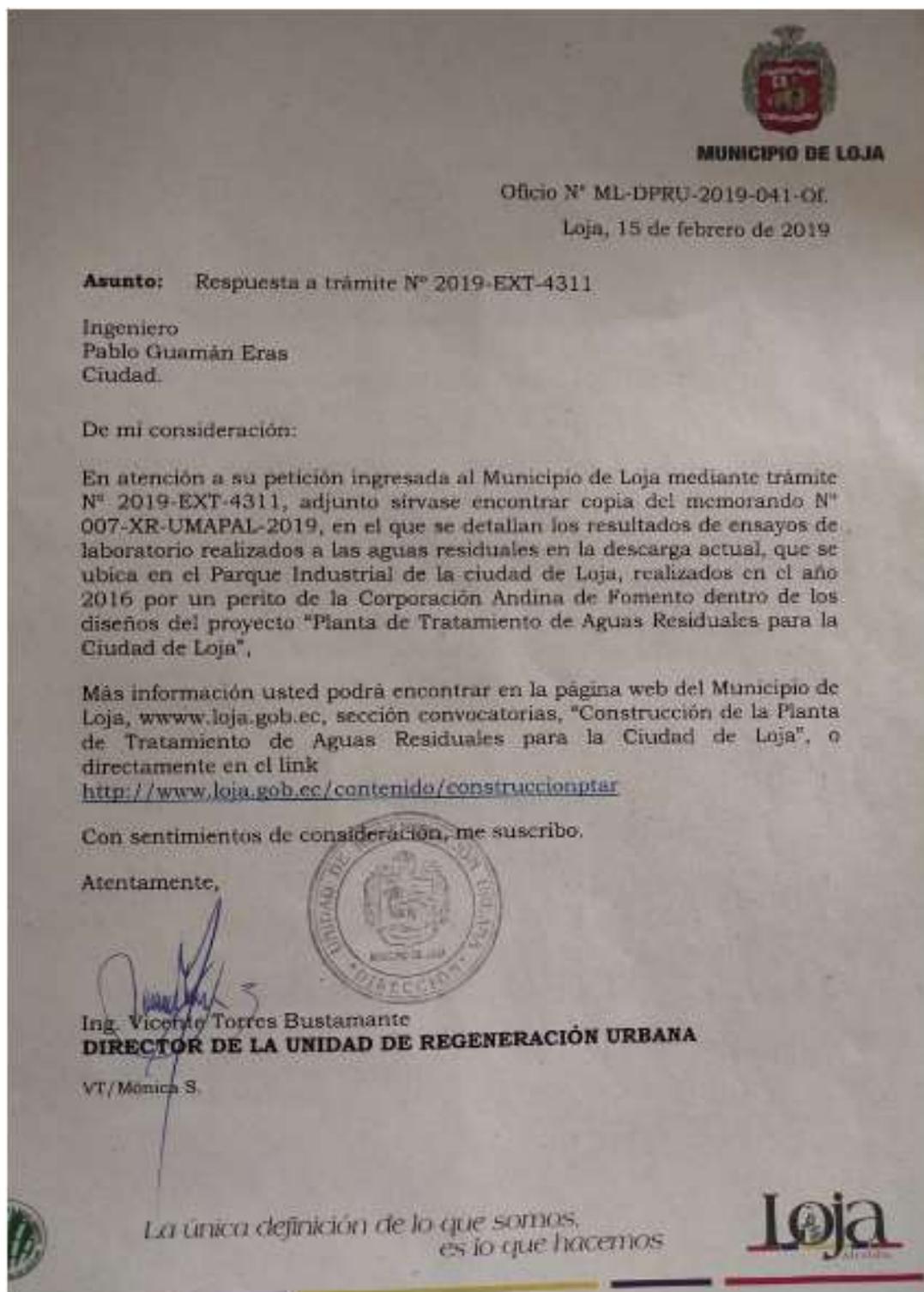
Loja Alcaldía
La única definición de lo que somos... es lo que hacemos

Bulvar y José Antonio Eguiñena
Atención al ciudadano: +593 7 2562233
+593 7 2570482 - Casilla leira "M"
alcalde@loja.gob.ec
www.loja.gob.ec

<http://192.168.1.247:8080/pplesscom/validarRecapitemem?trackID=2577876>

1/1

Anexo 7. Respuesta a la solicitud de los datos por parte del municipio de Loja.



Anexo 8. Estado de la PTAR de Loja

