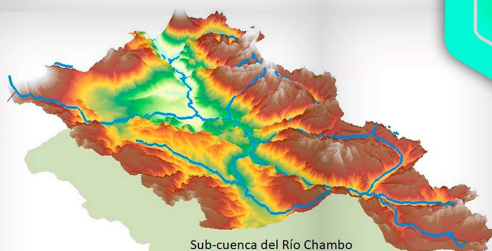


**Tercera Ed.
2024**

 **PUERTO MADERO
EDITORIAL**

**PERSPECTIVA METODOLÓGICA PARA LA
GESTIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA
MULTISECTORIAL DE MICROCUENCAS
DE LA UNIDAD HIDROGEOLÓGICA
CHIMBORAZO - EL ALTAR**



Sub-cuenca del Río Chambo



**SOFÍA CAROLINA GODOY PONCE
MAGDY MILENI ECHEVERRÍA
JOHANNA ELIZABETH AYALA IZURIETA**



puertomaderoeditorial.com.ar



La Plata - Argentina

**Perspectiva metodológica para
la gestión de la huella hídrica
multisectorial de microcuencas
de la unidad hidrogeológica
Chimborazo-El Altar**

ISBN: 978-631-6557-24-7

Sofía Carolina Godoy Ponce, Magdy Mileni Echeverría
Johanna Elizabeth Ayala Izurieta



**Perspectiva metodológica para la gestión
de la huella hídrica multisectorial de
microcuencas de la unidad hidrogeológica
Chimborazo-El Altar**

**Methodological Perspective for the Management of the
Multisectoral Water Footprint of Microbasins in the
Chimborazo-El Altar Hydrogeological Unit**

AUTOR:

Sofía Carolina Godoy Ponce
Magdy Mileni Echeverría
Johanna Elizabeth Ayala Izurieta



Godoy Ponce, Sofía Carolina et al.

Perspectiva metodológica para la gestión de la huella hídrica multisectorial de microcuencas de la unidad hidrogeológica Chimborazo, El Altar / Sofía Carolina Godoy Ponce ; Magdy Mileni Echeverría Guadalupe ; Johanna Elizabeth Ayala Izurieta ; Editado por Guido Patricio Santillán Lima ; Daniela Margoth Caichug Rivera ; Juan Carlos Santillán Lima. - 1a ed revisada. - La Plata : Puerto Madero Editorial Académica, 2024.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-631-6557-24-7

1. Protección del Medio Ambiente. 2. Medio Ambiente. I. Echeverría Guadalupe, Magdy Mileni. II. Ayala Izurieta, Johanna Elizabeth. III. Santillán Lima, Guido Patricio, ed. IV. Caichug Rivera, Daniela Margoth, ed. V. Santillán Lima, Juan Carlos, ed. VI. Título.

CDD 551.48



Licencia Creative Commons:

Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

Primera Edición, Mayo 2024

**Perspectiva metodológica para la gestión de la huella hídrica
multisectorial de microcuencas de la unidad hidrogeológica
Chimborazo, El Altar**

ISBN: 978-631-6557-24-7

Editado por:

Sello editorial: ©Puerto Madero Editorial Académica
N° de Alta: 933832

Editorial: © Puerto Madero Editorial Académica

CUIL: 20630333971

Calle 45 N491 entre 4 y 5

Dirección de Publicaciones Científicas Puerto Madero

Editorial Académica

La Plata, Buenos Aires, Argentina

Teléfono: +54 9 221 314 5902

+54 9 221 531 5142

Código Postal: AR1900

Este libro se sometió a arbitraje bajo el sistema de doble ciego (peer review)

Corrección y diseño:

Puerto Madero Editorial Académica

Diseñador Gráfico: José Luis Santillán Lima

Diseño, Montaje y Producción Editorial:

Puerto Madero Editorial Académica

Diseñador Gráfico: Santillán Lima, José Luis

Director del equipo editorial:

Santillán Lima, Juan Carlos

Editor:

Santillán Lima, Guido Patricio

Caichug Rivera, Daniela Margoth

Hecho en Argentina

Made in Argentina

AUTOR:

Sofía Carolina Godoy Ponce

Grupo de Investigación para la Sostenibilidad de Cuencas Hidrográficas (GISOCH)- Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH)

sofia.godoy@esepoch.edu.ec

 <https://orcid.org/0000-0002-6479-4343>

Johanna Elizabeth Ayala Izurieta

Grupo de Investigación para la Sostenibilidad de Cuencas Hidrográficas (GISOCH)- Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH)

joeai@alumni.uv.es - johannae.ayala@esepoch.edu.ec

 <https://orcid.org/0000-0002-3963-0160>

Magdy Mileni Echeverría

Grupo de Investigación Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático (GIDAC)- Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH)

m_echeverria@esepoch.edu.ec

 <https://orcid.org/0000-0002-0269-4267>

ÍNDICE

CAPÍTULO I	1
1 COMPETENCIAS DE LA HUELLA HÍDRICA PARA AFLUENTES	1
1.1 Consideraciones de sectores para la evaluación de la huella hídrica de microcuencas	1
1.1.1 Características a considerar para la evaluación de la huella hídrica del sector agropecuario	11
1.1.2 Características a considerar para la evaluación de la Huella Hídrica del sector doméstico	20
1.1.3 Características a considerar para la evaluación de la huella hídrica del sector industrial	24
1.2 Factores socioeconómicos necesarios para la evaluación de la Huella Hídrica de microcuencas	27
1.3 Factores ambientales y de modelamiento geoespacial a considerar para la evaluación de la Huella Hídrica de microcuencas	35
CAPÍTULO II	46
2 CUANTIFICACIÓN MULTISECTORIAL DE LA HUELLA HÍDRICA DE LAS MICROCUENCAS DE LA UNIDAD HIDRO GEOGRÁFICA CHIMBORAZO-EL ALTAR	46
2.1 Cuantificación de la Huella Hídrica sector agropecuario	48
2.1.1 Cálculo de la huella hídrica verde para el sector agropecuario:	49
2.2 Cuantificación de la Huella Hídrica sector doméstico	65
2.3 Cuantificación de la Huella Hídrica sector industrial	72
2.4 Cuantificación de la Huella Hídrica total:	81

CAPÍTULO III	83
3 IMPACTO DEL ÍNDICE DE ESCASEZ EN LA HUELLA HÍDRICA DE LAS MICROCUENCAS DE LA UNIDAD HIDRO GEOGRÁFICA CHAMBO-EL ALTAR	83
3.1 Evaluación de vulnerabilidad del sistema socio ecológico:	83
3.2 Cálculo del Índice de escasez hídrica en el territorio:	98
3.3 Relación índice de escasez-sostenibilidad de la Huella Hídrica:	110
CAPÍTULO IV	122
4 GESTIÓN EN LA UNIDAD HIDRO GEOGRÁFICA CHIMBORAZO – EL ALTAR	122
4.1 Panorama de la gestión y gobernanza del agua en Ecuador	122
4.2 Procesos de organización social para la gestión comunitaria del agua en el Ecuador	128
4.3 Procesos estratégicos para la gestión de microcuencas de la Unidad hidro geográfica Chimborazo- El Altar	135
BIBLIOGRAFÍA	151
De las Autoras:	161
SOFÍA CAROLINA GODOY PONCE	161
MAGDY MILENI ECHEVERRÍA GUADALUPE	162
JOHANNA ELIZABETH AYALA IZURIETA	163

CAPÍTULO I

1 COMPETENCIAS DE LA HUELLA HÍDRICA PARA AFLUENTES

1.1 Consideraciones de sectores para la evaluación de la huella hídrica de microcuencas

La creciente población mundial requiere más recursos para satisfacer sus necesidades básicas, sin embargo, esa necesidad conlleva a la generación de posibles impactos ambientales negativos, como el calentamiento global por las emisiones de CO₂ y la escasez de agua. Una de las principales competencias que tiene la evaluación de la huella hídrica de afluentes es la de evaluar la cantidad de agua dulce utilizada por los humanos y el nivel de sostenibilidad de las regiones que proporcionan estos recursos, contribuyendo con ello al desarrollo de estrategias de gestión pública.

Las extracciones de agua dulce han aumentado a nivel mundial en un 1% anual desde los años 80, debido principalmente a la creciente demanda en los países en desarrollo. La urbanización acelerada y el aumento del nivel de vida, el incremento de la demanda de agua, alimentos (especialmente carne) y energía, inevitablemente traen consigo impactos que alteran generalmente las condiciones aceptables de los afluentes en el marco de los servicios ecosistémico como

proveedores, reguladores, de apoyo y servicios de carácter cultural (UNESCO, 2016).

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) advierte que el agua es uno de los mayores desafíos del siglo XXI, ya que es esencial para la producción agrícola, y además constituye el elemento vital de los ecosistemas. De continuar con los hábitos actuales, se estima que la demanda mundial de agua podría aumentar un 50 % para 2030 (FAO, 2018). Por su parte el *Reporte de Riesgos Globales* (World Economic Forum, 2016) advierte que la crisis del agua se encuentra dentro de los diez riesgos más relevantes para la humanidad con respecto al impacto que podría generar y la probabilidad de ocurrencia, y constituye el mayor riesgo vislumbrado en la próxima década (Bueno Pérez et al., 2019).

La región de América Latina y el Caribe se caracteriza, en términos generales, por su abundancia hídrica: aproximadamente 13.000 km³/año o casi 30% de los recursos hídricos renovables del planeta. La región incluye la mayor cuenca (el Amazonas), el mayor acuífero transfronterizo (el Guaraní), el humedal más largo (Pantanal) y el estuario más ancho del planeta (el Plata), además de la casi totalidad de los glaciares tropicales (en los Andes) y de importantes sistemas lagunares. Esta riqueza y variabilidad hídrica con gran riqueza de biodiversidad y cultural, contribuye significativamente para su desarrollo económico con importantes exportaciones de agua para

regiones con más carencia (UNESCO, 2021)

Los ríos ecuatorianos se pueden agrupar en ríos que fluyen hacia el océano Pacífico (al oeste de los Andes) y los ríos que fluyen hacia el río Amazonas (al este de los Andes). Alrededor del 88% de la población del país se asienta en el área de la cuenca del Pacífico, pero tiene solo el 11.5% del potencial hídrico. Esta disparidad genera regiones con estrés hídrico, especialmente en la estación seca, aunque parece que el país en general tiene suficientes recursos hídricos, ya que la precipitación promedio anual es de 2274 mm. La mayoría de los recursos hídricos de Ecuador provienen de aguas superficiales, con solo un 4% de agua subterránea (Araque et al., 2019)

La problemática del sector de los recursos hídricos en Ecuador se presenta como un factor determinante para el desarrollo sostenible del país. La situación de los recursos hídricos se caracteriza por la existencia ríos y otros cuerpos de agua contaminados con cargas orgánicas, sustancias tóxicas, hidrocarburos y microorganismos patógenos; la disminución de la disponibilidad de caudales superficiales en la sierra, sobreexplotación de acuíferos en la costa; la severa disminución de los glaciares (33% en los últimos 50 años); y la disminución de la superficie histórica de los páramos, agentes reguladores naturales de caudales, en al menos un 25% (*La gobernabilidad del agua en Ecuador*, 2017). Ecuador es uno de los países precursores en establecer al agua como un derecho humano.

Tomando como punto de partida que el agua es esencial para la vida, por lo que su gestión, conservación, suministro y aprovechamiento constituye una de las preocupaciones primordiales y permanentes para todos (Giler Escandón et al., 2021)

La región Sierra del Ecuador ocupa el 27% de la superficie total. El paisaje general está compuesto por dos cordilleras meridiana paralelas, con altitudes medias de 4000 a 4500 msnm. La Cordillera Occidental está constituida por un complejo volcánico sedimentario, en tanto que la Cordillera Central o Real se desarrolla sobre facies metamórficas. Estas cordilleras se encuentran coronadas por estrato volcanes con nieve permanente, algunos de los cuales se encuentran en actividad. La parte central de la Sierra está ocupada por una serie de cuencas interandinas deprimidas, separadas unas de otras por elevaciones transversales o nudos cuyas alturas no superan los 3500 msnm. Estas depresiones son fosas de origen tectónico, rellenas con sedimentos detríticos y material de origen volcánico, producto de intensa actividad volcánica y fuertes erosiones. En esta región se han desarrollado acuíferos locales y discontinuos de permeabilidad variable, generalmente de baja a media y de mediano rendimiento (Burbano et al., 2015).

La Huella Hídrica es una herramienta de evaluación de la sostenibilidad de los recursos hídricos, utilizado para cuantificar el volumen total de agua utilizada por los habitantes de una determinada

región. Es útil para cuantificar los flujos de agua a niveles geográficos inferiores y específicos que permiten conocer exactamente cuánta agua, y en qué condiciones se utiliza a través de los sistemas locales, y cuánta sería necesaria para contrarrestar las corrientes contaminada (Hoekstra et al., 2011). El consumo total de recursos hídricos, y su contaminación, por regla general, se considera en forma del volumen total de agua, lo cual es necesario para asegurar las actividades vitales. Se ha prestado poca atención a los problemas del agua, relacionado con la estructura del mundo economía, que asegura la producción de diversos bienes y servicios de consumo. Como resultado, casi no hay información, sobre el hecho de que las características de las cadenas de producción y logística significativamente afectar el volumen de consumo de agua (distribución de recursos hídricos en el espacio y tiempo) y su contaminación (Panasiuk et al., 2022)

Dentro de las metodologías más recurridas para la evaluación de la huella hídrica están las desarrollada por Hoesktra en el Manual de la Water Foodprint (WFP), que la divide en cuatro fases y cataloga al recurso hídrico en tres colores:

- Agua Azul (agua subterránea o superficial): considerándola como flujo horizontal del agua, se presenta como un concepto que agrupa en una sola idea a todo el recurso hídrico superficial y subterráneo, que representa la visión convencional de la Gestión Integral del Recurso Hídrico (Zárate et al., 2017)

Figura 1: Agua azul



- Agua verde (agua de precipitaciones): considerándola como el flujo vertical de agua, es decir, agua almacenada en el suelo que soporta la vegetación en seco y que se mantiene en el suelo, pero que no hace parte del proceso de recarga a fuentes de agua superficial o subterránea. El concepto de agua verde permite considerar a los ecosistemas naturales como un usuario visible del agua, el cual está sometido a una competencia por el recurso hídrico, que es cuantificable por este medio (Zárate et al., 2017)

Figura 2: Agua verde



- Agua gris (agua contaminada y residual): representa los vertimientos generados a causa de procesos antrópicos que llegan a fuentes de agua naturales y se identifican como una amenaza que puede alterar la condición de calidad natural del cuerpo receptor y, por tanto, reducir la disponibilidad de agua para los usuarios (Zárate et al., 2017)

Figura 3: Agua gris



La metodología propuesta en la Norma Internacional ISO 14046: Gestión Ambiental-Huella de agua. Principios, requisitos y directrices, que se la cual se centra en el Análisis de Ciclo de Vida de un proceso con enfoque más administrativo. (Guamán Eras. & Césare Coral, 2022)

La evaluación de la huella hídrica propuesta por Hoestra y en la que se sustenta esta obra consta de cuatro fases:

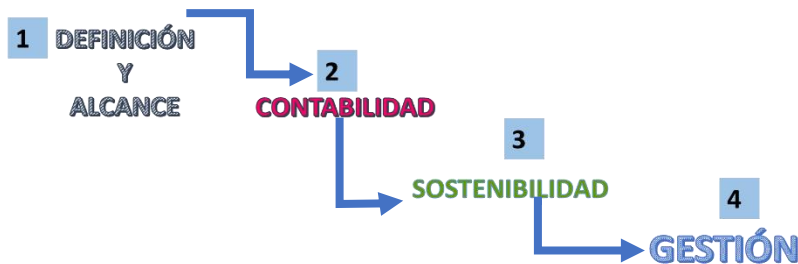
Fase 1. Definición de objetivos y alcance de la evaluación

Fase 2. Contabilidad de la huella hídrica

Fase 3. Análisis de sostenibilidad de la huella hídrica

Fase 4. Formulación de estrategias de respuesta

Figura 4: Fases de evaluación de la Huella Hídrica



Según la Delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Ecuador de la Secretaría Nacional del Agua del Ecuador (2009) la propuesta de la división por cuencas hidrográficas consideró el área total del Ecuador con sus límites definitivos:

- Vertiente del Pacífico: 72 Cuencas Hidrográficas
- Vertiente del Amazonas: 7 Cuencas Hidrográficas

- Total 79 Cuencas Hidrográficas
- Se definieron 137 subcuencas y aproximadamente 890 microcuencas.

Según CISPDR (2016) Para el Sistema Hidrográfico Vertiente del Pacífico existen 6 Demarcaciones Hidrográficas (DH) en el Ecuador: DH Mira, DH Esmeraldas, DH Manabí, DH Guayas, DH Jubones, DH Puyango-Catamayo, mientras que, para el Sistema del Amazonas existen 3 Demarcaciones Hidrográficas: DH Napo, DH Pastaza, DH Santiago.

Los recursos totales generados por km^2 , constituyen el módulo de producción de agua. El módulo de producción medio anual en Ecuador es $1,51 \text{ hm}^3/\text{km}^2$, en la Amazonía es $1,96 \text{ hm}^3/\text{km}^2$, en la región Sierra y Costa es $1,01 \text{ hm}^3/\text{km}^2$. El máximo módulo de producción de agua se da en la DH Napo con un valor de $2,11 \text{ hm}^3/\text{km}^2$ y el mínimo se da en la DH Manabí, su valor es $0,58 \text{ hm}^3/\text{km}^2$ (Changjiang Institute of Survey Planning Design and Research (CISPDR), 2016).

El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI) considera unidades hidrogeológicas con base en sus características esenciales, cuantificando en la medida de lo posible sus elementos principales: geometría, heterogeneidad geológica, productividad acuífera, piezometría y profundidad del agua, calidad química, recarga media interanual. Por lo que, las Unidades

hidrogeológicas de la Región Sierra son: Unidad de Tulcán, Unidad de Ibarra, Unidad de Quito – Machachi, Unidad de Latacunga – Ambato, Unidad Chimborazo-Altar, Unidad de Cañar-Cuenca-Giron (Burbano et al., 2015)

Burbano et al., (2015) expone que la Unidad hidrogeológica Chimborazo-Altar está ubicada en la región central del Callejón Interandino con una superficie estimada de 3905 Km². Geomorfológicamente presenta una topografía irregular y compleja. En sus flancos se alzan las cordilleras Central y Occidental, que se hallan entrelazadas por cadenas montañosas o nudos, con una altura promedio de 3600 msnm, donde se destaca la llanura de Tapi (2800 msnm.). La principal arteria hidrográfica es el río Chambo, que se origina en la confluencia de los ríos Guamote y Cebadas, hacia el noreste se une con el río Patate para formar el río Pastaza. Los depósitos recientes: aluviales, coluviales, terrazas, cangahua, volcánicos y formaciones del pleistoceno son permeables por porosidad intergranular, que han originado acuíferos con una permeabilidad variable, generalmente baja. Las formaciones volcánicas son depósitos permeables por fisuración, produciendo acuíferos locales o discontinuos de permeabilidad baja a media, dependiendo del grado de fracturamiento que éstos presenten.

Sectores recomendados para la evaluación de la huella hídrica de microcuencas de la unidad hidro geológica Chimborazo-el Altar:

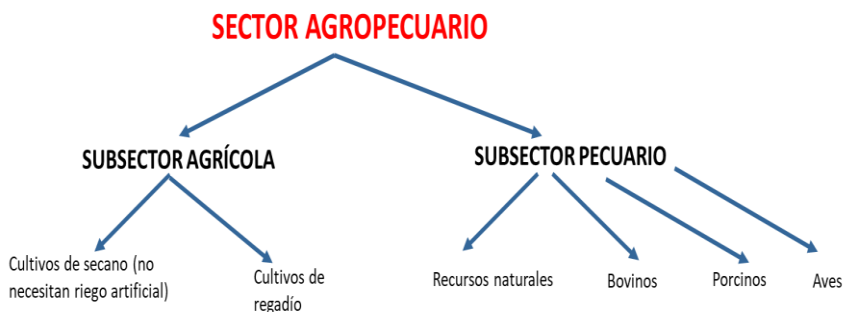
Sea cual fuere la microcuenca objeto de estudio dentro de la Unidad hidro geológica Chimborazo- Altar se recomienda considerar para la evaluación de su Huella Hídrica Total, tres sectores de análisis:

- sector agropecuario
- sector doméstico
- sector industrial

1.1.1 Características a considerar para la evaluación de la huella hídrica del sector agropecuario

El productor, es la persona que se dedica a trabajar la tierra, en labores agrícolas y pecuarias; su perfil consta de: instrucción formal, definición cultural y sexo

Figura 5: Componentes del sector agropecuario



1.1.1.1 Subsector agrícola

Determinar los problemas que impiden el desarrollo del sector agropecuario es tan necesario para que los tomadores de decisiones no pasen por alto la contribución del trabajo y las dimensiones sociales de la agricultura y la gobernanza de los recursos hídricos (Camacho,

2008).

El agua en el suelo constituye un recurso fundamental para las actividades agrícolas, por lo que su disponibilidad resulta esencial para el crecimiento y desarrollo vegetal. En la medida en que el agua se vuelve cada vez más escasa y la necesidad se torna más apremiante, es indispensable realizar mediciones avanzadas y técnicas de evaluación del manejo de los recursos hídricos. Alrededor del 17% de la superficie cultivada del mundo está irrigada y aporta más de un tercio de la producción total mundial de alimentos. En todo el mundo, la agricultura de regadío utiliza la mayor parte de las extracciones de agua de los suministros de agua superficial y subterránea. Por lo tanto, la cuantificación precisa del uso del agua en los cultivos es crucial para una mejor gestión y asignación de los recursos hídricos (Villazón et al., 2021)

Para el cálculo de la huella hídrica del sector agrícola se deberá considerar primeramente el valor de irrigación efectiva (I_{ef}) que equivale a la diferencia entre el uso real de agua de cultivo (ET_a) y el valor equivalente a la precipitación efectiva (P_e), Evapotranspiración de referencia (ET_o), coeficiente del cultivo (K_c), Evapotranspiración potencial del cultivo (ET_c), Punto de Marchitez Permanente (PMP)

La I_{ef} es agua usada para la agricultura o el riego de cosechas, según el Banco de Desarrollo para América Latina y el Caribe (CAF), (2013), el uso eficiente del agua en la agricultura es el factor más

importante para mejorar la sustentabilidad en zonas con poca disponibilidad del recurso, donde la tecnología es considerada un factor crucial en el manejo de semillas y suelos para incrementar la producción de alimento.

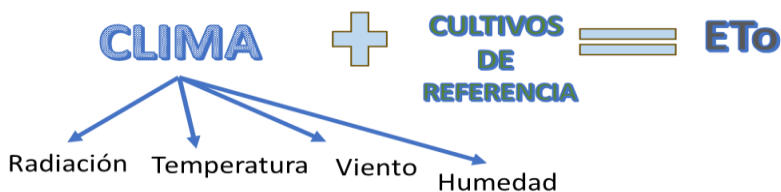
La Eta o Evapotranspiración es la suma de las cantidades de agua evaporadas a partir del suelo y las transpiradas por los vegetales, bajo condiciones atmosféricas, de suelo y de vegetación existentes. Como lo establece la Zárate et al., (2017), se conoce como evapotranspiración (ET) a la suma de dos procesos separados de pérdida de agua líquida:

- El primero se da a través de la superficie del suelo por evaporación, que es el fenómeno por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua (vaporización) y escapa de la superficie evaporante (remoción de vapor). El agua se evapora de diversas superficies: cuerpos de agua superficial (lagos, ríos), suelos y la vegetación.
- El segundo hace referencia a la transpiración de un cultivo, que es el fenómeno por el cual se da la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior transferencia hacia la atmósfera. La evapotranspiración en la cuenca es un fenómeno natural, que ocurre según las condiciones climáticas y la vegetación natural existente

Debido a que es muy complicado medir las pérdidas de agua

vía evapotranspiración cuando hay tantos factores que condicionan el intercambio de agua en el sistema, se pensó un cultivo hipotético de pasto, de cobertura total y desarrollado en condiciones de abundante agua, que no es afectado por el tipo de manejo, ni las características del suelo. Al aislar únicamente la influencia de los factores climáticos en evapotranspiración del cultivo, se logró sentar una referencia de que tanta humedad se evapotranspirará en un cultivo desarrollado en condiciones óptimas. Es decir, el agua que ocuparía este cultivo para desempeñar completamente sus procesos fisiológicos, según la zona o localidad. A este cultivo de pasto se le conoce como cultivo de referencia, y al valor de evapotranspiración del mismo, se le conoce como ET_0 (Evapotranspiración de referencia) (CGIAR CGSpace, n.d.)

Figura 5: Evapotranspiración de referencia



Según Villazón et al., (2021), La P_e es la parte de la lluvia caída en un sitio determinado que puede ser aprovechada directa o indirectamente por los cultivos establecidos en el área.

Según CGIAR CGSpace, (n.d.), K_c representa las diferencias en evapotranspiración de un cultivo diferente al de referencia, con respecto al cultivo de referencia. De modo que K_c permite calcular el

consumo de agua o evapotranspiración real de un cultivo en particular, a partir de la evapotranspiración de referencia.

- El K_c varía en dependencia del cultivo, variedad, estado de desarrollo, y demanda de atmosférica de agua
- E_{Tc} es la evapotranspiración potencial del cultivo específico, calculada al multiplicar el K_c por E_{To} . Lo que el cultivo debería evapotranspirar en óptimas condiciones.
- PMP es el punto de humedad mínima en el cual una planta no puede seguir extrayendo agua del suelo y no puede recuperarse de la pérdida hídrica, aunque la humedad en el suelo este a saturación.

Se deberá tomar en cuenta datos agro climatológicos como:

- Temperatura
- Humedad relativa
- Viento
- Insolación
- Radiación

Variables edáficas:

- Agua disponible total: agua almacenada en el suelo que se encuentra a disposición de la planta. Expresada generalmente en cm/cm
- Tasa de Infiltración: velocidad con que el agua penetra al suelo a través de la superficie
- Profundidad Radicular máxima: profundidad efectiva de las raíces
- Humedad del suelo

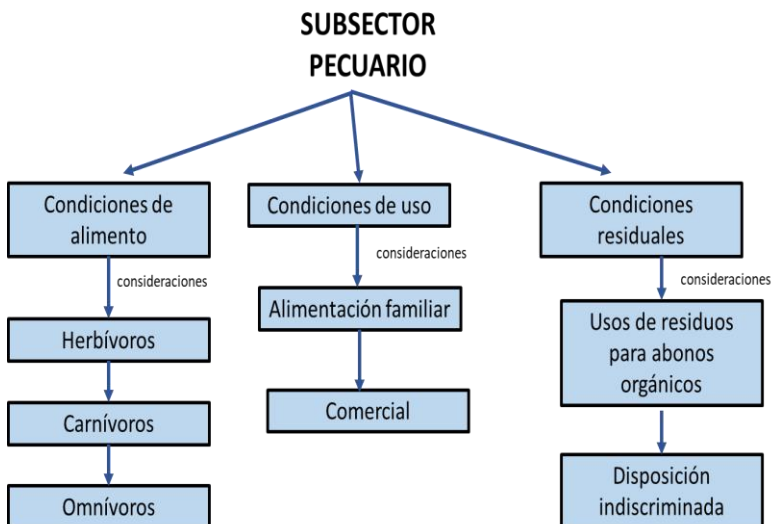
- Capacidad de Campo: el límite superior del agua aprovechable por la planta. Coincide con el inicio de las raíces.

Variables de cultivo: Consideradas para los cultivos más representativos de la zona de estudio

- Fecha de siembra y cosecha del cultivo
- Coeficiente del cultivo (K_c)
- Profundidad radicular
- Agotamiento crítico: con una variación de 0,4 a 0,6
- Factor de respuesta del rendimiento: variable que es específica para cada cultivo
- Altura del cultivo

1.1.1.2 Subsector Pecuario

Figura 6: Elementos de análisis subsector pecuario



El subsector pecuario abarcará principalmente: bovino, equino, porcino, y aves

Para este sector será un requerimiento contar con información como:

- La cantidad de Excreta fecal
- Valor de lixiviación
- Concentración de nitrógeno amoniacal natural
- Concentración de nitrógeno amoniacal máximo expresado por la normativa

Sin embargo, para obtener la información antes mencionada será fundamental como lo indica el Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia - CTA, (2013) identificar condiciones de alimento, uso y residual.

Condiciones de alimento:

Corresponderá a la *Huella Hídrica* verde de los pastos presentes en las microcuencas, que son utilizados para la alimentación de equinos y bovinos. Reconociendo que el consumo de pastos por animal dependerá, entre otros factores, del peso promedio, se estima que un bovino consume diariamente en materia seca un promedio de 2,7% de su peso vivo, y también se deberá considerar los porcentajes de forraje verde con base en revisión documentada correspondiente a la zona de estudio. En resumen, los componentes esenciales para el análisis de la huella hídrica de este sector serán:

- El requerimiento de materia seca por animal
- El peso del animal dependiendo de su edad.
- El valor asumido de requerimiento de materia seca con relación al peso total del bovino

En el caso de los equinos se utilizarán los siguientes datos de referencia:

- Peso promedio del equino
- Requerimiento de materia seca por día
- Humedad del forraje verde

Es importante señalar que, para los subsectores bovino, equino, porcino, y aves, también se usan concentrados para la alimentación; sin embargo, estos no se tomarán en cuenta dentro del cálculo de Huella Hídrica del alimento, ya que éstos corresponden al sector industrial.

Condiciones de uso:

Se deberá presentar valores promedio de consumo diario de agua para los subsectores bovino, equino, caprino, porcino y aves. Para el subsector bovino se identificará el consumo diario de agua promedio para animales en cuatro categorías de análisis:

- hembras y machos mayores de 36 meses
- hembras y machos entre 24 y 36 meses
- hembras y machos entre 12 y 24 meses
- hembras y machos menores de 12 meses

Para el caso de los equinos, se presentará un valor promedio L/día/animal tanto para caballos como para mulares y asnales y será utilizado en los cálculos de la Huella Hídrica.

En el subsector aves, se deberá reportar un valor promedio de consumo de agua por L/animal/día; este valor se tomará como referencia para calcular la Huella Hídrica Azul del subsector aves asociada al consumo de agua.

Para el subsector porcino también se considerarán los valores de consumo de agua diarios promedio de L/animal/días reportados en instituciones pertinentes.

Condiciones residuales:

Se deberá tener en cuenta que la información que se logre determinar en la zona de estudio será de carácter muy general y que no existirá diferencia entre ganadería de carne y ganadería de leche, ni entre aves de engorde o de postura; sin embargo, son valores que permitirán tener un dato aproximado de estos consumos de agua.

El número de bovinos y equinos en un área determinada estará relacionado proporcionalmente con el área de pastos en esa área y con el tipo de manejo de los animales.

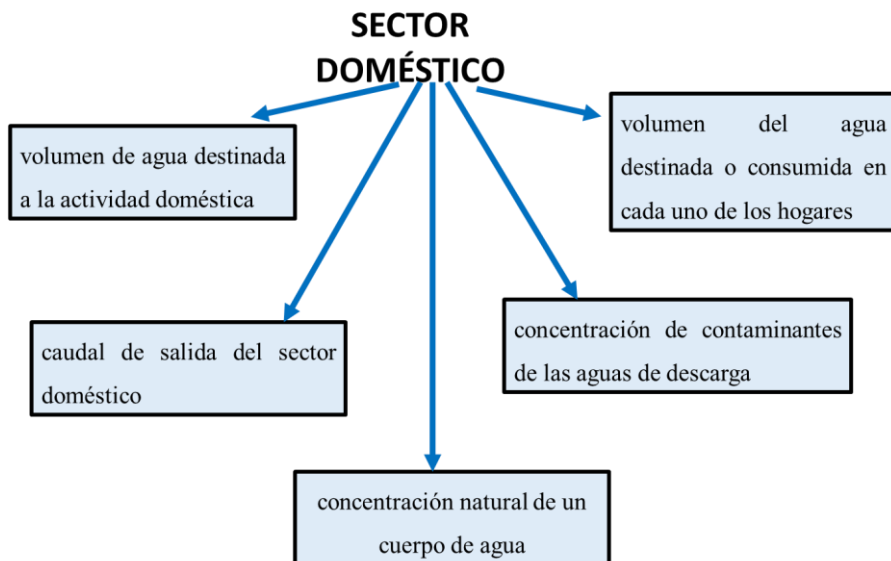
Para esta guía metodológica se asumirá que en aquellos territorios que no están totalmente incluidos dentro de la microcuenca, el número de animales dentro de la microcuenca será proporcional al área en pastos dentro de ésta. Se asumirá también que el número de

porcinos y aves dentro de la microcuenca será proporcional al área de cada territorio que está dentro de la microcuenca, por ejemplo, si un territorio X tiene el 20% de su área dentro de la cuenca, se asumirá que el 20% de los animales de estos subsectores estará dentro de la microcuenca.

Se deberá considerar también los valores de contaminantes en las excretas fecales de los animales.

1.1.2 Características a considerar para la evaluación de la Huella Hídrica del sector doméstico

Figura 7: Requerimientos de análisis Huella Hídrica sector doméstico



La obtención de la huella hídrica para el sector doméstico deberá considerar aquellos puntos críticos directos desde la fuente de abastecimiento hasta el punto de distribución del agua de consumo

humano, es decir, se deberá considerar el uso directo que tiene el agua para las diferentes actividades antropogénicas ya sea de consumo y su abastecimiento mediante los sistemas establecidos por los Gobiernos Autónomos Descentralizados competentes.

Como requerimiento básico para la estimación de la Huella Hídrica de este sector se deberá considerar:

- el volumen de agua destinada a la actividad doméstica
- el volumen del agua destinada o consumida en cada uno de los hogares en los que tenga incidencia la microcuenca estudiada
- Caudal de salida del sector doméstico
- Concentración de contaminantes de las aguas de descarga
- Concentración natural de un cuerpo de agua

Este componente toma como referencia el modelo de cuestionario “para agua, saneamiento e higiene para todos” de la Herramienta 4-Cuestionario para la recopilación de datos relativos a los recursos hídricos desglosados por sexo propuesto por Pangare et al., (2022)

Se deberá encontrar información relevante respecto a:

- Acceso de los hogares al agua potable para consumo humano y doméstico
- Responsabilidades y toma de decisiones dentro de las familias
- Acceso de los hogares a un saneamiento e higiene seguros

- Acceso a servicios de saneamiento e higiene seguros en lugares públicos y comunales

Para cada componente se requerirán los siguientes indicadores:

Acceso de los hogares al agua potable para consumo humano y doméstico:

- Número de usuarios registrados conectados al abastecimiento de agua corriente
- Número de hogares no conectados a la red de abastecimiento de agua corriente
- Número de hogares en los que se recoge agua para consumo humano de fuentes de agua protegidas/no protegidas
- Número de hogares en que se compra habitualmente agua para beber/para uso doméstico a vendedores de agua

Responsabilidades y toma de decisiones dentro de las familias:

- División de responsabilidades por sexo, edad y posición en el hogar para agua que sea segura para uso doméstico
- Percepción de los miembros del hogar con respecto al tiempo empleado en recoger agua
- Percepciones y opiniones de los miembros del hogar con respecto a la toma de decisiones dentro del hogar sobre la asignación del agua para diferentes usos, la eficiencia en el uso del agua, y su reutilización, si la hubiera.

Acceso de los hogares a un saneamiento e higiene seguros:

- Disposición y capacidad de los miembros del hogar, para asignar parte del presupuesto del hogar a la construcción y mantenimiento de una instalación de saneamiento, incluida una instalación de lavado de manos con agua y jabón
- Uso y percepción por los miembros de 1) la utilidad, 2) la accesibilidad, 3) la calidad (limpieza, higiene, cantidad de agua para la limpieza) de la instalación de saneamiento e higiene existente (especificando el tipo de instalación) y del área de lavado.
- Número de hogares conectados/no conectados a una red de aguas residuales o a un medio alternativo de eliminación de aguas cloacales

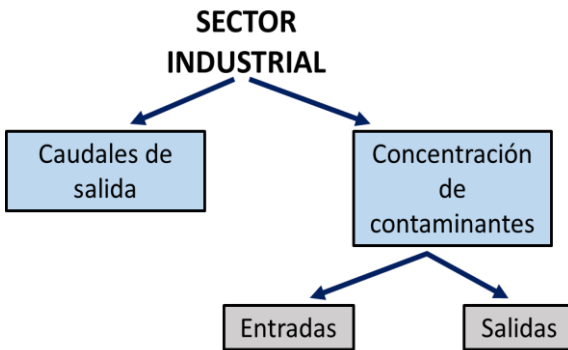
Acceso a servicios de saneamiento e higiene seguros en lugares públicos y comunales:

- Percepciones y preocupaciones
- Número de escuelas primarias, secundarias y superiores que cuentan con instalaciones separadas de saneamiento e higiene/ para niños y niñas, y profesores
- Percepciones y preocupaciones respecto a 1) la disponibilidad; 2) la accesibilidad; 3) la calidad (limpieza, higiene, cantidad de agua para la limpieza); y 4) la seguridad de los servicios de agua, saneamiento e higiene para los adultos/niños/ancianos/personas con capacidades diferentes,

en los lugares públicos (como mercados, hospitales, lugares turísticos, plazas)

1.1.3 Características a considerar para la evaluación de la huella hídrica del sector industrial

Figura 8: Requerimientos de análisis Huella Hídrica sector industrial



Debido a la diversidad del sector industrial y que su huella corresponde al agua consumida y por lo tanto no devuelta al sistema. Un gran obstáculo suele ser el acceso a la información de uso del agua de la industria, por lo que hay que acudir a estadísticas nacionales o sectoriales, y a menudo realizar estimativos y suposiciones. Para la huella hídrica gris, será necesario conocer los caudales de entrada y salida del proceso, y su concentración de contaminantes, también a la entrada y a la salida. De manera general, la huella hídrica azul se calcula a menudo a través de un balance de agua del proceso, restando el caudal de salida al caudal de entrada. Se estima que la diferencia ha sido evaporada o incorporada durante el proceso (Zárate et al., 2017)

Para el cálculo de la Huella Hídrica de este sector será

importante considerar lo establecido en la Guía metodológica para la evaluación de la huella hídrica en una cuenca hidrográfica propuesta por Zárate et al., (2017)

- La caracterización del sector industrial conforme al catálogo de actividades económicas que se encuentran establecidas en el Sistema Único de Información Ambiental (SUIA) del Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica del Ecuador
- Número de empresas existentes y su consumo de agua en el área de la microcuenca
- El volumen de agua usada o Volumen de agua extraída por las industrias
- El porcentaje de no retorno de agua a la cuenca o Volumen del efluente
- Caudal de salida del sector industrial
- Concentración de la carga contaminante (Concentración del contaminante de interés en el efluente)
- Norma de calidad ambiental para el contaminante de interés o concentración máxima (se refiere a la concentración máxima permisible del contaminante en el agua)
- Concentración natural del contaminante en el agua (concentración del contaminante que habría en el cuerpo de agua, sin ningún tipo de intervención humana)

- Concentración real del contaminante en el agua extraída

Este componente toma como referencia el modelo de cuestionario 'Agua para usos industriales y empresariales' de la Herramienta 4-Cuestionario para la recopilación de datos relativos a los recursos hídricos desglosados por sexo propuesto por Pangare et al., (2022)

Se deberá encontrar información relevante respecto a:

- Gestión en las industrias y empresas relacionadas con el agua
- Acceso a los ingresos y al crédito para los hombres/mujeres que administran empresas relacionadas con el agua

Para cada componente se requerirán los siguientes indicadores:

Gestión en las industrias y empresas relacionadas con el agua:

- Número de industrias y empresa relacionadas con el agua a grande y pequeña escala gestionadas
- Número de empleados y empleadas en diferentes puestos y tipos o ámbitos de trabajo, incluida la mano de obra, con sus respectivos salarios en industrias y empresas relacionadas con el agua
- Número de medidas para mejorar la eficiencia en el uso del agua y la gestión de las aguas residuales en la industria o las empresas a raíz de las contribuciones del personal y los técnicos femeninos/masculinos.

Acceso a los ingresos y al crédito para los hombres/mujeres que

administran empresas relacionadas con el agua:

- Percepción de los propietarios/propietarias de empresas relacionadas con el agua respecto a la cantidad y calidad del agua disponible (comprada y gratuita) y la estructura de tarifas para la compra de agua.
- Acceso de mujeres/hombres a créditos de distintas fuentes (bancos, instituciones financieras, fondos gubernamentales y no gubernamentales) para invertir en la creación/gestión/mejora de grandes y pequeñas industrias y empresas relacionadas con el agua.
- Número de pequeños empresarios de ambos sexos que tienen ingresos sostenibles procedentes de la prestación de servicios de abastecimiento de agua, saneamiento y gestión de aguas residuales.

1.2 Factores socioeconómicos necesarios para la evaluación de la Huella Hídrica de microcuencas

La Huella Hídrica debe ser analizada como lo que es, un indicador agregado del consumo de agua que puede ser útil para medir la evolución de estos consumos a lo largo del tiempo y comprobar qué patrones insostenibles de uso del recurso se han modificado, tal vez mediante la mayor toma de conciencia de la población(Chafla et al., 2021). La huella hídrica refleja básicamente la apropiación humana de agua dulce en términos de volumen. Comparar la huella hídrica

humana con la disponibilidad de agua dulce real es parte del análisis de sostenibilidad de la huella hídrica,

Ecuador, si bien es un país que cuenta con importantes fuentes y reservas de agua dulce, no es menos cierto que los fenómenos globales como el cambio climático obliga a tomar una mayor conciencia sobre el uso responsable de los recursos escasos, entre ellos, el agua dulce.(Chafla et al., 2021).

Hay que tener presente que la simpleza didáctica que presenta la metodología desarrollada por la Huella Hídrica y que consiste en resumir en una sola medida volumétrica el consumo total de agua necesaria para los procesos de producción y consumo de las personas, industrias, ciudades y cuencas hidrográficas, es una idea absolutamente seductora, y que mal enfocada puede llevar a tomar decisiones equivocadas por parte de los hacedores de política pública que la quieran utilizar como medida. La Huella Hídrica debe ser analizada como lo que es, un indicador agregado del consumo de agua que puede ser útil para medir la evolución de estos consumos a lo largo del tiempo y comprobar qué patrones insostenibles de uso del recurso se han modificado, tal vez mediante la mayor toma de conciencia de la población. En este sentido, la Huella Hídrica puede ser utilizada como un indicador de seguimiento que ofrezca información sobre los avances en temas de eficiencia, equidad, sustentabilidad y responsabilidad social de una población determinada.

Los factores sociales y políticos tienen que ver con las aptitudes o atributos de las comunidades y de las organizaciones existentes en la zona, que les permitan identificar las actividades que pueden propiciar la eventual pérdida de servicios ecosistémicos, valorar sus consecuencias y tomar decisiones efectivas para evitar su ocurrencia o mitigar sus efectos negativos. Los factores sociales necesarios para la evaluación de la Huella Hídrica deben incluir toda la información necesaria para describir la población que se localiza en el área de estudio, la cual debe guardar una estrecha relación con los usos del suelo y por ende con los usos del agua en las microcuencas (Von Hildebrand et al., 2018).

Para el análisis de la Huella hídrica de las microcuencas en la zona de estudio será necesario recabar la siguiente información:

Detalles sobre la persona entrevistada:

- Sexo: Hombre, mujer
- Parentesco o relación con el / la jefe / a del hogar
- Número de años cumplidos
- Inscripción en el Registro Civil
- Seguro de salud
- Condición de Discapacidad
- Lugar de nacimiento
- Lugar donde habita
- Identificación según su cultura y costumbres

- Estado conyugal
- Afiliación
- Número de hijos
- Ocupación

Tipo de vivienda:

Se deberá identificar si es vivienda particular, colectiva o la vez si la población a la que se dirijan no posee vivienda: Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos del Ecuador, existen los siguientes tipos de vivienda en la zona de estudio:

Vivienda Particular:

- Casa/villa
- Departamento en casa/edificio
- Cuarto (s) en casa de inquilinato
- Mediagua
- Rancho
- Covacha
- Choza
- Otra vivienda particular

Vivienda Colectiva:

- Hotel, pensión, residencial u hostel
- Cuartel Militar o de Policía / Bomberos
- Centro de rehabilitación social / Cárcel
- Centro de acogida y protección para niños y niñas, mujeres e

indigentes

- Hospital, clínica, etc.
- Convento o institución religiosa
- Asilo de ancianos u orfanato
- Otra vivienda colectiva

Datos de vivienda:

- Propiedad de la vivienda
- Material pre dominante del techo o cubierta de la vivienda
- material pre dominante de las paredes exteriores de la vivienda
- material predominante del piso de la vivienda
- Lugar de procedencia principal del agua que recibe la vivienda:
 - De red pública
 - De pozo
 - De río, vertiente, acequia o canal
 - De carro repartidor
 - Otro (Agua lluvia/albarrada)

Condiciones del agua que recibe la vivienda:

- Por tubería dentro de la vivienda
- Por tubería fuera de la vivienda, pero dentro del edificio, lote o terreno
- Por tubería fuera del edificio, lote o terreno
- No recibe agua por tubería sino por otros medios

Condiciones del servicio higiénico o escusado de la vivienda:

- Conexión a red pública de alcantarillado
- Conexión a pozo séptico
- Conexión a pozo ciego
- Con descarga directa al río, lago, o quebrada
- Letrina
- No tiene

Disposición de la basura de la vivienda:

- Por carro recolector
- Arrojan en terreno baldío o quebrada
- La queman
- La entierran
- La arrojan al río, acequia o canal
- Otras formas

Datos del Hogar:

- Presencia de cuarto o espacio exclusivo para cocinar
- Exclusividad del servicio higiénico o escusado disponible el hogar
- Disposición en el hogar de espacio con instalaciones y/o ducha para bañarse
- Condiciones del agua que toman los miembros del hogar:
 - Si la beben tal como llega al hogar
 - Si la hierven
 - Colocación de cloro

- Filtrado
- Compra de agua purificada

Pangare et al., (2022), sugieren que adicionalmente de los indicadores expuestos, se debería incluir la perspectiva de género, el seguimiento en la presentación de informes sobre los recursos hídricos y una lista de indicadores conceptuales con perspectiva de género abarcando los siguientes temas prioritarios:

- Gobernanza de los recursos hídricos con perspectiva de género;
- Agua potable, saneamiento e higiene;
- Recursos de conocimientos relativos al género;
- Gestión de los recursos hídricos transfronterizos;
- Agua para usos agrícolas;
- Agua para la industria y las empresas;
- Gestión de los recursos hídricos basada en los derechos humanos;
- Agua, migración, desplazamientos y cambio climático;
- Conocimientos autóctonos y tradicionales, y derechos comunitarios sobre el agua; y
- Educación y formación sobre recursos hídricos.

En el análisis socioeconómico de la Huella Hídrica de las microcuencas de esta zona se sugiere contemplar como lo recomiendan López & Contreras, (2022) la distribución, gestión y

acciones de preservación y sostenibilidad hídrica, para tener una visión más integral del estado hídrico del sector, destacando con ello, la necesidad de incorporar al análisis las implicaciones de carácter socioeconómico alrededor del tema hídrico para así encaminar futuras investigaciones en un contexto postpandemia, donde se ha demostrado que varias de las estrategias epidemiológicas se basan en el acceso a bienes y servicios básicos, siendo el agua uno de ellos, y cuya garantía de acceso implica el desarrollo de estrategias sostenidas y sostenibles, así como la profundización en la generación de conocimiento que den pie a políticas públicas congruentes para las necesidades de la población.

También es preciso referir las propuestas de Von Hildebrand et al., (2018) que recomiendan incluir dentro de este tipo de indicadores a la fortaleza de las organizaciones comunitarias de la región para enfrentar las amenazas que se relacionan estrechamente con su capacidad de gestión. En esta capacidad intervienen factores político administrativos que se relacionan principalmente con aptitudes o atributos de dichas organizaciones como:

- Actitudes de justicia y equidad.
- Capacidad administrativa, transparencia y rendición de cuentas
- Capacidad de las organizaciones para tomar decisiones sobre estrategias de manejo y uso del entorno natural y con respecto a actividades y situaciones que afectan o pueden afectar la

integridad de los espacios de uso y los elementos clave de biodiversidad asociados

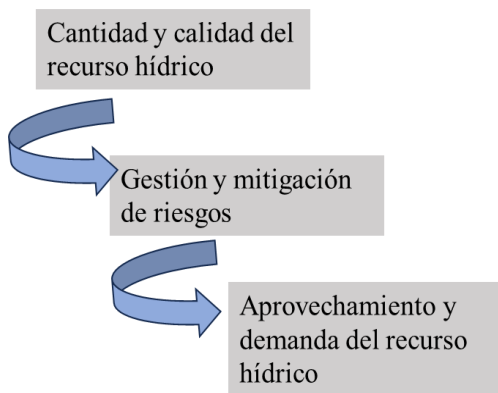
- Capacidad de las organizaciones para la gestión y negociación con agentes externos cuyas acciones o actividades puedan afectar de manera negativa las condiciones del entorno natural en el territorio.
- Capacidad de las organizaciones para influir en las instancias locales o nacionales en los asuntos que puedan afectar su territorio.
- Capacidad de las organizaciones para generar alianzas que permitan consolidar su capacidad para influir en las decisiones territoriales.

1.3 Factores ambientales y de modelamiento geoespacial a considerar para la evaluación de la Huella Hídrica de microcuencas

Estos factores corresponden directamente a la cartografía base e información temática de línea base para la descripción del área de estudio y a los aspectos generales de las microcuencas. Se puede considerar información relacionada con la delimitación de la cuenca, red de drenajes, cuencas y subcuencas, infraestructura vial, de servicios, centros poblados, cabeceras municipales, e información sobre geología, suelos, coberturas terrestres y localización de sectores, entre otros.

Figura 9: Factores ambientales y geospaciales de la Huella Hídrica

FACTORES AMBIENTALES Y GEOESPACIALES



Con base en lo que sugieren Guamán Eras. & Césare Coral, (2022), el modelamiento geoespacial permitirá tener un razonamiento espacial de nuestra área de estudio mediante el uso de sistemas de información geográfica que consisten en la elaboración de mapas base del área de estudio, ubicación de las microcuencas, cargada de información geográfica y alfanumérica para dar una correlación espacial y determinar un valor de salida y aproximación a cada ubicación; y finalmente la etapa en donde se crea el mapa final en el que se deberán analizar los factores que intervienen dentro de nuestro estudio.

Considerando el Proyecto Gestión Integrada de Recursos Hídricos de las Cuencas Transfronterizas y Acuíferos de Puyango-

Tumbes, (2020), se toma como referencia el listado de aspectos e indicadores ambientales que se deberían considerar para la gestión integrada de aguas superficiales y subterráneas de una cuenca:

Cantidad y calidad del recurso hídrico:

- Parámetros que cumplen los estándares establecidos en el protocolo binacional de calidad del agua: El indicador muestra el número de parámetros que cumplen los estándares establecidos en el protocolo binacional de calidad del agua, en todos los n monitoreos que se ejecutan conforme al plan de monitoreo anual. Se deberá contar con resultados de laboratorio de los parámetros monitoreados en la microcuenca. Se tendrá como limitantes una vez que se establezca una cantidad de parámetros a ser monitoreados y la misma no varíe, el indicador podrá ser medido de manera porcentual.
- Porcentaje del área de “ecosistemas generadores de agua” bajo acciones de conservación: Se considera como “ecosistemas generadores de agua” a aquellos ecosistemas que proveen agua para satisfacer la demanda humana, vinculada con diferentes usos, como: doméstico, industrial, agrícola, etc., brindando de esta manera un servicio en el que no se debe comprometer o alterar su sostenibilidad. El indicador establece, de manera porcentual, el área de ecosistemas considerados como generadores de agua, en los cuales se ejecutan acciones de

conservación como: reforestación, silvopasturas, conservación de suelos y aguas, etc.; esto con respecto al área total de ecosistemas considerados como generadores de agua. Para este indicador se deberá considerar un listado y ubicación georreferenciada de sitios y áreas considerados como ecosistemas generadores de agua dentro de la microcuenca, así como un listado y ubicación georreferenciada de sitios y áreas donde se realizan acciones de conservación en ecosistemas considerados como generadores de agua dentro de la cuenca.

- Porcentaje de la población con acceso a agua segura en calidad: El indicador determina, de manera porcentual, el número de personas con acceso a agua segura en calidad, es decir que utilizan suministros de agua potable de buena calidad; esto con respecto al número total de la población en la cuenca hídrica. Para ello, específicamente se requerirá el número de personas con acceso a agua potable dentro de la microcuenca, el número total de la población en la cuenca, el listado de plantas potabilizadoras identificadas como deficientes en la microcuenca, el número de personas que utilizan plantas potabilizadoras identificadas como deficientes en la microcuenca.
- Número de puntos contaminantes que aplican medidas de mitigación: El indicador muestra la cantidad de lugares que se

identifican como vertientes contaminantes, de origen domiciliar o industrial, que afectan la calidad del agua de la microcuenca hidrográfica, en los cuales se aplican medidas de mitigación como la implementación de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTARs) con buena operatividad. Se requerirá un listado y ubicación georreferenciada de puntos donde se identifican vertientes contaminantes de origen domiciliar o industrial, el listado de puntos de aguas residuales donde se utilizan PTARs antes de la descarga al cuerpo receptor en toda la microcuenca, listado de PTARs con buena operatividad en toda la microcuenca.

Gestión y mitigación de riesgos:

- Porcentaje de zonas vulnerables con medidas de adaptación y mitigación: El indicador determina, de manera porcentual, el número de zonas consideradas como vulnerables a riesgos hidrológicos en las cuales se implementan medidas de adaptación y mitigación, es decir, acciones que reduzcan la probabilidad de ocurrencia o disminuyan el impacto de los riesgos; esto con respecto al número total de zonas consideradas como vulnerables en la cuenca hidrográfica. Se deberá considerar un listado y ubicación georreferenciada de zonas consideradas como vulnerables a riesgos hidrológicos dentro de la microcuenca, así como de zonas vulnerables

donde se implementan medidas de adaptación dentro de la microcuenca.

- Número de instituciones públicas y privadas que aplican líneas de acción en seguridad hídrica: El indicador muestra la cantidad de instituciones, públicas y privadas, que aplican líneas de acción en seguridad hídrica, como: identificar y caracterizar las áreas críticas, vulnerabilidad y riesgo asociados a la variabilidad y cambio climático sobre el recurso hídrico en la microcuenca, estructurar una base de datos georreferenciada que contenga información sobre los riesgos y efectos relacionados con la variabilidad y cambio climático en la microcuenca, diseñar e implementar un sistema efectivo de comunicación y alerta temprana ante la presencia de eventos hídricos extremos, diseñar e implementar programas para mitigar los efectos derivados de la variabilidad y cambio climático en la cuenca.

Aprovechamiento y demanda del recurso hídrico:

- Volumen de agua disponible en la microcuenca: El indicador determina el volumen de agua superficial, subterránea y almacenada que está disponible para cubrir las diferentes demandas en la microcuenca, tanto para los servicios ecosistémicos como para cubrir la demanda para la dotación poblacional y la demanda de los sectores agrícola, energético,

minero e industrial. Se requerirá el volumen de agua contabilizado a través de las autorizaciones/derechos a uso de agua superficial, el volumen de agua contabilizado a través de las autorizaciones/derechos a uso de agua subterránea (pozos), el volumen de agua contabilizado a través de sistemas de medición de caudales para dotación de agua potable o de riego, un listado y volumen de puntos de agua almacenada en reservorios dentro de la microcuenca.

Existe una diversidad de indicadores ambientales que deberían considerarse según la condición de cada microcuenca, por tal motivo también, se presentan aquellos relacionados con la vulnerabilidad del entorno natural, como lo expresan Von Hildebrand et al., (2018): Una característica importante de los ecosistemas es su capacidad de recuperarse de los efectos de perturbaciones naturales o generadas por el ser humano y no sufrir degradación en el tiempo. Esta capacidad se mantiene en la medida en que la composición (las especies de fauna, flora y microorganismos que habitan los ecosistemas y su componente abiótico), la estructura (abundancia de especies, densidad, tamaños, etc.) y el funcionamiento (el papel de las especies, las relaciones entre ellas y con su medio ambiente físico) de un ecosistema permanezcan relativamente constantes. En esta situación se considera que el ecosistema está en *estado estable* y es cuando puede producir toda una gama de bienes y servicios que son objeto de valoración por el hombre

(servicios ecosistémicos).

Según Von Hildebrand et al., (2018) se deberá considerar para el análisis de la vulnerabilidad del entorno natural la transformación de las coberturas naturales y capacidad ecosistémica de asimilación de los efectos de perturbaciones:

Cuando la gravedad de la alteración de un ecosistema ha sido suficiente para causar un cambio de estado, el alcance de su degradación y del conjunto de ecosistemas que existen en un paisaje, puede medirse mediante el análisis del cambio de las coberturas de la tierra, con el uso de un mapa o de imágenes satelitales. Los niveles de alteración de un ecosistema o de un paisaje ecológico se pueden diferenciar en cinco niveles: intacto, salpicado, jaspeado, fragmentado y relicto.

- *Intacto*: cuando menos del 10 % del hábitat natural (coberturas naturales) ha sido destruido.
- *Salpicado*: Si la destrucción afecta entre el 10 y el 30 % del territorio
- *Jaspeado*: Si la destrucción de la cobertura natural va del 30 al 50 %
- *Fragmentado*: Cuando la destrucción de la cobertura natural abarca del 50 al 80 % del territorio
- *Relicto*: Cuando la destrucción afecta a más del 80 % de la extensión del territorio, las pocas áreas aún bajo cobertura

natural tienden a ser pequeñas y a estar separadas unas de otras.

Mientras mayor sea la proporción del paisaje (o de un ecosistema) bajo coberturas transformadas (pérdida de hábitat natural), mayor es el alcance de la degradación ecosistémica y menor la capacidad del paisaje (o de un ecosistema) para asimilar los efectos de las perturbaciones y, por tanto, mayor su vulnerabilidad (Von Hildebrand et al., 2018).

Entre otros factores e indicadores ambientales se podrán considerar:

- Índice anual de productividad cultivos
- Superficie total afectada por ingreso de turistas
- Superficie total de páramo con ganado en libre pastoreo
- Superficie total de páramo en área protegida
- Superficie total de áreas degradadas
- Superficie total de taludes desprotegidos e inestables en microcuencas
- Superficie total de cultivos o pastizales ubicados en suelos no aptos recuperados a través de reforestación y/o revegetación y mantenimiento.
- Superficie total de cobertura boscosa y vegetación nativa
- Superficie total con cobertura boscosa y vegetación nativa de propiedad privada en microcuencas
- Calidad de la cobertura de los bordes de los ríos y quebradas, misma que garantiza la estabilidad de los taludes, evita la erosión, y contribuye directamente con la calidad del agua.

Figura 10: Modelo geoespacial Unidad hidro geográfica Chimborazo- El Altar

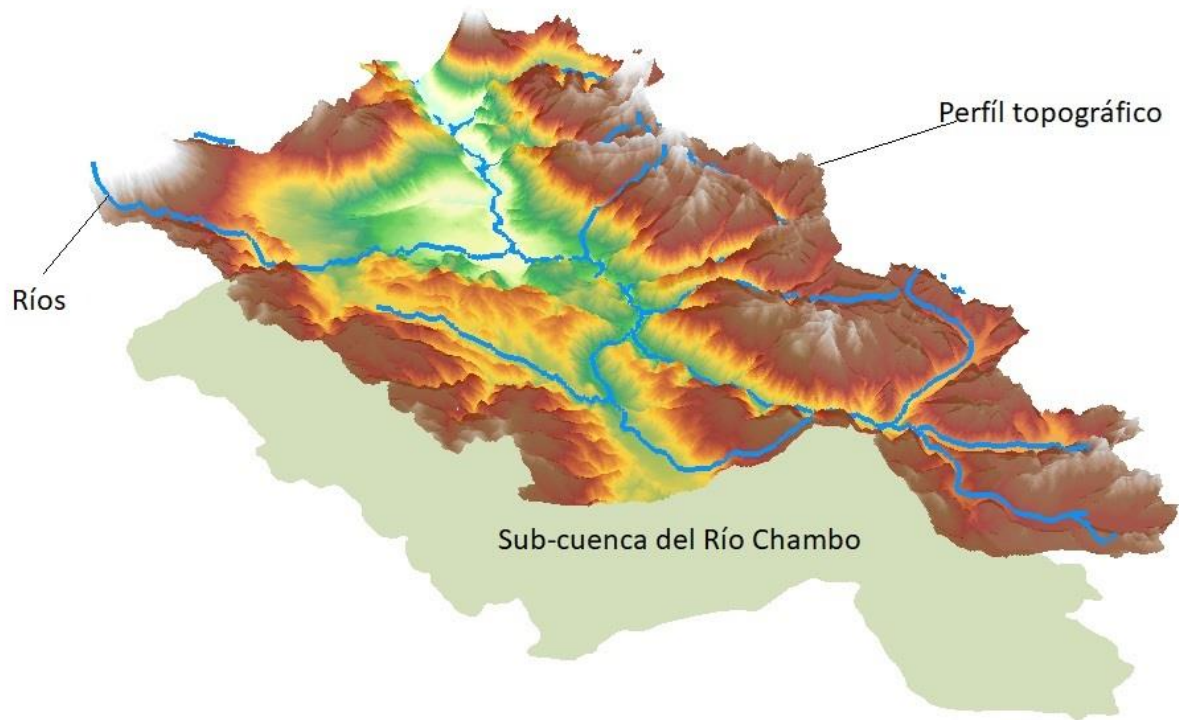
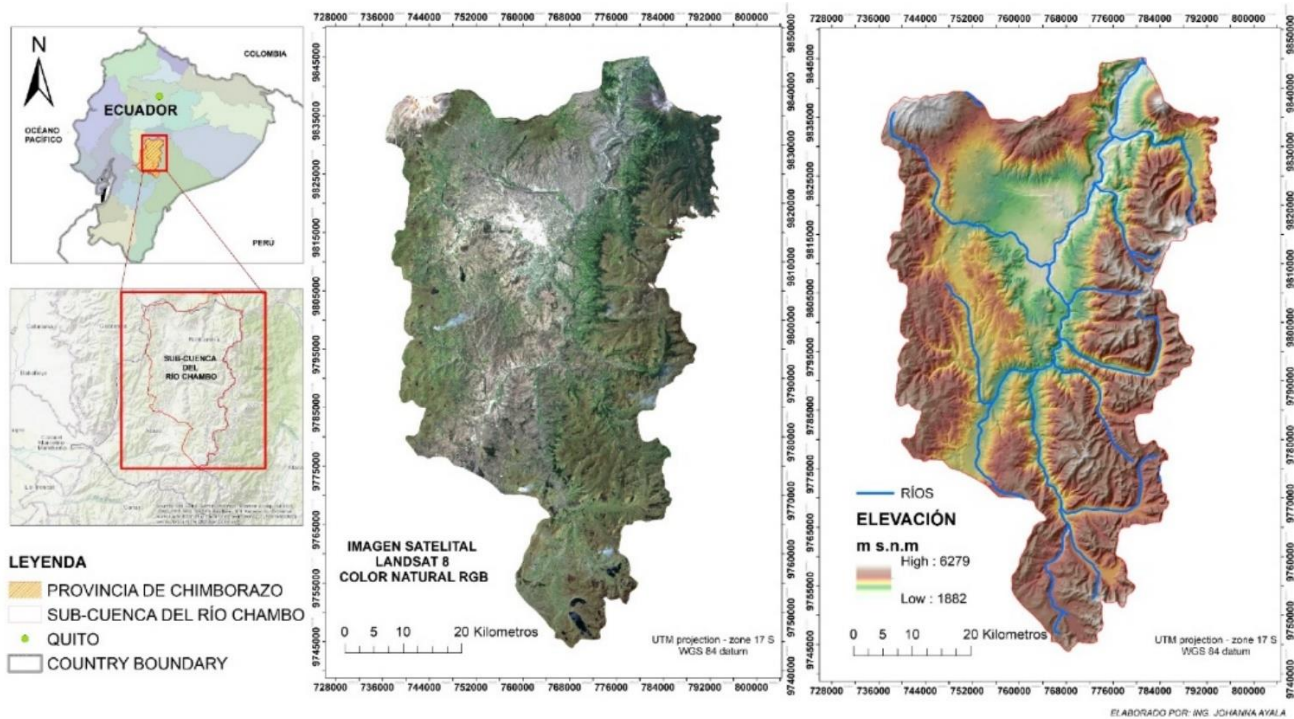


Figura 11: Imagen satelital Unidad hidro geográfica Chimborazo- El Altar



CAPÍTULO II

2 CUANTIFICACIÓN MULTISECTORIAL DE LA HUELLA HÍDRICA DE LAS MICROCUENCAS DE LA UNIDAD HIDRO GEOGRÁFICA CHIMBORAZO-EL ALTAR

La Huella Hídrica mide el volumen de agua consumida para producir bienes y servicios a lo largo de la cadena de producción incluyendo la medida de agua virtual incorporada a la producción de los productos. Existen algunas consideraciones para su cuantificación, una de las más importantes es que los cálculos para algunas de las preguntas involucran a todas las personas de un hogar. Si una persona vive sola o elige utilizar la calculadora como individuo, entonces será considerado como un hogar de 1 persona. Si esa persona vive en un hogar de dos o más individuos, su huella hídrica es un promedio (es decir, una media estadística) de agua uso entre todos los miembros del hogar. Esto se debe a que algunos recursos como los lavavajillas, las piscinas y el agua del césped se comparten entre los miembros de la familia, por lo que, se responde a las preguntas como un promedio para el hogar (Water Footprint Calculator, 2022)

La evaluación de la huella hídrica aplicada a microcuencas de la zona hidrogeográfica Chimborazo-El Altar como recomiendan Zárate et al., (2017) busca sumar las huellas hídricas de un mismo

color (verde, azul y gris), de todos los procesos productivos localizados en el interior de la cuenca, y entenderlas como parte del balance hídrico, con el fin de obtener una visión completa de la situación hídrica de la microcuenca, y comprender la relación entre el agua disponible en esa microcuenca, de cada tipo de agua, frente a los requerimientos existentes de este mismo tipo de agua y para un periodo de tiempo determinado.

En el caso de la evaluación de la huella hídrica de una microcuenca, se requiere obtener unidades volumétricas por unidad de tiempo, para cada sector o subsector, y para el caso del sector agrícola, aun por cultivo. Estas unidades son, por ejemplo, $m^3(\text{azul})/\text{mes}$, $m^3(\text{verde})/\text{mes}$, o $m^3(\text{gris})/\text{mes}$. Estas unidades permitirán sucesivamente la comparación de la huella hídrica total de la microcuenca con el agua disponible para uso humano. Se recomienda reportar y analizar las huellas hídricas azul, verde y gris, por separado. En el caso de otros sectores económicos, la huella hídrica por unidad de producto dependerá del tipo de producto o tipo de actividad. Por ejemplo, se puede hablar de m^3/Kwh en el caso del sector energético, de m^3/animal o m^3/kg de carne en el sector ganadero, de $m^3/\text{persona}$ en el sector doméstico, y así sucesivamente. Se recomienda reflexionar sobre el aspecto de las unidades dentro de la discusión del alcance y objetivos del estudio de la huella hídrica. En cualquier caso, dentro de la microcuenca, el hilo conductor de la contabilidad consiste en las

unidades volumétricas por unidad de tiempo y por proceso, que toma lugar dentro de la microcuenca (Zárate et al., 2017).

2.1 Cuantificación de la Huella Hídrica sector agropecuario

Siguiendo la metodología propuesta por Hoekstra et al., (2011) La huella hídrica verde es un indicador del uso que hacen los seres humanos de la llamada agua verde, que se refiere a las precipitaciones terrestres que no se transforman en escorrentía ni en aguas subterráneas, sino que se almacenan en el suelo o se quedan de forma temporal en la superficie del suelo o de la vegetación. Con el tiempo, esta parte de la precipitación se evapora o transpira a través de las plantas. El agua verde puede ser productiva para el crecimiento de los cultivos (sin embargo, no toda el agua verde puede ser asimilada por ellos, puesto que siempre habrá evaporación del suelo y porque no todos los períodos del año o zonas son adecuados para el crecimiento del cultivo). La huella hídrica verde es el volumen de agua de lluvia consumida durante el proceso de producción. Esto es especialmente importante para productos agrícolas y forestales, donde nos referimos a la evapotranspiración total del agua de lluvia (de campos y plantaciones) más el agua incorporada a los cultivos o madera recolectados.

De esta forma, la metodología estándar determina qué características tienen los fenómenos físicos asociados a un proceso humano para que se consideren como causa de pérdida de

disponibilidad, de forma que, para cualquier actividad humana, pueda ser estimada una Huella Hídrica, mayor o menor según la naturaleza del fenómeno a estudiar (Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia - CTA, 2013)

La huella hídrica verde solo está presente en el sector agrícola y pecuario y hace mención a una reducción en la disponibilidad de agua verde por disminución en la cantidad a causa de la apropiación humana, esta se estima utilizando principalmente modelos de simulación agronómico que con base en la guía metodológica para la evaluación de la Huella hídrica propuesta por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) será *Cropwat 8.0*.

2.1.1 Cálculo de la huella hídrica verde para el sector agropecuario:

- Huella Hídrica verde del subsector agrícola:

La estimación de la huella hídrica puede realizarse mediante la aplicación de *Cropwat 8.0*. que permitirá el ingreso de datos meteorológicos, datos de los cultivos más representativos del sector, datos de las características, condiciones y usos de suelos, temperatura (°C), porcentaje humedad relativa, viento (Km/día), insolación (horas), radiación (MJ/m²/día), para con ello obtener un análisis de la cantidad de agua de evapotranspiración (mm/día) requerida por un cultivo mediante las necesidades hídricas y de riego.

Respecto de los datos de las características y condiciones del

suelo será importante considerar el agua disponible total que es para el crecimiento de la biomasa y su participación en la evapotranspiración (cm/cm), tasa de Infiltración que representa el valor del suelo en saturación, la profundidad radicular máxima que representa la profundidad de los perfiles del suelo y el agotamiento inicial de la humedad del suelo (- 0% para cultivos en meses húmedos y - 50% para meses secos).

En lo que corresponde a usos del suelo se deberá identificar la distribución de los cultivos más representativos de la zona que aporten un beneficio económico a las familias de la zona de estudio considerando fecha de siembra y cosecha del cultivo (calendario agrícola), K_c (inicial, medio y final), la profundidad radicular (cm de raíz), agotamiento crítico (entre 0,4 a 0,6 y cuyos datos serán obtenidos a partir de las investigaciones que presenta la FAO basándose especialmente en el artículo de riego y drenaje; que después serán ingresados en el software *Cropwat 8.0*, para con ello determinar las características específicas para cada tipo de cultivo), factor de respuesta del rendimiento que es específico para cada cultivo y la altura del cultivo (cm).

La evapotranspiración potencial de los cultivos puede ser definida a través de la siguiente ecuación:

$$ET_c = K_c * ET_0 \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

$$ET_c = \text{Evapotranspiración potencial de cultivos}$$

K_c = coeficiente del cultivo

ET_0 = Evapotranspiración de referencia (mm/día) ,

representa la evapotranspiración a partir de una superficie hipotética de referencia que corresponde a pasto creciendo, sin ningún tipo de limitación.

Existen diferentes métodos para evaluar la ET_0 , para esta guía metodológica se recomienda hacer uso del método de Hargreaves que permite evaluar la evapotranspiración potencial solamente a partir de datos de temperaturas y de radiación solar.

$$ET_0 = 0,0023(t_{med} + 17,78)R_0 * (t_{max} - t_{min})^{0,5} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

t_{med} = temperatura media °C

R_0 = Radiación solar extraterrestre (mm/día), es un valor tabulado .

Para evaluar la Radiación Solar Extraterrestre (R_0) existen varias tablas, todas ellas en función de la latitud y del mes. La tabla original está en MJulio/m² /día, sin embargo, se deberá expresar en mm/día (de agua evaporada), sabiendo que 1 mm/día = MJulio/m²/día

t_{max} = temperatura diaria máxima

t_{min} = temperatura diaria mínima

Para el cálculo de la Huella hídrica verde del sector agrícola será necesario calcular también la evapotranspiración real de un cultivo, reconociendo que ET_0 es un valor de referencia, por lo que

quedaría expresada en la ecuación 3:

$$ET_a = K_S * ET_c \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

ET_a = Evapotranspiración real de un cultivo (mm/día)

K_S = Coeficiente de estrés hídrico

ET_c = Evapotranspiración potencial de cultivos

Reemplazando la ecuación 1 en la ecuación 3 tenemos también

que la ET_a puede ser expresada como lo indica la ecuación 4:

$$ET_a = K_S * K_c * ET_0 \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

ET_a = Evapotranspiración real de un cultivo (mm/día)

K_S = Coeficiente de estrés hídrico

K_c = coeficiente del cultivo

ET_0 = Evapotranspiración de referencia

El valor de ET_a permite la estimación directa del Requerimiento Hídrico del Cultivo (m^3/ha) como la sumatoria de la evapotranspiración acumulativa durante todo el periodo de crecimiento del cultivo (Zárate et al., 2017)

NOTA: ¿Por qué es necesario encontrar los valores de la ecuación 1, la ecuación 2, ecuación 3 y la ecuación 4?

Porque Cropwat 8.0 es un software que se basa en ellas para calcular la evapotranspiración ET_{verde} , que realmente es la variable necesaria para determinar la Huella Hídrica verde del sector agrícola.

La Huella Hídrica verde se presenta como la precipitación

efectiva y corresponde al agua proveniente de la precipitación que realmente fue utilizada por el cultivo durante el período de análisis, desde la época de siembra hasta la época de cosecha. El resultado se da en milímetros, razón por la cual es necesario multiplicar por 10 para que quede expresada en m³/ha, a lo cual se le denomina consumo de agua del cultivo (C_{ac}) y éste a su vez debe ser expresado en unidades de (m³/t) por lo cual se divide por el rendimiento del cultivo (R_c) expresado en t/ha que se puede obtener de los reportes de la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua del INEC (Ipiiales & Cuichán, 2023)

$$ET_{verde} = \min (RH_c; P_e) \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

ET_{verde} = Evapotranspiración de la Huella Hídrica verde
 (mm/día)

RH_c = requerimiento hídrico del cultivo

P_e = Precipitación efectiva

NOTA: Para calcular la ET_{verde} se recomienda hacer uso de Excel con la fórmula:

RHc	Pe	ET verde
1	2	=min (RHc; Pe)
1	2	
1	2	
1	2	

La Huella Hídrica verde será expresada en unidades de volumen de agua por unidad de masa, por lo general m^3/t , para este sector.

Se deberá calcular el agua verde utilizada por el cultivo

Al aplicar la ecuación 5 se puede destacar que el componente verde se calcula como la diferencia entre la evapotranspiración total y la evapotranspiración azul, por lo que será necesario también considerar que:

$$ET_{azul} = \min (R_{nt}; R_R) \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

ET_{azul} = Evapotranspiración azul (mm/día)

R_{nt} = Riego neto total

R_R = Requisito real de riego

NOTA: Para calcular la ET_{azul} se recomienda hacer uso de

Excel con la fórmula:

R_{nt}	R_R	ET azul
1	2	=min(R_{nt} ; R_R)
1	2	
1	2	

Entonces, otra manera de calcular la ET_{verde} es a partir de la diferencia entre la

Evapotranspiración real de un cultivo y la ET_{azul} :

$$ET_{verde} = ET_a - ET_{azul} \quad \text{Ecuación 7}$$

Así, para encontrar la Huella Hídrica verde del sector agrícola utilizaremos la siguiente expresión:

$$HH_{verde\ agrícola} = \frac{C_{ac}}{R_c} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

$HH_{verde\ agrícola}$ = Huella Hídrica verde del subsector agrícola (m³/mes)

C_{ac} = Consumo de agua del cultivo (m³/t)

R_c = Rendimiento del cultivo (t/mes)

NOTA: En el caso de la evaluación de la Huella Hídrica de una cuenca, se requiere obtener unidades volumétricas por unidad de tiempo, para cada sector o subsector, para el caso del sector agrícola, aun por cultivo. Estas unidades son, por ejemplo, m³/mes.

- Huella Hídrica azul subsector agrícola:

La Huella Hídrica Azul de este sector se obtendrá mediante la diferencia entre el requerimiento de agua del cultivo y la precipitación efectiva (Ecuación 5). Si esta diferencia es menor o igual a 0 se entenderá que no hay Huella Hídrica azul. Para su cuantificación será

NOTA: La Huella Hídrica azul del sector agrícola es equivalente a la Huella Hídrica verde, para el cálculo de la huella hídrica verde se dependió de la ET_{azul} .

necesario reconocer el balance de agua en el suelo a través de Cropwat 8.0 en el que se estimará que el cultivo en efecto recibe toda el agua que necesita, por lo que el uso potencial ET_C y el uso real de agua ET_a del cultivo es el mismo.

- Huella Hídrica gris del subsector agrícola:

Se debe comprender que como punto de partida para la evaluación de la Huella Hídrica Gris del sector agrícola está la definición de los principales contaminantes de la zona. Dado que la zona de las microcuencas de la Unidad Hidrogeológica Chimborazo-El Altar presentan indicadores socioeconómicos similares por su ubicación territorial, a manera de generalidad, se tomarán en cuenta como los principales contaminantes a los fertilizantes (análisis de fósforo y nitrógeno). A partir de ello, la Huella Hídrica gris de este subsector se calculará en función de la cantidad de fertilizante aplicado respecto a las concentraciones máximas permisibles de fósforo y nitrógeno por la legislación ecuatoriana, y a las concentraciones naturales de estos compuestos en el agua:

$$HH_{gris\ agrícola} = \frac{C_f}{C_m - C_n} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

$HH_{gris\ agrícola}$ = Huella Hídrica gris para el subsector agrícola (m³/mes)

C_f = Cantidad aplicada de fertilizante o carga añadida por el proceso (Kg/mes)

C_m = Concentración máxima permisible para el fósforo o nitrógeno (Kg/m³)

C_n = Concentración natural del fósforo o nitrógeno (Kg/m³)

Para que la $HH_{gris\ agrícola}$ pueda ser expresada en (m³/mes) será necesario considerar la siguiente ecuación:

$$C_f = (V_e * C_e) - (V_{ext} * C_{ext}) \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

C_f = Cantidad aplicada de fertilizante o carga añadida por el proceso (Kg/mes)

V_e = volumen del afluente (m³/mes)

C_e = concentración del contaminante en el efluente (Kg/m³)

V_{ext} = volumen de agua extraída (m³/mes)

C_{ext} = concentración real del contaminante en el agua extraída (Kg/m³)

Sustituyendo la Ecuación 10 en la Ecuación 9 quedaría la siguiente expresión:

$$HH_{gris\ agrícola} = \frac{(V_e * C_e) - (V_{ext} * C_{ext})}{C_m - C_n} \quad \text{Ecuación 11}$$

Entonces, para obtener la Huella Hídrica total del subsector agrícola se tendría que sumar los tres tipos de Huellas Hídricas de este subsector:

$$HH_{agrícola} = HH_{verde\ agrícola} + HH_{azul\ agrícola} +$$

$$HH_{gris\ agrícola} \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

$$HH_{agrícola} = \text{Huella Hídrica total del subsector agrícola (m}^3\text{/mes)}$$

- Huella Hídrica verde del subsector pecuario:

La Huella Hídrica verde de este subsector viene definida por la cantidad de pasto que sean cultivados y utilizados para el consumo de los animales herbívoros de la zona: ganado vacuno, caballos, burros, ovejas, cabras, etc. considerados como los animales más representativos de las microcuencas de la unidad hidro geográfica Chimborazo-El Altar. Se deberá hacer uso de Cropwat 8.0 considerando similar procedimiento que para el caso de los cultivos de la Huella hídrica verde del subsector agrícola.

NOTA: La Huella Hídrica verde del subsector pecuario considerará la Ecuación 5, La Ecuación 6, Ecuación 7 y Ecuación 8 de este documento. Se enfatiza que el cálculo será solamente para los pastos cultivados y usados como alimento de los animales, esto será conocido como Huella Hídrica de alimento $HH_{alimento}$ expresada en m^3 /mes

Los pastos ubicados en las zonas de ganadería de leche se trabajarán con rendimientos de 15 t/ha, mientras que para las demás se asumirá un rendimiento de 5 t/ha, de esta manera se halla la Huella Hídrica verde (m^3/mes) de los pastos en estas microcuencas (Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia - CTA, 2013).

Para bovinos:

Tomado como referencia a la evaluación de la Huella Hídrica en la Cuenca del Río Porce del Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia – CTA, (2013) se estima que un bovino consume diariamente en materia seca un promedio de 2,7% de su peso vivo y que el forraje verde tiene porcentajes de humedad que oscilan entre 65% a 85%. Para este tipo de estudios se recomienda asumir un porcentaje de humedad del pasto de 80%. Según estos valores de consumo de materia seca por animal y humedad del forraje verde, es posible calcular los kilogramos de pasto que consume un bovino por día dependiendo de su peso y edad:

$$R_{ms} = \frac{P_{animal} * 2.7\%}{100\%} \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

R_{ms} = Requerimiento de materia seca por animal (kg/animal*día)

P_{animal} = Peso del animal dependiendo de su edad (Kg)

2,7% = valor asumido de requerimiento de materia seca con al peso total del bovino.

Una vez determinado el R_{ms} se asumirá que el valor de materia seca corresponde al 20% del total del forraje verde y que el 80% restante es agua:

$$R_{fv} = R_{ms} + \left(R_{ms} * \frac{80\%}{20\%} \right) \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

R_{fv} = Requerimiento total del forraje aje verde por animal por día

80% = porcentaje de humedad asumido para el forraje verde.

20% = porcentaje de materia seca en el forraje verde.

Para equinos:

Se tomará en consideración el mismo procedimiento para bovinos, pero con los siguientes datos:

Peso promedio del equino = 350 kg

Requerimiento de materia seca por día = 1,5% del peso vivo del animal.

Humedad del forraje verde = 80%

NOTA: Los requerimientos de materia seca de bovinos y equinos por cada unidad territorial se deberán multiplicar por el valor de la Huella Hídrica verde en m^3/t de los pastos, para obtener un valor de consumo de agua verde en m^3

- Huella Hídrica azul del subsector pecuario:

La Huella Hídrica verde de este subsector viene definida por el volumen de agua que los animales consumen directamente para satisfacer sus requerimientos biológicos. Como se describió en el primer capítulo de este documento, para este componente, los animales a ser considerados como representativos de la zona no serán solamente herbívoros como ganado vacuno, caballos, burros, ovejas, cabras, etc. sino también que se considerarán a los porcinos y a las aves en general.

$$HH_{\text{azul pecuaria}} = R_a * N^{\circ} \text{ animales} \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde:

$HH_{\text{azul pecuaria}}$ = Huella Hídrica azul del subsector pecuario (m³/mes)

R_a = Requerimiento de agua de cada tipo de animal (m³/ animal)

$N^{\circ} \text{ animales}$ = Número de animales de cada tipo en la zona de estudio

NOTA: La Huella Hídrica azul del subsector pecuario deberá ser calculada para cada tipo de animal, es decir, deberá haber Huellas Hídricas para ganado vacuno, caballos, burros, ovejas, cabras, porcinos, aves de crianza, esto se debe a que cada especie es distinta, y sus requerimientos varían entre ellas. esto será conocido

Considerando lo expuesto por Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia – CTA, (2013)

Existen valores promedio de consumo diario de agua para las categorías bovino, equino, porcino y aves. Para los bovinos se identificará el consumo diario de agua promedio para animales en cuatro categorías de análisis: hembras y machos mayores de 36 meses, hembras y machos entre 24 y 36 meses, hembras y machos entre 12 y 24 meses, y hembras y machos menores de 12 meses. Para el caso de los equinos, se recomienda considerar un valor promedio de 35 L/día/animal. Este es un valor promedio tanto para caballos, mulas, asnos y podrá ser utilizado en los cálculos de la Huella Hídrica.

Para el grupo de las aves, el Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia – CTA, (2013) sugiere reportar un valor promedio de consumo de agua de 0,24 L/animal/día; este valor será tomado como referencia para calcular la Huella Hídrica azul de este grupo de animales asociada al consumo de agua. Para el caso de los porcinos también se recomienda un consumo de agua diario promedio de 12 L/animal/día

- Huella Hídrica gris del subsector pecuario:

Para el cálculo de la Huella Hídrica gris del subsector pecuario se deberá considerar como variable esencial de estudio a la cantidad de excretas, residuos biológicos de los animales y volumen de agua empleada para la limpieza de los lugares donde se los disponen como pueden ser galpones, establos, engordaderos de cerdos, etc.

La información para calcular la contaminación del agua por las

actividades pecuarias también suele ser bastante limitada a nivel de cuenca; por esa razón, es necesario recurrir a información secundaria de la región, así como a métodos indirectos de estimación de contaminación por animales (Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia - CTA, 2013).

$$HH_{gris\ pecuaria} = \frac{C_{exc} * V_{lix}}{C_m - C_n} \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde:

$HH_{gris\ pecuaria}$ = Huella Hídrica gris del sector pecuario (m^3 /mes)

C_{exc} = carga añadida de excretas por el proceso (Kg/mes)

V_{lix} = Volumen de lixiviados generados por excretas y agua de aseo (m^3 /mes)

C_m = Concentración máxima permisible para el nitrógeno amoniacal (Kg/ m^3)

C_n = Concentración natural del nitrógeno amoniacal (Kg/ m^3)

NOTA: La Huella Hídrica gris del subsector pecuario puede ser calculada para cada grupo de animales, es decir, Huella Hídrica gris de bovinos, de equinos, de caprinos, de porcinos, de aves. A este tipo de Huella se la identificará como Huella Hídrica de servidumbre

$HH_{residual}$ expresada en m^3 /mes

Como la información para calcular la contaminación del agua por las actividades pecuarias es bastante limitada en la unidad hidrogeográfica Chimborazo-El Altar por esa razón, será necesario recurrir a información secundaria de otras regiones. Por tal motivo bajo el amparo del Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia – CTA, (2013) se considerará la siguiente información:

Para bovinos:

Se utilizará el mismo procedimiento aplicado a la Huella Hídrica gris agrícola, contabilizando con una tasa de lixiviación del 10%, usando datos de contenidos de nitrógeno en orina y heces: excreción fecal de Nitrógeno amoniacal = 210,9 g/día y excreción urinaria de Nitrógeno amoniacal de 240,6 g/día

Para equinos:

Se utilizará el mismo procedimiento aplicado a la Huella Hídrica gris agrícola, contabilizando con una tasa de lixiviación del 10%, usando datos de contenidos de nitrógeno en orina y heces: de Nitrógeno amoniacal de 1750 g/día

Para porcinos:

Un cerdo contamina lo que tres habitantes, y un habitante contamina en promedio 0,012 kg Nitrógeno amoniacal /día.

Para aves:

Una gallina contamina lo equivalente a 0,15 y 0,25 habitantes.

Entonces, para obtener la Huella Hídrica total del subsector

pecuario se tendría que sumar los tres tipos de Huellas Hídricas de este subsector:

$$HH_{pecuario} = HH_{alimento} + HH_{uso} + HH_{residual} \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde:

$$HH_{pecuario} = \text{Huella Hídrica total del subsector pecuario (m}^3\text{/mes)}$$

La Huella Hídrica del sector agropecuario será calculada como la sumatoria de las Huellas Hídricas totales de cada subsector:

$$HH_{agropecuaria} = HH_{agricola} + HH_{pecuaria} \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde:

$$HH_{agropecuaria} = \text{Huella Hídrica sector agropecuario (m}^3\text{/mes)}$$

2.2 Cuantificación de la Huella Hídrica sector doméstico

El agua azul representa el flujo horizontal del agua, es decir, el agua de escorrentía, las fuentes de agua superficial, ríos y lagos, y fuentes de agua subterránea, acuíferos (FAO 2000). El agua azul se presenta como un concepto que agrupa en una sola idea a todo el recurso hídrico superficial y subterráneo, que representa la visión convencional de la Gestión Integral del Recurso Hídrico. El principal reto es la estimación de pérdidas por problemas en los organismos gestores de agua o la existencia de extracciones ilegales. En relación con la huella hídrica gris, influirá en gran medida el nivel de los sistemas de depuración (Zárate et al., 2017).

La huella hídrica del sector doméstico considera en el análisis

los procesos de extracción, uso, tratamiento y descarga del agua a cursos superficiales o subterráneos. Para ello, se considera en los cálculos de huella hídrica, el agua consumida en los procesos analizados y que no es devuelta al sistema (Fundación Chile, 2016).

Para este sector se establecerá como requerimiento la cuantificación de la Huella Hídrica azul y la Huella Hídrica gris.

- Huella Hídrica azul del sector doméstico:

En un determinado período, la cantidad de agua que recarga las reservas de aguas subterráneas y que fluye por un río están siempre limitadas a una cantidad determinada. El agua de los ríos y acuíferos puede ser usada para el riego o para fines domésticos o industriales, pero en cierto período no se puede consumir más de la disponible. La huella hídrica azul mide la cantidad de agua disponible consumida en un período determinado (en otras palabras, que no regresa inmediatamente a la misma zona de captación). De este modo, proporciona una medida de la cantidad de agua azul disponible consumida por los humanos. El resto, los flujos de agua subterránea y de agua superficial que no hayan sido consumidos para la actividad humana se dejan para mantener los ecosistemas que dependen de ellos (Hoekstra et al., 2011).

Para el cálculo de la Huella Hídrica azul de este sector se deberá considerar las principales

diferencias, independientemente del número de personas

abastecidas, variables como el tipo de abastecimiento de agua de consumo humano. Se deberá comprender que bajo las condiciones de la zona hidrogeológica Chimborazo-El Altar no existirá el análisis de sistemas de recolección y tratamiento de aguas servidas, pues en el área de influencia de las microcuencas los actores sociales se encuentran establecidos en asentamientos rurales que en nuestro país es uno de los principales puntos críticos de debate. Por ello, se tomarán en cuenta para esta cuantificación tres momentos:

- Momento de captación y tratamiento
- Momento de distribución
- Momento de consumo o de facturación

Se deberá tomar en cuenta que, para el análisis del momento de captación, tratamiento, y momento de distribución específicamente en la zona de estudio los mecanismos más comunes de captación de agua se dan a través de operación y mantenimiento por sistemas de gravedad sin planta de tratamiento, es decir, será agua transportada mediante tubos directamente del manantial o río, pero no está purificada.

Se dice por gravedad porque el agua cae por su propio peso, desde la captación, llega al reservorio a través de la línea de conducción, y del reservorio pasa a la comunidad por medio de la red de distribución y a cada una de las casas mediante las conexiones domiciliarias.

El sistema de gravedad es una de las formas de obtener agua limpia y purificada que consta de 5 partes:

- Captación: es una caja de concreto que protege y reúne adecuadamente el agua del manantial
- Líneas de captación: es el tramo de tubería que conduce el agua desde la captación hasta el reservorio
- Reservorio: es un tanque cuya función es almacenar y distribuir el agua desinfectada a la población en las horas de mayor consumo donde cada tubería tiene su válvula para poder operar mejor
- Red de distribución: lleva el agua desde el reservorio a las calles de la población de donde se realizan las conexiones domiciliarias.
- Conexiones domiciliarias: comprende 2 partes: parte pública y parte privada o interna. parte pública: comprende desde la abrazadera hasta la válvula de paso. La parte privada o interna: comprende desde la válvula de paso hasta el interior de la casa.

Una vez descritas las principales características de los sistemas de captación de las zonas rurales que constituyen la unidad hidrogeográfica Chimborazo-El Altar, se puede expresar el mecanismo más viable para la cuantificación de la huella hídrica del sector doméstico:

$$HH_{\text{azul doméstico}} = HH_c + HH_d + HH_{cs} \quad \text{Ecuación 19}$$

Donde:

$HH_{\text{azul doméstico}}$ = Huella Hídrica azul del sector doméstico
(m³/mes)

HH_c = Huella Hídrica azul del momento de captación y tratamiento
(m³/mes)

HH_d = Huella Hídrica azul del momento de distribución (m³/mes)

HH_{CS} = Huella Hídrica azul de consumo(m³/mes)

Para el cálculo de la HH_c se deberá considerar el caudal de captación y el caudal de entrada al tanque reservorio

$$HH_c = Q_c - Q_r \text{ Ecuación 20}$$

Donde:

Q_c = caudal de captación (m³/mes)

Q_r = caudal de entrada al tanque reservorio (m³/mes)

Para el cálculo de la HH_d se deberá considerar el caudal de vertimiento de la distribución y un factor de pérdidas y fugas

$$HH_d = 0.1 * Q_{vd} \text{ Ecuación 21}$$

Donde:

Q_{vd} = Caudal vertido de distribución (m³/mes)

El momento de distribución, la $HH_{\text{azul doméstico}}$ está constituida por el volumen de agua que no se puede contabilizar por la presencia de acometidas ilegales, fugas en las tuberías y tanques de almacenamiento. Para la mayoría de los casos se asumirá que un 10% o 0.1 del caudal que sale del tanque de almacenamiento se pierde y por

lo tanto retornaría nuevamente a la microcuenca.

Para el cálculo de la HH_{CS} se deberá considerar el caudal facturado o caudal de consumo medido y el factor de 0.1 por pérdidas y fugas técnicas.

$$HH_{CS} = 0.1 * Q_f \quad \text{Ecuación 22}$$

Donde:

Q_f = Caudal facturado o de consumo (m^3/mes)

NOTA: La $HH_{azul\ doméstico}$ total deberá ser multiplicada por el número de habitantes del espacio territorial estudiado.

El Q_f corresponde a la relación entre el caudal de consumo de agua para el uso doméstico reflejada en el documento o comprobante de pago que valida la tasa de ese consumo.

- Huella Hídrica gris del sector doméstico:

Esta Huella estará determinada por la cantidad de contaminantes diluidos en un volumen de agua, los cuales alteran los estándares de su calidad establecidos por la normativa vigente ecuatoriana, para su evaluación se considerarán únicamente las concentraciones de Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO_5) y su concentración natural.

$$HH_{gris\ doméstica} = \frac{(Q_r * C_{cr}) + (Q_{vu} * C_{cvu}) + (Q_c * C_{cc})}{C_m - C_n} \quad \text{Ecuación 23}$$

Donde:

Q_s = caudal de entrada al tanque reservorio (m^3/mes)

C_{cr} = Concentración del parámetro de análisis de calidad del agua en la entrada al tanque reservorio (Kg/m^3)

Q_{vu} = Caudal de vertidos de los usuarios (m^3/mes)

C_{cvu} = Concentración del parámetro de análisis de calidad del agua en los vertidos de los usuarios (Kg/m^3)

Q_c = Caudal de captación de la microcuenca (m^3/mes)

C_{cc} = Concentración del parámetro de análisis de calidad del agua en el punto de captación de la microcuenca (Kg/m^3)

C_m = Concentración máxima permisible para el parámetro de análisis de calidad del agua (Kg/m^3)

C_n = Concentración natural para el parámetro de análisis de calidad del agua (Kg/m^3)

La $HH_{gris\ doméstico}$ total deberá ser multiplicada por el número de usuarios del espacio territorial estudiado.

- El territorio de la zona hidrogeográfica Chimborazo-El Altar se caracteriza por presentar usuarios cuyas aguas residuales se depositan en pozos sépticos sin tratamiento alguno, por lo que para calcular el Q_{vu} será muy probablemente un gran reto, por lo que se sugiere tomar las muestras de agua directamente de uno de los puntos de la microcuenca con mayor incidencia de

domicilios cercanos al área de influencia directa.

- Los parámetros de análisis de calidad del agua considerados más representativos para esta zona hidrogeográfica será la DBO₅, Sólidos Suspendedos Totales y Nitrógeno Total.
- Se deberá calcular la $HH_{gris\ doméstico}$ por cada parámetro de análisis de calidad del agua para finalmente hacer una suma de las tres huellas y sacar su total.
- Queda a libre discusión la selección de los parámetros de análisis de calidad del agua para este sector, todo dependerá de las condiciones del territorio y los recursos disponibles.

- Cuantificación de la Huella Hídrica total del sector doméstico

Entonces, para obtener la Huella Hídrica total del sector doméstico se tendría que sumar los dos tipos de Huellas Hídricas cuantificadas:

$$HH_{doméstica} = HH_{azul\ doméstica} + HH_{gris\ doméstica} \quad \text{Ecuación 24}$$

Donde:

$$HH_{doméstica} = \text{Huella Hídrica total doméstica (m}^3\text{/mes)}$$

2.3 Cuantificación de la Huella Hídrica sector industrial

La Huella Hídrica del sector industrial se centrará en esta zona de estudio en las Huella Hídrica azul y gris, la Huella Hídrica verde se desestimaré debido a que en la zona hidro geográfica Chimborazo-El Altar no se industrializan cultivos.

Para su cuantificación se deberá realizar un balance de agua del proceso: una diferencia entre el caudal de entrada menos el caudal de salida, teniendo así, la cantidad de agua que ha sido incorporada durante el proceso o a su vez evaporada. Se considerará el agua dulce requerida para asimilar los contaminantes aceites y grasas, dadas las concentraciones naturales y los estándares ambientales para una descarga a un cuerpo de agua (Vallejo & Cartagena, 2019).

La metodología del cálculo de la Huella Hídrica para este sector estará sustentada en la metodología estándar de la Water Footprint Network (WFN), la cual define la Huella Hídrica de un proceso como el volumen total de agua dulce que se utiliza directa o indirectamente para la consecución de los fines de la empresa (Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia - CTA, 2013).

La huella de agua del sector industrial es la sumatoria de las HH azul y gris de todas las industrias presentes en la cuenca. La huella de cada industria corresponderá al agua consumida y por lo tanto no devuelta al sistema. Su cálculo considerará las entradas de agua desde las diferentes fuentes menos los consumos (aguas evaporadas, recirculadas, incorporadas en el producto y/o no devueltas al sistema dentro del periodo considerado en el estudio) (Fundación Chile, 2016)

El análisis de esta Huella Hídrica se centrará principalmente en la Huella Hídrica azul. Para el caso de la Huella Hídrica gris, los tratamientos y calidades de las descargas pueden variar de una

industria a otra, aun cuando por ley todas las descargas deban cumplir con lo establecido en la norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua, libro VI, anexo 1 del Texto Unificado Legislación Secundaria, Medio Ambiente del Ecuador.

Fundación Chile, (2016) sugiere que en el caso que no se cuente con la información referente a las entradas y salidas de agua de todas las industrias presentes, este valor se puede estimar con base en su producción. La suma de todos los productos producidos en la cuenca entrega el valor de huella del sector industrial.

Un gran obstáculo suele ser el acceso a la información de uso del agua de la industria, por lo

que hay que acudir a estadísticas nacionales o sectoriales, y a menudo realizar estimativos y suposiciones. Para la huella hídrica gris, será necesario conocer los caudales de entrada y salida del proceso, y su concentración de contaminantes, también a la entrada y a la salida (Zárate et al., 2017).

- Huella Hídrica azul del sector industrial:

Como lo expresan Hoekstra et al., (2011) la huella hídrica azul de este sector es un indicador del uso consuntivo del agua dulce superficial o subterránea:

- El agua se evapora.
- El agua se incorpora al producto.
- El agua no regresa a la misma zona de captación, por

ejemplo, regresa a otra zona de captación o al mar.

- El agua no regresa en el mismo período, por ejemplo, se extrae en un período seco y vuelve en un período húmedo.

El primer componente, la evaporación es, en general, el más significativo. Por tanto, a menudo se verá que el uso consuntivo equivale a la evaporación, pero los otros tres componentes deben incluirse cuando sean relevantes. Toda la evaporación relativa a la producción cuenta, incluyendo el agua que se evapora durante el almacenamiento, transporte, procesamiento (por ejemplo, la evaporación de agua calentada que no se recoge) y la recogida y el vertido. Cada componente de la huella hídrica azul del proceso puede medirse directa o indirectamente. Generalmente se conoce cuánta agua se añade para entrar a formar parte del producto. Normalmente no se mide directamente cuánta agua se evapora durante el almacenamiento, el transporte, el procesamiento y el vertido, pero se puede deducir de la diferencia entre la extracción y los volúmenes de vertido final (Hoekstra et al., 2011).

Según el Banco Central del Ecuador, la agroindustria constituye el sector que produce bienes facturados que tienen como materia prima a los bienes agrícolas y pecuarios. El sector agroindustrial es un importante motor dentro de la estructura productiva nacional, pues las agroindustrias aportan significativamente al total de la producción de la economía.

Dentro la actividad industrial más relevante de la unidad hidrogeográfica Chimborazo-El Altar y según la caracterización del sector industrial conforme al catálogo de actividades económicas que se encuentran establecidas en el Sistema Único de Información Ambiental (SUIA) del Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica del Ecuador se puede destacar:

- Producción de cultivos
- Producción animal:
 - Criadero de ganado vacuno, ovinos y caprinos
 - Construcción y/u operación de infraestructura para crianza de cerdos
 - Construcción y/u operación de granjas avícolas, ponedoras, pavos, de engorde y afines
 - Construcción y/u operación de infraestructura para cultivo de peces de agua dulce y granjas piscícolas
- Silvicultura y explotación forestal
- Actividades de soporte para la industria agropecuaria (Compost, fertilizantes orgánicos, biogás)
- Minería artesanal no metálica y materiales de construcción
- Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica
- Molienda de granos
- Fabricación de productos lácteos
- Fábrica de ladrillos

- Gestión de desechos

De manera general, la huella hídrica azul se calcula a menudo a través de un balance de agua del proceso, restando el caudal de salida al caudal de entrada. Se estima que la diferencia ha sido evaporada o incorporada durante el proceso.

$$HH_{\text{azul industrial}} = \left[\frac{(V_e - V_r)(S)}{P_S} \right] [P_{T\text{industrial}}][\% \text{ Agua extraída}] \quad \text{Ecuación 25}$$

Donde:

$HH_{\text{azul industrial}}$ = Huella Hídrica azul sector industrial (m^3/mes)

V_e = Promedio del volumen de agua extraída por las empresas del mismo tipo según el catálogo de actividades económicas en un mes (m^3)

V_r = Promedio del volumen de agua residual vertida por las empresas del mismo tipo según el catálogo de actividades económicas en un mes (m^3)

S = Número de empresas del mismo tipo según el catálogo de actividades económicas

P_S = Promedio de cantidad mensual producida por las empresas del mismo tipo según el catálogo de actividades económicas

$P_{T\text{industrial}}$ = Producción total del sector industrial

$\% \text{ Agua extraída}$ = Porcentaje de agua extraída de cada fuente (subterránea, superficial, lluvia, etc.)

• **NOTA:** La $HH_{\text{azul industrial}}$ deberá realizarse individualmente por cada categoría según el catálogo de actividades económicas del Ecuador.
• Entonces la $HH_{\text{azul industrial total}}$ deberá sumar cada una de las huellas azules categorizadas.

- Huella Hídrica gris del sector industrial:

Para la huella hídrica gris, será necesario conocer los caudales de entrada y salida del proceso, y su concentración de contaminantes, también a la entrada y a la salida (Zárate et al., 2017). La Huella Hídrica gris es un indicador de la contaminación, por lo que cuanto menos contaminación, mejor. El tratamiento de aguas residuales antes de su vertido se traducirá en una disminución de la huella hídrica gris, posiblemente hasta cero (Hoekstra et al., 2011).

Para el cálculo de la Huella Hídrica gris del sector industrial se deberán considerar preferentemente las recomendaciones plasmadas en el Manual de evaluación de la huella hídrica: Establecimiento del estándar mundial propuesto por Hoekstra et al., (2011), como se describe a continuación:

- Para sustancias de origen antrópico que de forma natural no están presentes en el agua, $C_n = 0$.
- Cuando no se conocen con precisión las C_n , pero se estima que sean bajas, para simplificar se puede asumir que $C_n = 0$.
- Los umbrales en las aguas subterráneas se basan generalmente en requisitos para el agua potable, mientras que las concentraciones máximas permitidas en aguas superficiales están determinadas normalmente por consideraciones ecológicas.
- Una huella hídrica gris mayor que cero no implica

automáticamente que se estén violando las normas de la calidad ambiental del agua; simplemente muestra que parte de la capacidad de asimilación ya ha sido consumida. Mientras que la huella hídrica gris calculada sea menor que el caudal del río o el flujo de aguas subterráneas, aún queda suficiente agua para diluir los contaminantes a una concentración menor que la de la norma.

- Cuando la huella hídrica gris calculada sea precisamente igual al caudal de agua ambiente, entonces la concentración resultante será exactamente la de la norma.
- Cuando el efluente contenga una gran carga de productos químicos, es posible que el cálculo de la huella hídrica gris supere el caudal del río o el flujo de aguas subterráneas. En tal caso, la contaminación sobrepasa la capacidad de asimilación de la masa de agua receptora. El hecho de que la huella hídrica gris pueda ser mayor al caudal de agua no muestra el volumen de agua contaminada (ya que no es posible contaminar un volumen superior al existente). Por el contrario, la huella hídrica gris es un indicador de la gravedad de la contaminación del agua expresada en términos de los volúmenes de agua dulce necesarios para asimilar la carga de contaminantes existente.

En el caso de las fuentes puntuales de contaminación del agua, es decir, cuando se vierten productos químicos a una masa de agua

superficial en forma de vertido de aguas residuales, se puede estimar la carga midiendo el volumen del efluente y la concentración de un producto químico en este. Es así, que la carga de un contaminante puede calcularse de la siguiente manera:

$$C_c = (V_{efluente} * C_{cefluente}) - (V_e * C_{real}) \quad \text{Ecuación 26}$$

Donde:

C_c = Carga contaminante (kg/mes)

$V_{efluente}$ = Volumen del efluente (m³/mes)

$C_{cefluente}$ = Concentración del contaminante en el efluente (kg/m³)

V_e = Volumen de extracción del agua (m³/mes)

C_{real} = Concentración real del agua extraída (kg/m³)

La Huella Hídrica gris deberá se expresa en función de la carga contaminante y de las concentraciones máximas y naturales de la zona de estudio:

$$HH_{gris\ industrial} = \frac{C_c}{C_m - C_n} * F_{dilusión} \quad \text{Ecuación 27}$$

Donde:

$HH_{gris\ industrial}$ = Huella Hídrica gris del sector industrial (m³/mes)

NOTA: $F_{dilusión}$ representa el número de veces que el volumen del efluente debe diluirse con agua ambiente para llegar al nivel de concentración máximo aceptable

C_c = Carga contaminante (kg/mes)

C_m = Concentración máxima permisible del contaminante (Kg/m³)

C_n = Concentración natural del contaminante (Kg/m³)

$F_{dilución}$ = Factor de dilución

- Cuantificación de la Huella Hídrica gris total

Para calcular la Huella Hídrica total del sector industrial tenemos:

$$HH_{industrial} = HH_{azul\ industrial} + HH_{gris\ industrial} \quad \text{Ecuación 28}$$

Donde:

$HH_{industrial}$ = Huella Hídrica industrial total (m³/mes)

NOTA: La $HH_{industrial}$ deberá realizarse individualmente por cada categoría según el catálogo de actividades económicas del Ecuador.

Entonces la $HH_{industrial\ total}$ deberá sumar cada una de las huellas grises categorizadas.

2.4 Cuantificación de la Huella Hídrica total:

La Huella Hídrica total será considerada como una guía de identificación de los estándares que posee el agua, recurso que reciben las comunidades y parroquias entorno a la Unidad hidro geográfica Chimborazo- El Altar, permitiendo el desarrollo de actividades cotidianas de trabajo, así también, el análisis de la contaminación que estas actividades generan con cada uno de sus procesos (Álvarez &

Andrade, 2021)

Para el cálculo de la huella hídrica de una microcuenca se realizará la sumatoria de las Huellas Hídricas de todos los sectores analizados:

$$HH_{total} = HH_{agropecuaria} + HH_{doméstica} + HH_{industrial} \quad \text{Ecuación 29}$$

Al definir la Huella Hídrica de un sector como el volumen total de agua dulce que se usa directa o indirectamente para sus procesos, su estimación se debe realizar considerando el consumo de agua y la contaminación generada (Hoekstra et al., 2011)

NOTA: Cada territorio tiene sus particularidades por lo que la metodología de cálculo propuesta podrá ser ajustada a las necesidades de estudio.

CAPÍTULO III

3 IMPACTO DEL ÍNDICE DE ESCASEZ EN LA HUELLA HÍDRICA DE LAS MICROCUENCAS DE LA UNIDAD HIDRO GEOGRÁFICA CHAMBO-EL ALTAR

3.1 Evaluación de vulnerabilidad del sistema socio ecológico:

En nuestra sociedad, las condiciones biofísicas del entorno son identificadas primariamente a través de las observaciones del sistema científico y sus interacciones con el resto de la sociedad. La sociedad moderna es una sociedad funcionalmente diferenciada y cada subsistema cumple una función para la sociedad, resuelve un problema de referencia y produce una perspectiva de observación. Es así como la economía resuelve el problema de la escasez material de recursos (en una economía monetaria ésta se duplica como escasez de dinero) y ve el mundo como un recurso escaso que debe ser distribuido (Urquiza Gómez & Cadenas, 2015).

La política tiene como función el generar decisiones colectivamente vinculantes y tiene como horizonte el problema del poder para tomar dichas decisiones, la moral divide al mundo entre lo bueno y lo malo, y asume reflexivamente que dicha distinción puede

ser, a su vez, buena o mala, los medios de comunicación de masas tienen por función difundir comunicaciones más allá de los presentes en una interacción, y la ciencia tiene como función la generación de conocimientos y por este motivo, los problemas ambientales que no son comunicados no existen socialmente y cuando son comunicados suelen ser codificados por alguno de los sistemas funcionales. Un problema ambiental se identifica como una amenaza solo cuando se comunica sobre él independiente de que pudiese estar presente hace mucho más tiempo en el entorno ecológico (Urquiza Gómez & Cadenas, 2015).

La vulnerabilidad del sistema socio ecológico frente a la eventual ocurrencia de una actividad capaz de desencadenar la pérdida de servicios ecosistémicos, depende de la capacidad del entorno natural para asimilar los efectos de la misma y de la capacidad del entorno sociocultural, ya sea para evitar que la actividad se produzca o para minimizar sus efectos negativos (Von Hildebrand et al., 2018).

La sustentabilidad de sistemas socio ecológicos urbanos y rurales encuentra su expresión más incluyente en el estudio de vulnerabilidad ante desastres potenciales. La vulnerabilidad puede ser medida y el conocimiento de sus características puede contribuir a mitigar, y aumentar la adaptabilidad y resiliencia de los sistemas socio ecológicos. La visión de sistemas socio ecológicos y de servicios ecosistémicos está permeando en la toma de decisiones, estos

enfoques permiten tener una visión sistémica del país y la generación de políticas públicas transversales (Balvanera et al., 2017). En la actualidad, existe un interés especial en el análisis de la vulnerabilidad y resiliencia de los sistemas humanos en el contexto de la degradación ambiental y los desastres naturales, con el objetivo de generar políticas efectivas que favorezcan la sostenibilidad de las comunidades, y fortalecer la capacidad de manejo de los sistemas tanto humanos como ecológicos (Zabala & Victorino, 2019). Una característica importante que tienen los sistemas socio ecológicos es la resiliencia, que apela a la capacidad que tiene el sistema de afrontar situaciones adversas, recuperarse de ellas y continuar con su desarrollo. La resiliencia comunitaria refiere a la capacidad de disposición que favorece a los sistemas sociales e institucionales para enfrentar las dificultades, problemas y coyunturas sociales y naturales que a la postre coadyuvan al fortalecimiento de las funciones, estructuras e identidades de las personas y sus colectivos (Álvarez Trinidad & Grajales Castillejos, 2022)

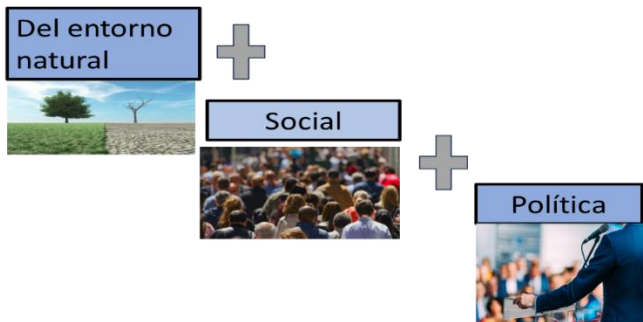
Esta sección se sustenta en las orientaciones técnicas para la caracterización y mapeo de servicios ecosistémicos y la evaluación del riesgo de su eventual pérdida en las comunidades indígenas propuestas por Von Hildebrand et al., (2018), que sugieren los siguientes aspectos:

- La capacidad del entorno socio ecológico depende principalmente, de factores ecológicos, sociales y políticos.

- Los **factores ecológicos** se relacionan con el estado del entorno natural y, por ende, con la capacidad de los ecosistemas para asimilar los efectos negativos de la actividad sobre su composición y funcionamiento, y así evitar o minimizar la eventual pérdida de servicios ecosistémicos.
- Los **factores sociales y políticos** tienen que ver con las aptitudes o atributos de las comunidades y de las organizaciones existentes en la zona, que les permitan identificar las actividades que pueden propiciar la eventual pérdida de servicios ecosistémicos, valorar sus consecuencias y tomar decisiones efectivas para evitar su ocurrencia o mitigar sus efectos negativos.

Figura 12: Vulnerabilidad del sistema socioecológico

VULNERABILIDAD DEL SISTEMA SOCIOECOLÓGICO



Evaluación de la vulnerabilidad del entorno natural:

La capacidad del entorno natural se sujeta en la medida de tres

variables: la composición, la estructura y el funcionamiento.

- Composición: que representa a las especies de fauna, flora y microorganismos que habitan los ecosistemas y su componente abiótico.
- Estructura: relacionada con la abundancia de especies, densidad, tamaños, etc.
- Funcionamiento: se sustenta entorno al papel de las especies, las relaciones entre ellas y con su medio ambiente físico (Von Hildebrand et al., 2018).

Se deberá considerar los grados de alteración y vulnerabilidad ecológica del paisaje en función del área total de coberturas transformadas, considerando que estas coberturas son el resultado de dos tipos de tierras: las tierras artificializadas y las tierras de uso agrícola. Para ello se hará uso de la siguiente expresión:

$$\% CT = \frac{a_{CT}}{a_T} * 100 \quad \text{Ecuación 30}$$

Donde:

$\% CT$ = Porcentaje de coberturas transformadas

a_{CT} = área de coberturas transformadas (ha)

a_T = área total del territorio (ha)

Este valor en porcentaje se utiliza para calificar, desde muy alta a muy baja, la capacidad del paisaje para asimilar los efectos de las

perturbaciones (Von Hildebrand et al., 2018).

La calificación del grado de vulnerabilidad natural frente a la

NOTA: Entre más alta sea la capacidad de asimilación, menor será la vulnerabilidad del entorno natural ante los efectos de eventuales perturbaciones

cobertura transformada se describe en escala desde muy baja a muy alta. La calificación de su capacidad de asimilación se describe de manera inversa al grado de vulnerabilidad ambiental

Tabla 1. Tabla de calificación de vulnerabilidad ambiental respecto a la capacidad de asimilación

% CT	Grado de vulnerabilidad natural	Capacidad de asimilación	Valor de Vulnerabilidad
Menor al 10%	Muy baja	Muy alta	1
10 a 30 %	Baja	Alta	2
30 a 50%	Media	Media	3
50 a 80%	Alta	Baja	4
Mayor al 80%	Muy alta	Muy baja	5

NOTA: Los tipos de cobertura de tierras podrían ser tomada de las bases de datos los mapas de cobertura y uso de la tierra y sistemas productivos agropecuarios versión editada del Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador.

Evaluación de la vulnerabilidad social:

Para el análisis de la vulnerabilidad social o comunitaria, Von Hildebrand et al., (2018), sugieren como primer punto la identificación de factores sociales que intervienen en la capacidad de las comunidades para enfrentar las amenazas, como segundo punto sugieren la calificación de la capacidad de las comunidades con respecto al conocimiento y manejo ambiental del territorio y a la organización comunitaria. Como tercer punto a la calificación global de la capacidad y de la vulnerabilidad de las comunidades para enfrentar las amenazas, con respecto al conocimiento y manejo ambiental del territorio y a la organización comunitaria.

- Identificación de factores sociales que intervienen en la capacidad de las comunidades para enfrentar las amenazas: Von Hildebrand et al., (2018) refieren que para este punto se debería considerar dos variables: manejo ambiental del territorio y la organización comunitaria.
 - Manejo del territorio: se deberá encontrar información relacionada con el conocimiento comunitario del entorno natural, transmisión de tradiciones y saber comunitario, conciencia de las amenazas, protección ambiental y uso sostenible de recursos.
 - Organización comunitaria: información relacionada con el grado de cohesión comunal, seguridad física y

psicológica, espacios de participación democrática, fortaleza de liderazgos locales, canales y estrategias de comunicación.

- Calificación de la capacidad de las comunidades referentes al conocimiento y manejo ambiental del territorio y a la organización comunitaria:

Para este punto se categorizará y calificarán cada uno de los factores sociales identificados en el punto anterior. Para ello, se recomienda el sistema de calificación en la tabla 2.

Tabla 2. Categorización y calificación de cada de factores sociales

Calificación	Categoría
1	Muy baja
2	Baja
3	Media
4	Alta
5	Muy alta

NOTA: Se deberá elaborar una tabla de calificación con todos los factores sociales encontrados en el punto 1, es decir, para factores de manejo del territorio y organización comunitaria.

- Calificación global de la capacidad y de la vulnerabilidad de las comunidades para enfrentar las amenazas, con respecto al

conocimiento y manejo ambiental del territorio y a la organización comunitaria:

Von Hildebrand et al., (2018) refieren que para este componente se debería trabajar en grupos dentro de las comunidades y por cada factor manejo del territorio y organización comunitaria del punto anterior, para así calcular el promedio de los valores obtenidos en una columna a la que se le podrá denominar “Valor unificado” de las tablas anteriores. Sugieren también que El resultado se exprese en un número entre 5 y 1 que, cuando incluya cifras decimales, se debe redondear a número entero.

Tabla 3. Calificación de la vulnerabilidad frente a los factores sociales

Categoría	Calificación de la capacidad de la comunidad frente a los factores sociales: conocimiento y manejo ambiental del territorio y a organización comunitaria	Vulnerabilidad calificada
Muy baja	1	5
Baja	2	4
Media	3	3
Alta	4	2
Muy alta	5	1

Acentuando que entre más alta sea la capacidad de la comunidad, en cuanto a los factores de conocimiento y manejo ambiental del territorio y en cuanto a organización comunitaria, para enfrentar las amenazas, menor será su vulnerabilidad ante la eventual ocurrencia de actividades que causan o pueden causar la pérdida de servicios ecosistémicos. Y que cuando estas capacidades son bajas, la

vulnerabilidad de la comunidad tiende a ser alta (Von Hildebrand et al., 2018)

Evaluación de la vulnerabilidad política:

Bajo el mismo esquema sugerido por Von Hildebrand et al., (2018), el primer aspecto a considerar deberían ser los factores político administrativos predominantes en la zona de estudio como:

- Actitudes de justicia y equidad.
- Capacidad administrativa, transparencia y rendición de cuentas.
- Capacidad de las organizaciones para tomar decisiones sobre estrategias de manejo y uso del entorno natural y con respecto a actividades y situaciones que afectan o pueden afectar la integridad de los espacios de uso y los elementos clave de biodiversidad asociados.
- Capacidad de las organizaciones para la gestión y negociación con agentes externos cuyas acciones actividades puedan afectar de manera negativa las condiciones del entorno natural en el territorio.
- Capacidad de las organizaciones para influir en las instancias locales o nacionales en los asuntos que puedan afectar su territorio.
- Capacidad de las organizaciones para generar alianzas que permitan consolidar su capacidad para influir en las decisiones

territoriales.

- Los factores antes mencionados son solo ejemplos del tipo de factores político-administrativos que intervienen en la capacidad de gestión de las organizaciones comunitarias para evitar la ocurrencia
- Minimizar los efectos de actividades que causan, pueden causar la pérdida de servicios ecosistémicos.
- Los listados de factores que se ajusten a la realidad de las organizaciones comunitarias, presentes en el territorio, deben ser elaborados por cada grupo y luego presentados en plenaria para su discusión, complementación y ajuste, con el fin de obtener un listado acordado y unificado

Es decir, se deberá considerar las amenazas habituales en el territorio, identificando con ello aquellas acciones frecuentemente asumidas para enfrentarlas, y para ello, se deberá considerar la capacidad de las organizaciones para hacer frente a dichas responsabilidades, y su verdadero impacto en la gestión del territorio.

Para la calificación de este componente se deberá contar con los valores globales de la capacidad de las organizaciones comunitarias en un rango que va de Muy alta (valor de 5) a Muy baja (valor de 1). Para el efecto, se deberá considerar como referencia la Tabla 2 y la Tabla 4.

Tabla 4. Calificación del componente político-administrativo

Factores político-administrativos de la capacidad de gestión de las organizaciones comunitarias	Calificación
Actitudes de justicia y equidad	rango que va de Muy alta (valor de 5) a Muy baja (valor de 1)
Capacidad administrativa	rango que va de Muy alta (valor de 5) a Muy baja (valor de 1)
Transparencia y rendición de cuentas	rango que va de Muy alta (valor de 5) a Muy baja (valor de 1)
Toma de decisiones sobre estrategias para enfrentar amenazas	rango que va de Muy alta (valor de 5) a Muy baja (valor de 1)
Gestión y negociación con agentes externos amenazantes	rango que va de Muy alta (valor de 5) a Muy baja (valor de 1)
Influencia en instancias locales en asuntos que afectan su territorio	rango que va de Muy alta (valor de 5) a Muy baja (valor de 1)
Influencia en instancias nacionales en asuntos que afectan su territorio	rango que va de Muy alta (valor de 5) a Muy baja (valor de 1)
Generación de alianzas que permitan consolidar su capacidad de gestión	rango que va de Muy alta (valor de 5) a Muy baja (valor de 1)
Promedio de calificación de factores político-administrativos	rango que va de Muy alta (valor de 5) a Muy baja (valor de 1)
Calificación capacidad político-administrativa	Puede ser: muy baja, baja, media, alta a muy alta
Valor vulnerabilidad político-administrativa	Tabla 3 de referencia
Calificación vulnerabilidad político-administrativa	Tabla 3 de referencia

Calificación total del grado de vulnerabilidad del sistema socio ecológico:

Finalmente, en este componente se deberá calcular el valor promedio y la calificación general del sistema socio ecológico a partir

de la organización de los resultados obtenidos en su análisis, como lo sugieren (Von Hildebrand et al., 2018).

$$V_{SE} = V_E + V_C + V_O + V_P \quad \text{Ecuación 31}$$

Donde:

V_{SE} = Vulnerabilidad del sistema socio ecológico

V_E = Vulnerabilidad del entorno natural

V_C = Vulnerabilidad por conocimiento y manejo ambiental

V_O = Vulnerabilidad por organización comunitaria

V_P = Vulnerabilidad político-administrativa

Vulnerabilidad del sistema socio ecológico y Huella Hídrica:

Hoy en día, los daños a los ecosistemas limitan el desarrollo sostenible, lo que se ve exacerbado por la escasez y la alta demanda de recursos como el agua, la energía y los alimentos. Por lo tanto, existe una conexión directa entre la optimización, la generación, el uso y la distribución de recursos en la Unidad Hidro geográfica Chimborazo- El Altar considerando la Huella Hídrica y al mismo tiempo considerando el grado de vulnerabilidad y el beneficio social neto, priorizando la seguridad y el daño ambiental, en términos de tres categorías: salud humana, calidad de los ecosistemas y agotamiento de los recursos (Sánchez-Zarco & Ponce-Ortega, 2023)

Al definir los valores de la Huella Hídrica, también se contribuye a la evaluación de la Huella Ambiental, considerando el aporte de agua, su aprovechamiento y gestión a nivel del sector

agropecuario, domestico e industrial, analizados en el capítulo anterior (Hatjiathanassiadou et al., 2022).

La distribución específica de los recursos hídricos y cuantificar la seguridad hídrica son vitales para una gestión sostenible, sin embargo, aún existe una brecha sin explorar en cuanto a los indicadores de seguridad, como lo son, el vínculo entre la huella hídrica y la disponibilidad considerando la coherencia de los límites entre la huella hídrica verde y el suministro a escalas espacio-temporales múltiples y la aplicación en las microcuencas de las zonas de estudio (Liang et al., 2021).

En el contexto de una presión persistente sobre la demanda de agua, que representa principales preocupaciones sobre la responsabilidad ambiental y la seguridad alimentaria, se necesita evidencias para reflejar el grado de absorción humana de recursos naturales críticos. Los gobiernos y los responsables de la formulación de políticas pueden utilizar esos datos para desarrollar estrategias de conservación de los recursos hídricos, maximizando los beneficios económicos y sociales, los beneficios del uso del agua y adaptando sus políticas y estrategias a las necesidades futuras de agua (Alexoaei et al., 2021)

Como está expuesto en este contexto, una de las principales características del análisis de la vulnerabilidad del sistema socio ecológico es la diversidad en términos poblacionales, geográficos,

económicos, sociales, climáticos y ambientales, donde todas estas diferencias tienen una incidencia directa en la huella hídrica, ya que las diversas actividades antrópicas tienen impactos diferentes sobre el recurso hídrico. Las características hidrológicas y los usuarios del recurso hídrico también juegan un papel importante al momento de hacer la evaluación de huella hídrica (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura & Good Stuff International, 2017)

El (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura & Good Stuff International, 2017) refieren a que las variaciones en la precipitación o temporadas de sequías, por ejemplo, tienen una incidencia directa en temas de riego para la actividad agrícola, lo que conlleva a un aumento en la presión sobre las fuentes hídricas superficiales o subterráneas. A su vez, la presencia de diferentes usuarios del agua (doméstico, industrial, agrícola, industrial, entre otros), también generan impactos de acuerdo con la forma como estas actividades se apropian del recurso. Por tal motivo, se presenta una caracterización general de las condiciones hidrológicas y la distribución de la demanda hídrica para cada uno de los sectores donde se ubican las microcuencas de análisis

3.2 Cálculo del Índice de escasez hídrica en el territorio:

Figura 13: Escasez del agua



La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) advierte que el agua es uno de los mayores desafíos del siglo XXI, ya que es esencial para la producción agrícola, y además constituye el elemento vital de los ecosistemas. De continuar con los hábitos actuales, se estima que la demanda mundial de agua podría aumentar un 50 % para 2030 (Bueno Pérez et al., 2019). Lograr el futuro que queremos depende en gran medida de la gestión de los

recursos hídricos. Mejorar su eficiencia es la forma de abordar la escasez y ponerla a disposición de toda la población (UNESCO, 2021).

La escasez de agua y el uso ineficiente de este recurso amenazan la futura producción de alimentos en el mundo y, por lo tanto, la seguridad alimentaria y los medios de vida de millones de productores y consumidores. La agricultura es el mayor usuario de agua dulce del planeta, pues consume casi el 70 % de ella; precisan, por lo tanto, conceptos, metodologías, instrumentos y políticas que permitan racionalizar y hacer más eficiente el uso de este recurso, vital para el futuro de la humanidad. Mejorar la gestión del agua para contribuir a la adaptación de los sistemas agrícolas ante el cambio climático es un tema de importancia prioritaria para el sector agropecuario (Zárate et al., 2017).

Según la Guía metodológica para la evaluación de la huella hídrica en una cuenca hidrográfica de Zárate et al., (2017) nos debemos plantear la interrogante ¿Evaluar la escasez de agua o el índice de contaminación del agua por microcuenca? y para responder a la inquietud es conveniente reconocer por ejemplo que el riego es una manifestación de escasez de lluvia y se añade como suplemento, con el fin de satisfacer las necesidades de agua de un cultivo que presenta algún déficit hídrico, puesto que estas no pueden ser enteramente satisfechas por la precipitación. En este sentido, la escasez se direccionaría al análisis de la Huella Hídrica verde, sin

embargo, la metodología recomienda que este análisis debe desarrollarse principalmente entorno al agua verde o azul a nivel mensual para comprender con suficiente detalle en dónde y cuándo se localizan los puntos críticos en la microcuenca, y para así realizar asignaciones eficaces sobre el uso del agua.

Los indicadores de escasez de agua se basan en dos componentes principales: la medida del uso de agua y la disponibilidad de agua. El indicador más común de la escasez de agua azul es la relación entre la extracción anual de agua en una zona determinada y la escorrentía total anual en dicha zona, también conocida como nivel de utilización de agua, la relación entre extracción y disponibilidad o la relación entre uso y recurso (Hoekstra et al., 2011).

Según el Manual de evaluación de la huella hídrica: establecimiento del estándar mundial presentado por Hoekstra et al., (2011), se indica que la medida del uso de agua a partir de la extracción de agua no es el mejor indicador si se está interesado en el efecto que la extracción tiene al nivel de la zona de captación en su totalidad, ya que parte de la extracción de agua regresa a la zona de captación. Por tanto, refieren a que tiene más sentido expresar el uso de agua azul en términos de uso consuntivo del agua, es decir, considerando la huella hídrica azul. Refiere también que los indicadores de escasez de agua verde y azul y del nivel de contaminación de agua se han definido de manera que cuando sobrepasen el 100%, se reflejan condiciones

insostenibles e indican un punto crítico ambiental. Un punto crítico ambiental se define como el período de tiempo en una zona de captación en la que se violan las necesidades ambientales de agua verde o azul o las normas de calidad del agua.

Escasez de agua verde:

Para determinar el nivel de escasez de agua necesaria para los cultivos se deberá recurrir al uso real de agua de cultivo (ET_a) multiplicado por un coeficiente del cultivo (K_c) que dependerá de la cobertura vegetal presente. Sin embargo, para calcularla, se tendrá que recurrir al análisis de la disponibilidad de agua verde para uso humano que se estima teniendo en cuenta los flujos evaporativos de agua almacenada en el suelo como humedad proveniente de la precipitación, es decir, teniendo en cuenta la evapotranspiración real que toma lugar en la microcuenca. La evapotranspiración real depende de varios factores, entre otros, el uso del suelo. Por tanto, la disponibilidad de agua verde está estrechamente relacionada con los usos del suelo designados para la microcuenca (Zárate et al., 2017).

La disponibilidad del agua verde viene expresada en función de la evapotranspiración verde, de la evapotranspiración de zonas protegidas y la de zonas no protegidas

$$D_{av} = ET_{verde} - ET_{zp} - ET_{znp} \quad \text{Ecuación 32}$$

Donde:

D_{av} = Disponibilidad de agua verde (mm/mes)

ET_{zp} = Evapotranspiración de zonas protegidas (mm/mes)

ET_{znp} = Evapotranspiración de zonas no protegidas (mm/mes)

NOTA: D_{av} también puede ser presentada entonces como la diferencia entre la evapotranspiración real (ET_a) de toda el área geográfica de estudio y de la vegetación natural y de las zonas no productivas. Para recordar el cálculo de la (ET_a) recurrir a las ecuaciones 3 y 4 de este documento.

Para hallar el índice de escasez de agua verde, se divide entre la Huella Hídrica verde agropecuaria entre la D_{av} :

$$I_{Eav} = \frac{HH_{verde\ agropecuaria}}{D_{av}} \quad \text{Ecuación 33}$$

Donde:

I_{Eav} = Índice de escasez de agua verde

NOTA: En la Unidad hidro geográfica Chimborazo-El Altar, por sus características territoriales y político administrativas, será un gran reto conseguir datos respecto a la zonas protegidas y no protegidas, por ello, el investigador puede hacer uso de otras opciones más realistas a la situación de estudio y acoplar las metodologías ya existentes.

Escasez de agua azul:

El análisis de sostenibilidad ambiental de la huella hídrica azul busca cuantificar la apropiación de agua azul total en la microcuenca, es decir, la huella hídrica azul excede la disponibilidad de agua azul para uso humano. La metodología propuesta por Hoekstra et al., (2011) recomienda que este análisis debe desarrollarse a nivel mensual cuando se trata de una evaluación de cuenca, puesto que esta es la resolución temporal necesaria para comprender con suficiente detalle en dónde y cuándo se localizan los puntos críticos en la microcuenca, y para realizar asignaciones eficaces sobre el uso del agua (Zárate et al., 2017).

En este documento se representará dos opciones para la determinación de la escasez de agua azul. La primera de ella será a partir de la determinación del índice de escasez en proporción a la oferta y demanda hídrica. La segunda será a partir del valor de la Huella Hídrica azul total y la disponibilidad de agua azul.

Opción 1: A partir de la determinación del índice de escasez en proporción a la oferta y demanda hídrica.

$$I_e = \frac{D_{agua}}{O_{n_{agua}}} * 100 \quad \text{Ecuación 34}$$

Donde:

I_e = Índice de escasez (%)

D_{agua} = Demanda de agua (m³)

$O_{n\ agua}$ = Oferta hídrica superficial neta (m^3)

Según Costa Posada et al., (2005), la oferta hídrica superficial neta estará definida por el valor promedio de los caudales mensuales, en función de la oferta hídrica superficial total, un factor de reducción para mantener el régimen de estiaje, y un factor de reducción por régimen de irregularidad temporal de la oferta hídrica.

$$O_{n\ agua} = O_{st}(1 - R_e + R_{ie}) \quad \text{Ecuación 35}$$

$O_{n\ agua}$ = Oferta hídrica superficial neta (m^3)

O_{st} = Oferta hídrica superficial total (m^3)

R_e = factor de reducción para mantener el régimen de estiaje

R_{ie} = factor de reducción por régimen de irregularidad temporal de la oferta hídrica (%)

$$R_e = \frac{Q_{min}}{Q_o} \quad \text{Ecuación 36}$$

Donde:

R_e = factor de reducción para mantener el régimen de estiaje

Q_{min} = Caudal de estiaje con el 97,5 de probabilidad de excedencia (valor recomendado por distribución probabilística), es decir, utilizar el 97,5% de Q_o

Q_o = Caudal promedio en la fuente abastecedora o de captación (m^3/s)

Ahora bien, R_{ie} se calculará en función de coeficientes de variación por lo que se recomienda hacer uso de la siguiente tabla:

Tabla 5. Porcentaje de R_{ie} en función de coeficientes de variación

Coefficiente de variación	R_{ie} %
0 a 0,2	15
0,2 – 0,3	25
0,3 – 0,4	35
0,4 – 0,6	40
>0,6	2

Según Costa Posada et al., (2005), la Demanda hídrica se recomienda contabilizar el volumen de agua usada en el desarrollo de actividades socioeconómicas a partir de mediciones directas del volumen utilizado.

$$D_{agua} = D_{doméstico} + D_{industrial} \quad \text{Ecuación 37}$$

Donde:

D_{agua} = Demanda hídrica (m^3)

$D_{doméstico}$ = Demanda del sector doméstico (m^3)

$D_{industrial}$ = Demanda del sector industrial (m^3)

$$D_{doméstico} = (D_u * N^{\circ}_u) + (D_r * N^{\circ}_r) \quad \text{Ecuación 38}$$

Donde:

D_u = Demanda per cápita urbana (m^3 /hab/mes)

N°_u = Número de habitantes zona urbana

D_r = Demanda per cápita rural (m^3 /hab/mes)

N°_r = Número de habitantes zona rural

$$D_{industrial} = \sum_{i=1}^n V_p * F_c \quad \text{Ecuación 39}$$

Donde:

V_p = Volumen de producción (m³)

F_c = Factor de consumo de agua por tipo de producción

n = número de sectores de producción considerados

- La Opción 1 y una vez definido el índice de escasez, se podrá comprobar su significado bajo la siguiente escala:

Tabla 6. Referencias del índice de escasez

I_e	Referencia
Alto	Demanda alcanza el 40% de la oferta abastecedora
Medio	El nivel de demanda del agua se encuentra entre el 20 y el 40% de la oferta
Moderado	El nivel de demanda de agua estará entre el 10 al 20% de la oferta
Bajo	La demanda de agua no supera el 10% de la oferta hídrica

- La Opción 2: A partir del valor de la Huella Hídrica azul total y la disponibilidad de agua azul.

Con base en la Guía metodológica para la evaluación de la huella hídrica en una cuenca hidrográfica propuesta por Zárate et al., (2017) para poder definir la escasez del agua azul se deberá determinar la disponibilidad de esta en la microcuenca en función de las variables oferta y el caudal ecológico.

- El caudal ecológico será considerado como la cantidad necesaria de agua para que los ecosistemas y las necesidades básicas humanas se mantengan.
- La Oferta hídrica corresponde a la esorrentía natural, es decir, antes de la intervención humana

$$D_{azul} = Oferta - Caudal_{ecológico} \quad \text{Ecuación 40}$$

Donde:

$$D_{azul} = \text{Disponibilidad de agua azul (m}^3/\text{mes)}$$

Para esto se tomará un registro histórico de un periodo determinado que podrá ser entregado por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) del Ecuador. El caudal deberá ser tomado con base de la conversión de las precipitaciones promedio mensual, mientras que, a partir del caudal se calculará el requerimiento natural, el cual es el valor necesario para preservar la vida de los ecosistemas, a este también se lo denomina como caudal ecológico o disponibilidad real, y se obtendrá aplicando la siguiente ecuación

según lo establecen Guamán Eras. & Césare Coral, (2022):

$$Req_{nat} = D_{nat} * 80\% \quad \text{Ecuación 41}$$

Donde:

Req_{nat} = Requerimiento natural

D_{nat} = Disponibilidad natural

La D_{nat} se obtendrá a partir de la transformación de las precipitaciones medias mensuales en caudal promedio de las microcuencas de interés.

$$Caudal_{ecológico} = D_{nat} - Req_{nat} \quad \text{Ecuación 42}$$

Donde:

Al caudal promedio de las microcuencas de interés que permitió calcular la D_{nat} se le restará el $Caudal_{ecológico}$, es decir que, el $Caudal_{ecológico}$ de la microcuenca será el 80 por ciento de la escorrentía total.

Como lo establecen Guamán Eras. & Césare Coral, (2022) para transformar de escorrentía a caudal total se deberá utilizar el método racional:

$$Q = \frac{C * I * A}{3,6} \quad \text{Ecuación 43}$$

Donde:

Q = caudal (m³/segundo)

C = Coeficiente de escorrentía

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

A = Área de la microcuenca (Km²)

NOTA: Recordar que todas las unidades deberán ser expresadas en función de la Huella Hídrica (m³/mes), por lo que se deberán hacer las respectivas conversiones según la necesidad

Una vez obtenidos los datos de D_{azul} se procederá con el cálculo de la escasez de agua azul:

$$E_{azul} = \frac{HH_{azul}}{D_{azul}} \quad \text{Ecuación 44}$$

Donde:

E_{azul} = Escasez de agua azul

HH_{azul} = Huella Hídrica azul total (m³/mes)

D_{azul} = Disponibilidad de agua azul (m³/mes)

Con los datos obtenidos se obtendrá el cálculo de E_{azul} que permitirá identificar las microcuencas con una situación de insostenibilidad ambiental y así realizar una priorización de estas. De la misma manera, cuando se calcula a nivel mensual, es posible identificar los meses del año en los cuales la situación requiere atención y, por tanto, genera oportunidades de acción (Zárate et al., 2017).

3.3 Relación índice de escasez-sostenibilidad de la Huella Hídrica:

Para la fase del análisis de la sostenibilidad, se tomará en consideración la perspectiva geográfica examinando la sostenibilidad de la huella hídrica agregada de un área determinada como lo es una microcuenca y en específico el objeto de este documento de la Unidad hidro geográfica Chimborazo – El Altar, pues se trata de una unidad natural en la que se pueden comparar fácilmente la huella hídrica y la disponibilidad hídrica y donde tiene lugar la asignación de recursos hídricos y posibles conflictos (Hoekstra et al., 2011).

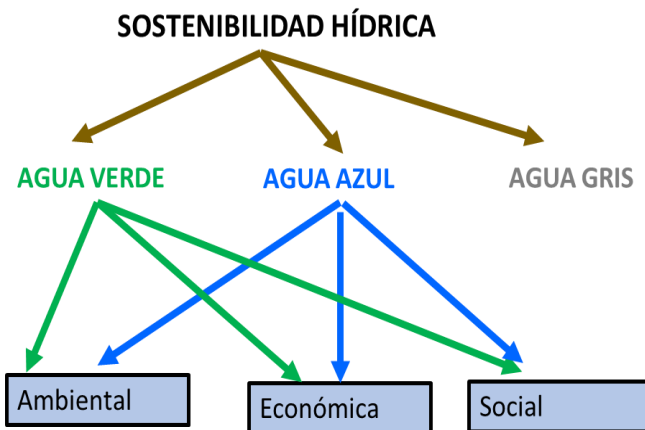
La problemática en la gestión del recurso hídrico en el Ecuador es compleja y profunda, con implicaciones de gestión, uso y aprovechamiento del recurso, contaminación, conflictos sociales, entre otros, haciendo frente a la disyuntiva para el establecimiento de mecanismos de medición del grado de progreso de una sociedad hacia la sostenibilidad, y de manera particular, el relacionado a la inversión pública en proyectos multipropósito (Rivera, 2016).

Para los tres colores del agua: verde, azul y gris, será necesario considerar la sostenibilidad bajo los tres elementos que la definen: ambiente, economía y sociedad. Por lo tanto, se deberá definir: sostenibilidad ambiental, sostenibilidad económica y sostenibilidad social del agua verde, azul y gris.

El Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia - CTA, (2013)

sugiere que con los tres análisis (ambiental, social y económico) de las tres *Huellas Hídricas (Verde, Azul y Gris)*, en todas las microcuencas de la Unidad Hidro geográfica Chimborazo-El Altar y todos de forma mensual (12 meses por año), se deberá conseguir analizar un gran número de variaciones y situaciones especiales en toda la Unidad de estudio, con lo que se obtendría finalmente la identificación de puntos clave, temporal y geográficamente explícitos, de forma que puedan ser utilizados para la toma de decisión efectiva, concreta y localizada en el espacio y en el tiempo.

Figura 14: Componentes del análisis de sostenibilidad de la Huella Hídrica



Sostenibilidad del agua verde:

- Sostenibilidad ambiental del agua verde:

Esta se deberá definir conforme en el valor de la D_{av} obtenida

según las indicaciones de la Ecuación 32 y el I_{Eav} de la Ecuación 33, es decir que:

En los casos en los que se identifica una *Huella Hídrica Verde* mensual mayor a la D_{av} , significa que los sectores agrícola y pecuario establecerían una competencia por el agua verde con el medio ambiente, poniendo en riesgo la sostenibilidad de los ecosistemas y la provisión de servicios ambientales para ese territorio. El manual de evaluación de la Huella Hídrica de Hoekstra et al., (2011) menciona que la sostenibilidad ambiental de la Huella Hídrica verde propone su cálculo mediante la los softwares CROPWAT y CLIMWAT los cuales analizan la superficie y tipo de cobertura vegetal (Guamán Eras. & Césare Coral, 2022).

El Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura & Good Stuff International, (2017) para facilitar la comprensión del resultado del índice de escasez del agua verde, han establecido seis categorías que permiten estimar su estado en cada una de las cuencas:

- **Crítico** para valores mayores a 1,0: denotan que existe clara competencia por agua verde entre el uso del suelo vinculado al sector agropecuario y las áreas naturales asociadas a ecosistemas estratégicos para la producción de agua en las cuencas.
- **Muy alto** para valores entre 0,8 y 1,0: existe evidencia de una situación límite en términos de competencia por agua verde

- **Alto** para valores entre 0,5 y 0,8: existe evidencia de una situación de competencia por agua verde.
- Sostenibilidad económica del agua verde:

Se determinará para cada uno de los subsectores que incluye el agua verde: agrícola y pecuario

Como en el proceso de contabilidad de la Huella Hídrica verde se describió que para este caso se aplicará el análisis de la producción de cultivos para el subsector agrícola y el consumo de pastos para el subsector pecuario, por lo tanto, será necesario determinar la productividad aparente de la tierra expresado en hectáreas cultivadas

$$P_{at} = p_c * R_c \quad \text{Ecuación 45}$$

Donde:

P_{at} = productividad aparente de la tierra (\$/ha)

p_c = precio de mercado de producto (\$/t)

R_c = Rendimiento de un cultivo por hectárea (t/ha)

Una vez determinado la P_{at} , será necesario también considerar para el subsector agrícola la productividad aparente del agua:

$$P_{av} = \frac{p_c}{HH_{verde\ agrícola}} \quad \text{Ecuación 46}$$

Donde:

P_{av} = Productividad aparente del agua ($\$/m^3$)

p_c = precio de mercado de producto ($\$/mes$)

$HH_{verde\ agrícola}$ = Huella Hídrica verde del sector agrícola (m^3/mes)

En la Guía metodológica para la evaluación de la Huella Hídrica en una cuenca hidrográfica propuesta por Zárata et al., (2017) nos refiere a que si el agua de las microcuencas de la Unidad hidro geográfica Chimborazo-El Altar no fuese usada desde la perspectiva de eficiencia económica entonces se relacionará con una Huella Hídrica insostenible. Esto conllevaría a que dentro de el ordenamiento territorial se promueva la producción y el consumo más eficiente considerando la escasez de agua del sector y los distintos usos a los que se la destine.

- Sostenibilidad social del agua verde:

La escasez de agua por el deterioro de su calidad y/o la limitada oferta disponible provocada por los años secos, dificulta el desarrollo de actividades industriales, agrícolas y domésticas y plantea escenarios conflictivos, por el uso del agua, de estos sectores en un territorio. En el sistema la Huella Hídrica verde está determinada por el suministro de agua verde en el área de producción, el sistema de riego, la variedad de cultivos y los agroquímicos aplicados. Por otro lado, el sector ganadero en la zona para producción de leche y sus

derivados (Vargas-Pineda et al., 2020).

Sostenibilidad del agua azul:

El análisis de sostenibilidad ambiental de la Huella Hídrica azul busca cuantificar la apropiación de agua azul total en la cuenca, es decir, la Huella Hídrica azul excede la disponibilidad de agua azul para uso humano (Zárate et al., 2017)

- Sostenibilidad ambiental del agua azul:

Este análisis a través del índice de escasez del agua azul permitirá dar a conocer si se excede o no la disponibilidad del agua azul para el uso humano mediante la oferta natural y el caudal ecológico. En el Ecuador se considerará el reglamento de la Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua (LORHUyA) que manifiesta que el caudal ecológico es el 10% del caudal medio mensual multianual.

Como lo describen Guamán Eras. & Césare Coral, (2022) con los valores obtenidos de E_{azul} en la ecuación 44 se podrá decir que, cuando su valor obtenido sea menor a 1, significa que hay una “Muy baja escasez del agua Azul”; valores entre 1 a 1,5, significa “moderada escasez”; entre 1,5 a 2, el valor ya representa una “significativa escasez”; y finalmente los valores mayores a 2, nos indicarán que existe una “severa escasez” y por ende niveles alarmantes de baja sostenibilidad ambiental como nos muestra la Tabla 7:

Tabla 7. Referencias del índice de escasez con la sostenibilidad

ambiental del agua azul

E_{azul}	Significado
< a 1	Muy baja escasez de agua azul
1 a 1,5	Moderada escasez de agua azul
1,5 a 2	Significativa escasez de agua azul
> a 2	Severa escasez de agua azul

Sin embargo, (Zárate et al., 2017) proponen seis categorías de valores que permiten estimar el estado de este en cada una de las microcuencas. Los rangos de las categorías son:

- **Crítico:** para valores mayores a 1: que indican una Huella Hídrica azul que excede la oferta, por lo que solo se puede explicar considerando que son áreas con una fuente de agua alterna, por ejemplo, subterránea no contabilizada
- **Muy alto:** para valores entre 0,5 y 1: donde existe evidencia de una situación límite en términos de competencia por agua azul
- **Alto** para valores entre 0,2 y 0,5: donde existe una alerta ya que la demanda de agua azul multisectorial supera el 20 % del total disponible
- **Moderado** para valores entre 0,1 y 0,2: en zonas donde existe evidencia de una situación de uso y no retorno de agua azul

multisectorial que supera el 10 % del total disponible.

- **Bajo y Muy bajo:** para valores inferiores a 0,1: donde se considera que existe una situación favorable, en términos de oferta-demanda de agua azul.
- Sostenibilidad económica del agua azul:

En este aspecto se considerará también la productividad aparente del agua azul como lo indica la Guía metodológica para la evaluación de la Huella Hídrica en una cuenca hidrográfica propuesta por Zárate et al., (2017) quienes refieren a la productividad aparente como un indicador que permite estimar los ingresos económicos por metro cúbico de agua consumida y es la división del precio de mercado brindado al productor (y no al consumidor, con el fin de eliminar el valor añadido debido a la comercialización y procesos industriales).

$$P_{az} = \frac{p_c}{HH_{azul}} \quad \text{Ecuación 47}$$

Donde:

P_{az} = productividad aparente del agua azul ($\$/m^3$) de agua azul consumida

p_c = precio de mercado de producto ($\$/mes$),

HH_{azul} = Huella Hídrica azul (m^3/mes)

Para la definición de la sostenibilidad económica a partir del análisis de la Huella Hídrica, la metodología utilizada por el Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia - CTA, (2013), plantea que una

cuenca es económicamente insostenible y por lo tanto crea un *hotspot* económico cuando el agua no se asigna o no es utilizada de una forma económicamente eficiente.

Los beneficios económicos asociados a una Huella Hídrica azul que resultan de usar el agua para un fin determinado deben sobrepasar el costo total asociado a esta Huella Hídrica, incluidas externalidades, costos de oportunidad y otras primas de escasez de agua. El agua en una cuenca debe ser asignada de forma económicamente eficiente a los diferentes usuarios y cada usuario debe utilizar su agua asignada de manera eficiente. Cuando el precio del agua que paga el usuario está por debajo de su coste económico real, a menudo esto se traduce en un uso ineficiente de agua, por lo que puede ser importante considerar el porcentaje que se cobra a los usuarios del costo total del agua

- Sostenibilidad social del agua azul:

La experiencia muestra que el de sostenibilidad social proporciona otra perspectiva a los resultados de huella desde el punto de vista de las necesidades sociales de los habitantes de la cuenca. Por ejemplo: Hay cobertura de agua potable en la cuenca?, Hay escasez de agua azul? Si hay suficiente agua azul, y baja cobertura de agua potable, se trata de un problema social o de infraestructura, pero en estos casos, la falta de cobertura no se debe a la escasez de agua (Zárate et al., 2017).

En los asentamientos humanos en el área de influencia de la Unidad hidro geográfica Chimborazo-El Altar el uso predominante de vertientes y ríos poco profundos y no protegidos como sus fuentes de agua están fuertemente influenciadas por la estacionalidad y los ingresos que representan zonas de mayor vulnerabilidad y reducción de la capacidad de adaptación de los hogares en zonas de bajos ingresos (Gandidzanwa & Togo, 2022). El agua es también un bien social, en el sentido de que las consideraciones sociales juegan un papel en la decisión en cuanto a la asignación de recursos. Se puede visualizar en la zona un enfoque de colaboración, que significa que todos necesitan al menos 20 litros de agua por día; esta cantidad es suministrada sin cargo alguno. Si alguien consume más, debe pagar; y por medio de subsidios cruzados, los mayores consumidores pagan por los pobres (Cap-Net et al., 2008).

Las decisiones acerca de la asignación y la gestión del agua consideran el impacto de cada uso sobre los demás usos. Al hacerlo, los propósitos interdisciplinarios de la sostenibilidad social, económica y del medioambiente se consideran de forma colectiva, y las políticas intersectoriales se examinan a fin de desarrollar políticas más coherentes y coordinadas (Cap-Net et al., 2008).

Sostenibilidad del agua gris:

La sostenibilidad de agua gris determinará la capacidad que posee la microcuenca para contener distintas concentraciones de

contaminantes que fueron llevados a través de precipitaciones, estas concentraciones alterando la calidad del cuerpo de agua (Álvarez & Andrade, 2021). En este caso será necesario siempre reportar para qué contaminante se está calculando el nivel de contaminación del agua y cuáles normas de calidad del agua se emplearon (Zárate et al., 2017).

$$ICA = \frac{HH_{gris}}{Caudal_{ecológico}} \quad \text{Ecuación 48}$$

Donde:

ICA = índice de contaminación del agua

HH_{gris} = Huella Hídrica gris total (m^3/mes)

$Caudal_{ecológico}$ = Disponibilidad real del agua (m^3/mes)

El Manual de evaluación de la huella hídrica: establecimiento del estándar mundial de Hoekstra et al., (2011) refiere a que la capacidad de asimilación de una carga de contaminantes dada en una cuenca o zona de captación va a depender, en última instancia, de la cantidad de Caudal ecológico o disponibilidad real del agua para asimilar dicha carga.

Cuando la norma de calidad ambiental del cuerpo de agua se viola, la capacidad de asimilación de este cuerpo ha sido agotada, por lo que, un valor mayor que 1 de ICA indica que la situación es insostenible y que la capacidad asimilativa del río ha sido completamente consumida y aún sobrepasada. Las comunidades que se encuentran en la zona de influencia presentan asentamientos

dispersos, a pesar de que en estas zonas abunda el recurso hídrico, las comunidades manifiestan el olvido por parte de las instituciones, y es así que por sus propios medios deben allegar el agua a sus hogares sin tener conocimiento de si es apta para el consumo humano o no; cabe resaltar que en estas zonas se pueden presentar procesos de descomposición de material orgánico de origen animal y vegetal. En consecuencia, la definición de sensibilidad socioeconómica y cultural se determinará en torno a las áreas sensibles con localización espacial relacionadas con los procesos de producción económica y asentamiento humanos. Por otro, en torno a los factores de sensibilidad que se vinculan a la dinámica de las relaciones sociales en distintos aspectos del sistema general (Godoy Ponce et al., 2019)

CAPÍTULO IV

4 GESTIÓN EN LA UNIDAD HIDRO GEOGRÁFICA CHIMBORAZO – EL ALTAR

4.1 Panorama de la gestión y gobernanza del agua en Ecuador

Uno de los objetivos de la gestión ambiental en microcuencas es el de planificar actividades con la finalidad de que la sociedad que reside en la zona tenga la oportunidad de beneficiarse de una elevada calidad ambiental, por lo que será indispensable tomar en cuenta dos elementos implicados en los problemas ambientales: el elemento activo y el elemento pasivo (Araque et al., 2019).

Araque et al., (2019) refieren que un elemento activo son todas las actividades que desarrolla el ser humano que se encuentran en la causa, mientras que, el elemento pasivo son los factores ambientales que reciben los efectos.

La conservación de los ecosistemas de microcuencas andinas se ha convertido en un hecho de suma importancia en la actualidad, debido a que cuentan con un elevado valor ecológico, pues mantienen estable la biodiversidad y proporcionan servicios y bienes ambientales, tales como la degradación de desechos orgánicos, la formación de suelos y el control de la erosión, la captura y almacenamiento de carbono, la regularización y provisión hídrica y la prevención de consecuencias ecológicas futuras. Los ecosistemas

andinos también ofrecen una serie de Servicios Ambientales Hidrológicos, tales como la regulación del ciclo hidrológico, los altos rendimientos hídricos, el mantenimiento de la calidad del agua y la recarga de acuíferos (Gonzaga Figueroa, 2019).

La Constitución del 2008 del Ecuador establece las competencias que deben asumir los distintos niveles de gobierno, tanto central como del régimen descentralizado. En materia de prestación de servicios de agua potable y saneamiento, esta competencia es asignada a los gobiernos autónomos descentralizados municipales (Foro de los Recursos Hídricos, 2013). perspectivas de desarrollo. Es necesario mencionar entonces que la Constitución del Ecuador (2008) en su Art. 318 establece: *"El agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable e imprescriptible del Estado, y constituye un elemento vital para la naturaleza y para la existencia de los seres humanos"*. En ella se estipula: *"El Estado, a través de la autoridad única del agua, será el responsable directo de la planificación y gestión de los recursos hídricos que se destinarán a consumo humano, riego que garantice la soberanía alimentaria, caudal ecológico y actividades productivas, en este orden de prelación. Se requerirá autorización del Estado para el aprovechamiento del agua con fines productivos por parte de los sectores público, privado y de la economía popular y solidaria, de acuerdo con la ley"*.

Según el Plan Nacional de la gestión Integrada de los Recursos Hídricos de las cuencas y microcuencas hidrográficas de Ecuador elaborado por CISPDR, (2016) considerando el art. 318 de la Constitución de la República (2008) y el art. 84 de la LORHUyA definen el orden de prelación de los usos que se dará al recurso hídrico. Los usos del agua se dividen en concordancia con el tipo y la posición de la fuente de agua, en consumo fuera del curso de agua (Uso consuntivo) y el consumo en el curso de agua (Uso No-consuntivo).

Uso consuntivo: cubre el agua para consumo doméstico, agricultura, industria y otros, así:

- Consumo doméstico: población de las áreas urbanas y rurales
- Agricultura: Riego que Garantice la Soberanía Alimentaria (RGSA), Riego para Producción Agropecuaria de Exportación (RPAE) y espacios verdes urbanos. El RGSA incluye a los Cultivos que Garanticen la Soberanía Alimentaria, pastos cultivados, ganadería (ganado mayor, ganado menor y aves) y pesca (acuicultura de agua dulce)
- Industria y otros: explotación de minas y canteras, industria manufacturera, suministro de electricidad y agua, construcción, servicios.

Uso no consuntivo: cubre el uso del agua para el medioambiente y para actividades humanas. Para el medioambiente, solo se considera el caudal ecológico.

- Las actividades humanas incluyen: deportes, turismo y transporte.

La Constitución en su art. 32 establece que el derecho a la salud se vincula al ejercicio de otros derechos, entre ellos, el derecho al agua, la alimentación, la educación, los ambientes sanos, entre otros. En este mismo sentido, el art. 66 numeral 2 reconoce y garantiza el derecho a una vida digna, que asegure la salud, alimentación y nutrición, agua potable y otros servicios sociales. Es decir, existe una evidente interdependencia de estos derechos que para la Constitución gozan de igual jerarquía y son inalienables, irrenunciables e indivisibles (Giler Escandón et al., 2021). Ecuador es uno de los países precursores en establecer al agua como un derecho humano. Tomando como punto de partida que el agua es esencial para la vida, por lo que su gestión, conservación, suministro y aprovechamiento constituye una de las preocupaciones primordiales y permanentes para todos (Giler Escandón et al., 2021)

Según La gobernabilidad de agua en el Ecuador, (2017) la problemática del sector de los recursos hídricos en Ecuador se presenta como un factor determinante para el desarrollo sostenible del país. La situación de los recursos hídricos se caracteriza por la existencia ríos y otros cuerpos de agua contaminados con cargas orgánicas, sustancias tóxicas, hidrocarburos y microorganismos patógenos; la disminución de la disponibilidad de caudales superficiales en la sierra

y sobreexplotación de acuíferos en la costa; la severa disminución de los glaciares (33% en los últimos 50 años); y la disminución de la superficie histórica de los páramos, agentes reguladores naturales de caudales, en al menos un 25%. La gestión ambiental del agua, se relaciona con los criterios de organización y protección, pero debido a que el agua y la población se encuentran divididos heterogéneamente, la disponibilidad del recurso hídrico varía sustancialmente de un territorio a otro. Este factor se convierte en uno de los principales balances para dividir a la población entre ricos y pobres (Lapueta, 2022). Con la finalidad de implementar planes, programas o proyectos como parte de la gestión ambiental en una cuenca hidrográfica, se debe partir de los resultados del estudio de evaluación del impacto ambiental y su diagnóstico. Se define como impacto ambiental a toda actividad humana que provoca alteraciones al medio ambiente y la magnitud de los impactos ambientales está en función de la naturaleza, localización y el tamaño de las actividades (Araque et al., 2019).

Ecuador, si bien es un país que cuenta con importantes fuentes y reservas de agua dulce, no es menos cierto que los fenómenos globales como el cambio climático obliga a tomar una mayor conciencia sobre el uso responsable de los recursos escasos, entre ellos, el agua dulce. Chafra et al., (2021) señala que a pesar de que el Ecuador es uno de los países que cuenta con mayores reservas de agua dulce en el ámbito mundial, especialmente si se toma en cuenta su

población, la escasez de agua dulce es una realidad que afecta a todas sus regiones en mayor o menor escala, y puede tener importantes consecuencias en la calidad de vida de las personas y el crecimiento económico. En definitiva, en la zona de estudio, bajo las condiciones expresadas, la posibilidad de contar con fuentes de agua dulce seguras es esencial para la vida, pero también para el bienestar de la población influenciada. La gobernanza del agua en nuestro país se refiere al ejercicio de la autoridad económica, política y administrativa en la gestión de los asuntos en todos los planos. Incluye los mecanismos, los procesos y las instituciones mediante los cuales los ciudadanos y los grupos expresan sus intereses, ejercen sus derechos jurídicos, cumplen con sus obligaciones y median en sus diferencias (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2012).

El Estado ecuatoriano, en sus diversos niveles de gobierno, ha asumido parcialmente la responsabilidad de trabajar junto con las organizaciones comunitarias y con los municipios para resolver los principales problemas de la gestión del agua para consumo humano en el sector rural ecuatoriano y de resolver los problemas asociados de saneamiento ambiental con un claro retroceso y límites en los procesos de descentralización (Foro de los Recursos Hídricos, 2013).

La gestión sostenible del agua, las infraestructuras del agua y el acceso a un suministro seguro, fiable y asequible de agua y servicios de saneamiento adecuados mejoran el nivel de vida, expanden las

economías locales y promueven la creación de puestos de trabajo más dignos y a una mayor inclusión social. La gestión sostenible del agua es también un motor esencial para el crecimiento verde y el desarrollo sostenible. Por el contrario, dejando de lado las cuestiones del agua se corre el riesgo de causar un grave impacto negativo en la economía, los modos de vida y las poblaciones, con unos resultados potencialmente catastróficos y extremadamente costosos (WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas), 2016).

4.2 Procesos de organización social para la gestión comunitaria del agua en el Ecuador

La gestión de los recursos hídricos de una manera sostenible y equitativa es fundamental para el sustento de la vida, la salud y la dignidad de los pueblos, y constituye una de las bases esenciales de nuestro desarrollo social y económico. Involucra a muchos sectores y grupos de interés y se extiende desde el nivel local hasta el global.

Los sistemas comunitarios enfrentan su trabajo como organizaciones comunitarias con base en un territorio determinado. No tienen fines de lucro y se constituyen con el fin de ofrecer el servicio de agua de consumo a zonas rurales y periurbanas. El criterio fundamental de la gestión comunitaria es la prestación de un servicio público que garantice el beneficio común.

La eficiencia y la administración no tienen como fin el

incremento de capital, sino la mejora del bienestar de la comunidad. Por ello, los criterios de equidad y solidaridad están siempre presentes. Cuando hay excedentes se destinan a reinversiones para la ampliación del servicio, capacitación, acciones de protección de microcuencas o ecosistemas relacionados con el agua, aportes a la comunidad (vialidad, infraestructura), fondos mortuorios, solidaridad humana o a actividades sociales(Foro de los Recursos Hídricos, 2013).

Una vez analizado el riesgo a partir de la vulnerabilidad y amenazas del recurso hídrico, como lo expresan Von Hildebrand et al., (2018), se necesitará recolectar información que nos permita hacer la valoración de las amenazas y la vulnerabilidad de nuestro entorno natural y del sistema social. El componente del monitoreo referente a la identificación de acciones para evitar o minimizar la pérdida de los servicios ecosistémicos y la evaluación de su efectividad está estrechamente ligado con el concepto de “gestión del riesgo” que para este caso de estudio será ""gestión comunitaria del agua" que comprenderá las acciones para enfrentar las amenazas relacionadas con el cambio ambiental (pérdida y transformación de sus servicios ecosistémicos), para mantener la resiliencia socio ecosistémica y reducir su vulnerabilidad, de manera que no se comprometa la calidad de vida de los habitantes del territorio.

Para entender como la participación social y su influencia en la gestión integral de recursos hídricos de cuencas, es importante

también considerar la institucionalidad, gobernabilidad y la gobernanza, la organización social y los mecanismos de participación (Lapuerta, 2022)

Con base en el conocimiento de la importancia de la gestión del riesgo dentro de la organización social comunitaria será preciso recordar que el riesgo es directamente proporcional a las amenazas y a la vulnerabilidad de la microcuenca de la Unidad hidro geográfica Chimborazo-El Altar:

$$\text{Riesgo} = \text{Amenazas} * \text{Vulnerabilidad} \quad \text{Ecuación 49}$$

Considerando las recomendaciones de Von Hildebrand et al., (2018) para disminuir el riesgo, se requerirá identificar e implementar acciones que:

- disminuyan el peligro de ocurrencia o grado de amenaza de tales actividades
- disminuyan la vulnerabilidad del sistema socio ecológico
- disminuyan los dos componentes de la ecuación 49

Para disminuir el grado de amenaza se deberá actuar sobre los atributos (manifestación, frecuencia y dinámica) a través de acciones que:

- Impidan, en la medida de lo posible, que se sigan presentando actividades actuales que afectan o pueden afectar la disponibilidad de servicios ecosistémicos para la comunidad.
- Eviten, en la medida de lo posible, que se desarrollen

actividades pasadas o potenciales que podrían afectar la disponibilidad de servicios ecosistémicos para la comunidad.

- Modifiquen la manera de implementar las actividades anteriores con el fin de disminuir sus efectos negativos sobre la disponibilidad de servicios ecosistémicos para la comunidad, cuando no es posible suspenderlas o evitarlas.

Para el análisis de las relaciones entre factores sociales y político-administrativos, será necesario hacer un listado de todos los factores considerados e identificarlos de la mejor manera posible, Von Hildebrand et al., (2018) sugieren identificarlos con una letra como se indica en la Tabla 8:

Tabla 8. Identificación de factores sociales y político – administrativos para la gestión comunitaria

Identificación	Factores sociales y político-administrativos
A	Conocimiento del territorio
B	Transmisión de tradiciones y “saber comunitario”
C	Conocimiento comunitario del entorno natural
D	Protección ambiental y uso sostenible de recursos
E	Conciencia de las amenazas
F	Grado de cohesión comunal
G	Espacios de participación democrática
H	Fortaleza de liderazgos locales

I	Seguridad física y psicológica
J	Canales y estrategias de comunicación
K	Capacidad administrativa
L	Transparencia y rendición de cuentas
M	Actitudes de justicia y equidad
N	Toma de decisiones sobre estrategias para enfrentar amenazas
O	Gestión y negociación con agentes externos amenazantes
P	Influencia en instancias locales en asuntos que afectan su territorio
Q	Influencia en instancias nacionales en asuntos que afectan su territorio
R	Generación de alianzas que permitan consolidar su capacidad de gestión

Una vez identificados los factores sociales y político administrativos se deberá construir una matriz en la que todos los factores se cruzan unos con otros. En la columna correspondiente a cada uno de ellos se indica con el número 1 todos los casos en los cuales un factor dado contribuye de manera importante a la consolidación de otros factores (Von Hildebrand et al., 2018)

Tabla 9: ejemplo de matriz de identificación de importancia de los factores sociales y político administrativos para la organización comunitaria

ID	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	TOTAL
A	1	1	1							1									3
B	1	1	1							1									3
C	1	1	1							1									3
D		1	1	1	1	1	1	1	1	1									7
E		1	1	1	1	1	1	1	1	1									6
F	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							1		9
G			1	1	1	1	1	1	1	1									6
H		1			1	1	1	1	1	1	1				1				7
I		1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1		1		9
J										1	1	1	1						0
K						1		1	1	1	1	1	1					1	4
L						1	1	1	1	1	1	1	1	1				1	6
M		1		1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				8
N	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	10
O			1		1	1		1						1	1			1	6
P			1		1	1		1		1				1	1			1	7
Q			1		1	1		1		1				1	1		1	1	8
R			1		1			1			1	1	1	1			1	1	8
TOTAL	4	9	11	6	9	12	8	12	0	14	3	4	2	4	2	1	3	6	

Fuente: (Von Hildebrand et al., 2018)

La interpretación de la matriz de la Tabla 9 según Von Hildebrand et al., (2018) se da bajo las siguientes condiciones:

- La matriz tiene dos lecturas una horizontal y una vertical
- Para la lectura de los factores (vertical), con todos los factores listados en cada columna se hace el siguiente análisis “este factor se considera importante para...” Por ejemplo: el factor M se considera importante para los factores I y R (se encuentran con borde azul)
- Para la lectura de los factores (horizontal), con todos los factores listados en cada fila se hace el siguiente análisis: “de qué otros factores dependen la consolidación de este factor? Por ejemplo: la consolidación del factor C depende de los factores A, B y J (se encuentran con borde rojo)
- Las celdas donde se da el cruce de un factor consigo mismo no tendrá calificación (en el ejemplo están representados con color amarillo y la flecha verde)
- La lectura de los totales (vertical) corresponde a la suma de cada columna indicando en cuántos factores interviene de manera directa cada factor que encabeza la columna. Por ejemplo: el factor M interviene de manera directa en 2 factores, que son: I y R.
- La lectura de los totales (horizontal) corresponde a la suma de cada fila que indica de cuántos factores depende la

consolidación del factor que encabeza una fila dada. Por ejemplo: el factor C depende de la consolidación de 3 factores, que son: A, B y J.

4.3 Procesos estratégicos para la gestión de microcuencas de la Unidad hidro geográfica Chimborazo- El Altar

Con base en el Plan Nacional de la Gestión Integrada e Integral de los Recursos Hídricos de las cuencas y microcuencas hidrográficas de Ecuador amparados en el Marco Constitucional y la LORHUyA, se da prioridad a los usos para consumo doméstico y riego. Si la demanda para caudal ecológico, una vez que ya se haya garantizado el agua para los 2 usos anteriores, es menor al valor calculado, es menester que esta cantidad residual total se descargue en la red fluvial como caudal ecológico. En consecuencia, el uso de agua para actividades productivas, no puede ser considerado, y para cubrir la demanda para las actividades productivas, es necesaria la construcción de proyectos de trasvase de agua o embalses (Changjiang Institute of Survey Planning Design and Research (CISPDR), 2016).

Seguí et al., (2016) refiere que las consecuencias de una deficiente gobernanza del agua se extienden a través de las comunidades. Estas consecuencias implican una compleja interacción de dinámicas sociales, económicas, culturales, ambientales y políticas que requiere una respuesta exhaustiva e integrada. Dicha respuesta

puede reducir el riesgo de degradación y conflictos a todos los niveles.

La gestión sostenible del agua en su sentido más amplio incluye buenos procesos de toma de decisiones y políticas, la gestión de los ecosistemas, a través del desarrollo, funcionamiento y mantenimiento de infraestructura en el hogar, oficina, fábrica o campo, y hasta su retorno al entorno natural. Esto, combinado con el acceso a una fuente segura y confiable de agua y servicios de saneamiento adecuados, crea un entorno propicio para que las oportunidades de empleo se desarrollen y expandan en todos los sectores económicos. Estas oportunidades abarcan desde puestos de trabajo dignos y a tiempo completo hasta los trabajos informales y precarios comprendiendo una amplia gama de habilidades. Antes de alcanzar mejores oportunidades de empleo y otros beneficios socioeconómicos relacionados, es necesario contar con una planificación e inversión a largo plazo para mejorar la gestión de los recursos hídricos, y la gestión del agua, saneamiento e higiene y de las aguas residuales (WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas), 2016)

La UNESCO, (2021), describe que el aumento de la disponibilidad y mejoramiento de la eficiencia hídrica se asumen como prioridades para el desarrollo sostenible, con sus componentes ambientales, sociales y económicas. Como parte del Objetivo de Desarrollo Sostenible 6, que pretende garantizar la disponibilidad de

agua, su gestión sostenible y el saneamiento para todos, incluye la meta 6.4: “De aquí a 2030, aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua”. El indicador utilizado para el monitoreo del uso eficiente (6.4.1) en el contexto de esta meta se ha definido de forma económica, correspondiendo al valor añadido en el tiempo por unidad de agua utilizada, expresado en $\$/m^3$, para los sectores agrícola, industrial y de servicios. El indicador es calculado como la suma del uso eficiente del agua en cada uno de esos sectores, ponderado en función del porcentaje de agua utilizada en cada sector.

Mientras que, en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la provincia de Chimborazo (PDOT), GAD Chimborazo, (2020), se denota que la consecución de las aspiraciones orientadas al cumplimiento de su PDOT y del Plan Nacional de Desarrollo implicará esfuerzos mancomunados con diversos actores en el territorio; mediante alianzas, convenios u otras modalidades de gestión como la creación de mancomunidades, consorcios, convenios de delegación, entre otros, identificando las brechas presupuestarias que constituyan una limitación y los aspectos normativos o regulatorios requeridos para facilitar la ejecución del PDOT. Como las estrategias deben estar en el marco de la gestión de riesgos de la zona de estudio,

Von Hildebrand et al., (2018), recomiendan que se deben considerar tres componentes que constituyen la base para avanzar hacia la construcción de un plan de gestión de riesgos:

- el objetivo general del plan de gestión de riesgos
- la identificación de líneas estratégicas de acción enfocadas a alcanzar el objetivo general
- la estructuración de un plan de acción que especifique las medidas que se van a implementar y las actividades por desarrollar para cumplir con los objetivos de cada línea estratégica de acción y a su vez para alcanzar el objetivo general.

Von Hildebrand et al., (2018) también sugieren que para la identificación, objetivos y componentes de líneas estratégicas de acción para disminuir la vulnerabilidad del entorno comunitario frente a la eventual pérdida de servicios ecosistémicos que brindan las microcuencas de la Unidad hidro geográfica Chimborazo- El Altar se deberá considerar la Tabla 9 y seguir los siguientes pasos:

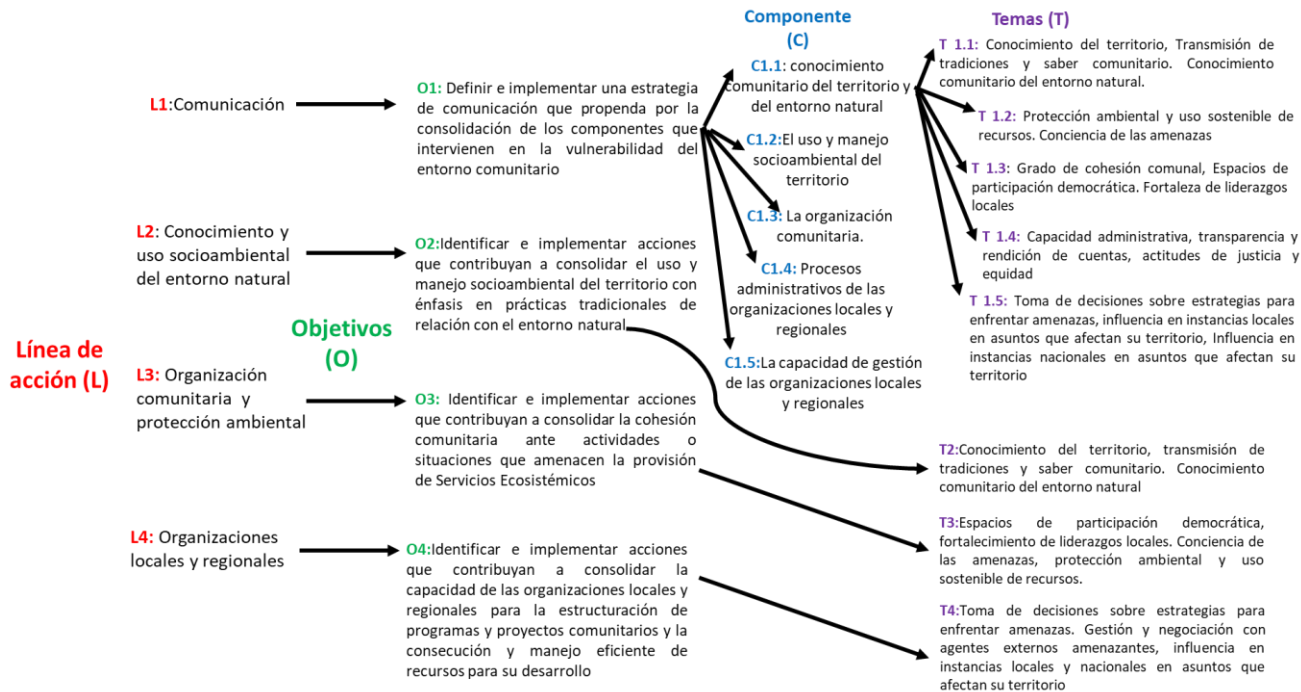
- Seleccionar un primer grupo de factores que tengan gran impacto sobre los demás (altos valores de la suma por columnas), y que a su vez dependan de pocos factores (bajos valores de la suma por filas)
- Evaluar la concordancia temática entre los factores identificados para definir si es pertinente o no agruparlos. En

caso de que la agrupación no sea factible, se podrán crear líneas estratégicas para cada factor

- Eliminar de la matriz el primer grupo de factores ya seleccionados, tanto en las filas como en las columnas. Luego se recalculan los valores de las sumas (totales) en filas y columnas
- Con la nueva matriz obtenida se repiten los pasos anteriores.

Con lo realizado, sugieren que se deberá recoger los resultados obtenidos con el fin de definir el objetivo de cada línea de acción e indicar los componentes y factores principales por trabajar en cada caso:

Figura 15: Propuesta para la gestión de microcuencas de la Unidad hidro geográfica Chimborazo- El Altar



Cada microcuenca presenta condiciones distintas y por esa razón será preciso considerar estrategias particulares, sin embargo, en este documento se proponen lineamientos, objetivos, componentes y temas de carácter general que podrían servir como referencia para la elaboración de los planes de gestión específicos de cada territorio.

Tomando en cuenta lo expuesto, con base en lo referido por Escuela Superior Politécnica de Chimborazo & Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, (2018), dentro de la zona de estudio se podrían identificar como principales servicios ecosistémicos

- Plantas medicinales
- Agua
- Alimentos
- Productos forestales no maderables
- Regulación hídrica
- Regulación del clima
- Purificación del aire
- Reducción de la concentración de gases de efecto invernadero (a través de sumideros)
- Almacenamiento de carbono
- Protección de suelos (prevención de la erosión)
- Fertilidad de los suelos
- Espacios de recreación

- Ritualidad
- Escenarios paisajísticos
- Atractivos turísticos
- Conocimientos
- Saberes ancestrales

Como lo establece el manual de evaluación de la Huella Hídrica de Hoekstra et al., (2011), dentro de las opciones de medidas para la reducción de la huella hídrica se recomienda:

- *La responsabilidad compartida:* Podría decirse que los consumidores son responsables de lo que consumen, por lo que también son responsables del uso indirecto de los recursos relacionados con su patrón de consumo. En este sentido, los consumidores son responsables de su Huella Hídrica y deberían tomar medidas para asegurarse de que esta es sostenible.
- *La reducción de la Huella Hídrica verde:* Proponen como posible objetivo la disminución de la huella hídrica verde (m^3/t) incrementando la productividad del agua verde (t/m^3) tanto en la agricultura de secano como en la de regadío. Aumentar la producción total de agricultura de secano.
- *La reducción de la Huella Hídrica azul:* Proponen la disminución de la huella hídrica azul (m^3/t) incrementando la productividad del agua azul (t/m^3) en la agricultura de regadío.

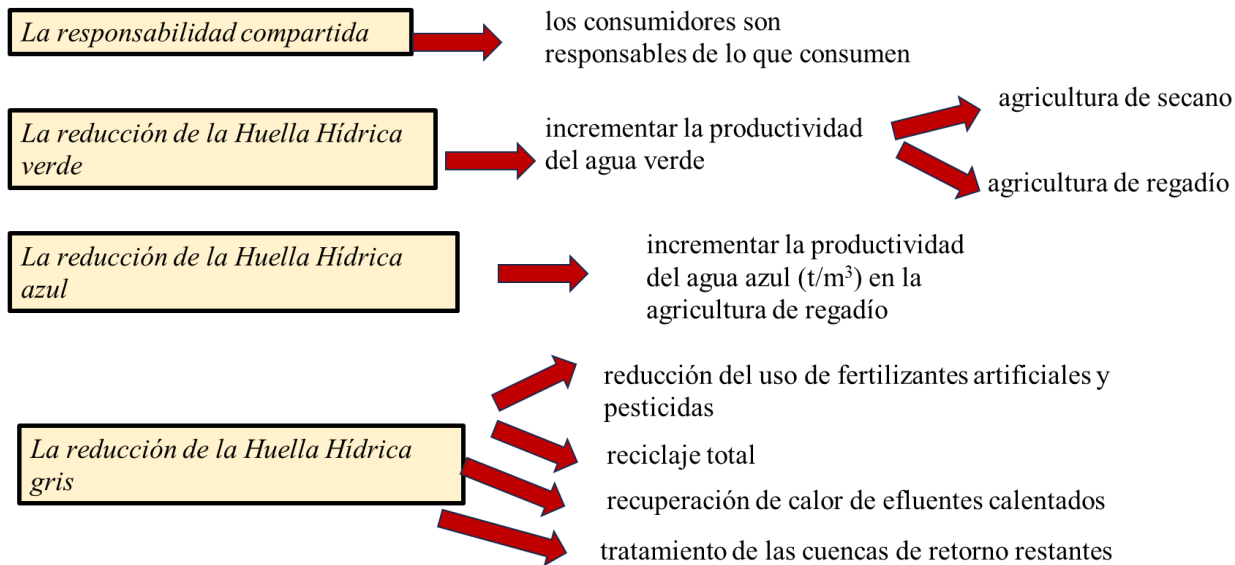
Así como la disminución de la proporción de huella hídrica azul/verde.

- *La reducción de la Huella Hídrica gris:* Sugieren como posible objetivo para el subsector agrícola la reducción del uso de fertilizantes artificiales y pesticidas, o una aplicación más efectiva, es decir, la disminución casi hasta cero de la huella hídrica gris gracias a la agricultura orgánica. Para el sector industrial será la Huella Hídrica gris igual a cero: no hay contaminación (reciclaje total, recuperando calor de efluentes calentados y tratamiento de las cuencas de retorno restantes).

Habrá que considerar para la gestión de riesgos y la organización comunitaria de la zona de estudio aquellos factores contribuyentes que producen directa o indirectamente la aparición de una amenaza. Muchos de estos factores representan riesgos ya que pueden aparecer o cambiar en el futuro de modo imprevisible y contribuir a los efectos a los que están sujetos los recursos naturales. Saber cuáles son los factores contribuyentes que provocan o aceleran las amenazas a las microcuencas de la Unidad Hidro geográfica es fundamental para construir y diseñar estrategias y políticas que fortalezcan los impactos positivos y reduzcan los impactos no deseados. No todos los factores contribuyentes influyen las amenazas de igual manera (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo & Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, 2018)

Figura 16: Medidas recomendadas por el Manual de evaluación de la Huella Hídrica mundial

**MEDIDAS RECOMENDADAS POR EL MANUAL
DE EVALUACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA
MUNDIAL**



Con base en el documento “Hacia un manejo adaptativo de la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo y su zona de amortiguamiento. Sistematización de la aplicación de la metodología Manejo Adaptativo de Riesgo y Vulnerabilidad en Sitios de Conservación (MARISCO)” de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo & Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), (2018), se enlistan algunos factores contribuyentes recomendados para el análisis:

- Factores de planificación
- Factores de conocimiento
- Factores demográficos-económicos
- Factores políticos
- Factores institucionales
- Factores organizacionales
- Factores productivos
- Factores de infraestructura
- Factores normativos
- Factores climáticos

Finalmente se entrega una lista de indicadores para el monitoreo y evaluación de la gestión Integrada de microcuencas de la Unidad hidro geográfica Chimborazo – El Altar, que se toman como referencia del Proyecto Gestión Integrada de Recursos Hídricos de las Cuencas Transfronterizas y Acuíferos de Puyango-Tumbes, (2020):

Aspecto Institucionalidad y gobernabilidad:

- Instituciones públicas y privadas que intervienen en la toma de decisiones de la gestión Integrada de microcuencas: Se calculará a través de la sumatoria del número de instituciones públicas y privadas, que participan en la toma de decisiones.

Aspecto cantidad y calidad del recurso hídrico:

- Porcentaje de la población con acceso a agua segura en calidad: Se calculará a partir del (Número de personas con acceso a agua potable de buena calidad / Número total de la población en la microcuenca hidrográfica) x 100.
- Número de puntos contaminantes que aplican medidas de mitigación: Se calculará por medio del número de lugares identificados como vertientes contaminantes dentro de la microcuenca en los cuales se aplican medidas de mitigación.

Aspecto aprovechamiento y demanda del recurso hídrico:

- Volumen de agua disponible en la microcuenca: Volumen de agua superficial utilizada (m^3) + Volumen de agua subterránea utilizada (m^3) + Volumen de agua almacenada en reservorios utilizada (m^3).
- Número de usuarios con autorización/ derecho de uso del agua actualizados en la microcuenca: Se calculará por medio de la sumatoria del número de usuarios con autorización o derecho de uso de agua otorgados que se encuentran registrados en las

secretarías o autoridades de agua.

- Número de usuarios capacitados en la Gestión Integrada de microcuencas: Se determinará como La sumatoria del número de usuarios que han recibido capacitaciones en diferentes temas relacionados con la Gestión Integrada de microcuencas

Aspecto Gestión y mitigación de riesgos:

Número de instituciones públicas y privadas que aplican líneas de acción en seguridad hídrica: El indicador muestra la cantidad de instituciones, públicas y privadas, que aplican líneas de acción en seguridad hídrica, como:

- Identificar y caracterizar las áreas críticas, vulnerabilidad y riesgo asociados a la variabilidad y cambio climático sobre el recurso hídrico en la microcuenca.
- Estructurar una base de datos georreferenciada que contenga información sobre los riesgos y efectos relacionados con la variabilidad y cambio climático en la microcuenca.
- Diseñar e implementar un sistema efectivo de comunicación y alerta temprana ante la presencia de eventos hídricos extremos.
- Diseñar e implementar programas para mitigar los efectos derivados de la variabilidad y cambio climático en la cuenca.

Figura 17: Componentes del análisis de una ficha de identificación de indicadores para la gestión Integrada de microcuencas

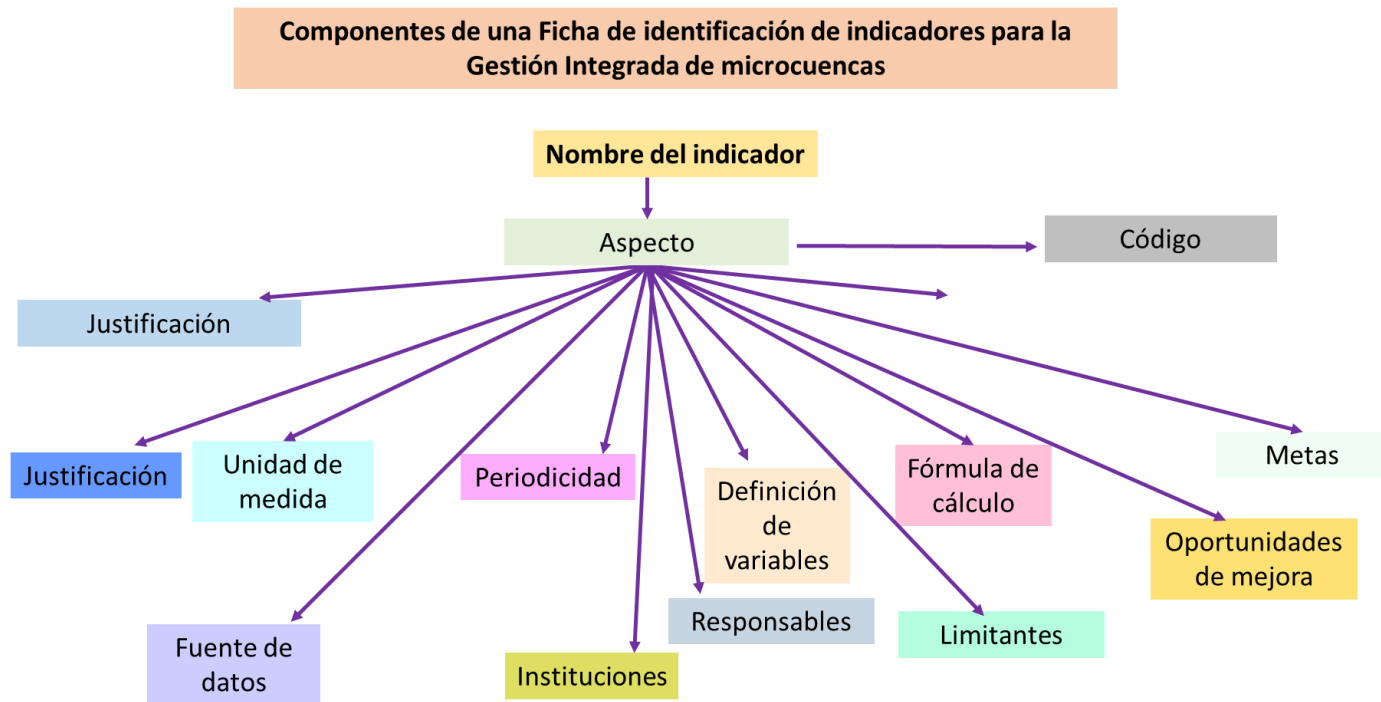


Figura 18: listado de instituciones, públicas y privadas, que deben participar en la toma de decisiones para la gestión integrada de los recursos hídricos en la microcuenca

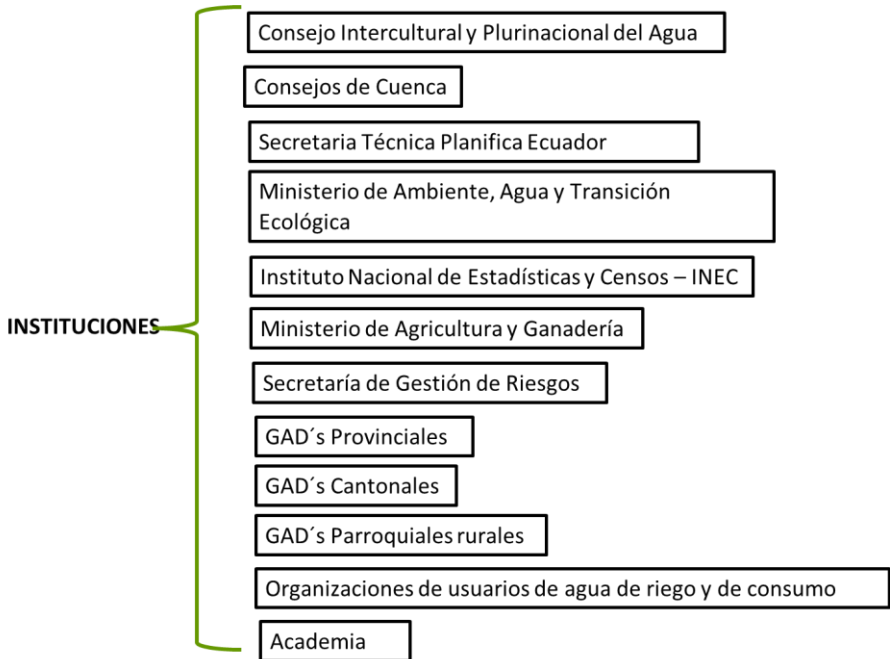


Figura 19: Niveles de planificación nacional, de gobierno e instrumentos



BIBLIOGRAFÍA

- Alexoaei, A. P., Cojanu, V., & Coman, C. I. (2021). On sustainable consumption: The implications of trade in virtual water for the eu's food security. *Sustainability (Switzerland)*, 13(21).
<https://doi.org/10.3390/su132111952>
- Álvarez, P., & Andrade, L. (2021). *Evaluación de la huella hídrica de la microcuenca del Río Cebadas en el fortalecimiento de su gestión y política comunitaria* [Investigación]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Álvarez Trinidad, J. A., & Grajales Castillejos, O. (2022). Sistemas socioecológicos, resiliencia comunitaria y protección civil: una revisión. *RIDE Revista Iberoamericana Para La Investigación y El Desarrollo Educativo*, 13(25).
<https://doi.org/10.23913/ride.v13i25.1263>
- Araque, M. (coordinador), Vásconez, M., Mancheno, A., Álvarez, C., Prehn, C., Cevallos, C., & Ortiz, L. (2019). *Cuencas Hidrográficas* (Universidad Politécnica Salesiana, Ed.; 1era. Edición). Editorial Abya-Yala.
- Balvanera, P., Astier, M., Gurri, F. D., & Zermeño-Hernández, I. (2017). Resiliencia, vulnerabilidad y sustentabilidad de sistemas socioecológicos en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*,

88, 141–149. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.10.005>

Banco de Desarrollo para América Latina y el Caribe. (2013, October 22). *Banco de Desarrollo para América Latina y el Caribe. La Irrigación Eficiente Fortalece La Agricultura Ecológica*. <https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/2013/10/la-irrigacion-eficiente-fortalece-la-agricultura-ecologica/>

Bueno Pérez, S. E., Marceleño Flores, S., Nájera González, O., & De Haro Mota, R. (2019). Implementación del método de escasez en la determinación de la huella hídrica en la zona costera de San Blas, México. *Tecnura*, 23(62), 45–54. <https://doi.org/10.14483/22487638.15796>

Burbano, N., Becerra, S., & Pasquel, E. (2015). *Introducción a la Hidrogeología del Ecuador* (Grupo de Aguas Subterráneas de la Unidad de Estudios e Investigaciones Hidrológicas de la Dirección de Gestión de Hidrología del INAMHI, Ed.; Segunda Edición). INAMHI_Ecuador.

Camacho, E. (2008). *Estructura del sector agropecuario, según el enfoque de las características del productor agropecuario y de las unidades de producción agropecuaria* (INEC, Ed.). INEC.

Cap-Net, GWP, & EUWI-FWG. (2008). *Aspectos económicos en la gestión sostenible del agua* (pp. 1–162).

Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia - CTA. (2013). La Evaluación de la Huella Hídrica en la Cuenca del Río Porce. In *Guía metodológica de aplicación de Huella Hidrica en Cuenca*. Guía metodológica.

CGIAR CGSpace. (n.d.). *Guía metodológica CROPWAT: Estimación de la reducción porcentual en rendimientos en los cultivos de maíz y frijol*. Retrieved November 16, 2023, from https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/113242/CROPWAT_M2.pdf?se#:~:text=CROPWAT%20es%20un%20programa%20inform%C3%A1tico,de%20suelo%2C%20clima%20y%20cultivo.

Chafla, P., Chafla, J., & Mancheno, A. (2021). Factores socioeconómicos en la estimación de la huella hídrica personal: el caso de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador. *Estudios de La Gestión. Revista Internacional de Administración*. <https://doi.org/10.32719/25506641.2021.9.8>

Changjiang Institute of Survey Planning Design and Research (CISPDR). (2016). Plan Nacional de la Gestión Integrada e Integral de los Recursos Hídricos de las cuencas y microcuencas hidrográficas de Ecuador. In *Memorias*. Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica del Ecuador.

Costa Posada, C., Domínguez Calle, E., Rivera, hebert, & Vanegas, R.

(2005). El índice de escasez de agua ¿Un indicador de crisis ó una alerta para orientar la gestión del recurso hídrico? *Revista de Ingeniería*, 22, 104–111.

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, & Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. (2018). *Hacia un manejo adaptativo de la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo y su zona de amortiguamiento. Sistematización de la aplicación de la metodología Manejo Adaptativo de Riesgo y Vulnerabilidad en Sitios de Conservación (MARISCO)* (F. Romero, E. Muñoz, C. Arguello, M. Zurita, D. Román, & GIZ, Eds.; Mena, Patricio). GIZ.

Foro de los Recursos Hídricos. (2013). La gestión comunitaria de agua para consumo humano y el saneamiento en el Ecuador: diagnóstico y propuestas. In *Foro de los Recursos Hídricos, “La gestión comunitaria de agua para consumo humano y el saneamiento en el Ecuador: diagnóstico y propuestas.”* <http://www.camaren.org/documents/lagestioncomunitaria.pdf>

Fundación Chile. (2016). *Guía para la Evaluación de la huella hídrica productiva a nivel cuenca en Chile*. Fundación Chile.

GAD Chimboarzo. (2020). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de Chimborazo*.

- Gandidzanwa, C. P., & Togo, M. (2022). Adaptive Responses to Water, Energy, and Food Challenges and Implications on the Environment: An Exploratory Study of Harare. *Sustainability*, 14(16), 10260. <https://doi.org/10.3390/su141610260>
- Giler Escandón, L. V., Sánchez Sarmiento, M. P., Mora Bernal, A., & Guerra Coronel, M. (2021). Los retos en la prestación del servicio público de agua potable en la nueva normalidad en Cuenca-Ecuador. *Con-Texto*, 55, 71–85. <https://doi.org/10.18601/01236458.n55.07>
- Godoy Ponce, S. C., González García, J. C., León Chimbolema, J. G., & Beltrán Dávalos, A. A. (2019). Sostenibilidad social, económica y ambiental del tratamiento de aguas residuales con bacterias del rumen. *Ciencia Digital*, 3(3), 204–224. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i3.625>
- Gonzaga Figueroa, A. G. (2019). Gestión comunitaria para la conservación de la Microcuenca Mónica, Loja, Ecuador. *INNOVA Research Journal*, 4(3.2), 131–143. <https://doi.org/10.33890/innova.v4.n3.2.2019.1243>
- Guamán Eras., Ms. Ing. P., & Césare Coral, Dr. M. F. (2022). Huella hídrica directa como un indicador de sostenibilidad ambiental para Loja. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(6), 8372–8390. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i6.4003

- Hatjiathanassiadou, M., de Souza, C. V. S., Vale, D., Dantas, N. M., Batista, Y. B., Marchioni, D. M. L., Lima, S. C. V. C., Lyra, C. de O., Rolim, P. M., & Seabra, L. M. J. (2022). Dietary Environmental Footprints and Their Association with Socioeconomic Factors and Food Purchase Practices: BRAZUCA Natal Study. *Foods*, 11(23). <https://doi.org/10.3390/foods11233842>
- Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldaya, M., & Mekonnen, M. (2011). Manual de evaluación de la huella hídrica: Establecimiento del estándar mundial. In *Water Footprint Network*. AENOR.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, & Good Stuff International. (2017). *Evaluación de la huella hídrica en cuencas hidrográficas: experiencias piloto en Latinoamérica*. IICA.
- Ipiates, O., & Cuichán, M. (2023). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC)*.
- Lapuerta, N. (2022). *La configuración de Consejos de Cuenca como espacios de participación y Gestión Integral de los Recursos Hídricos del Ecuador*. Universidad Andina Simón Bolívar.
- Liang, Y., Cai, Y., Wang, X., Li, C., & Liu, Q. (2021). Water security assessment with the improvement of modifying the boundary

consistency between footprint and provision. *Science of the Total Environment*, 801.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149639>

López, M. C., & Contreras, O. E. (2022). huella hídrica en la economía. *Investigaciones UCA*, 62–67.

<https://doi.org/10.51378/iuca.v1i2.7757>

Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2012). *Plan estratégico de viabilidad y sostenibilidad del proceso de adaptación y del plan de manejo adaptativo*.

Panasiuk, D., Skrypchuk, P., Kucharska, B., & Suduk, O. (2022). Analysis of the Water Footprint of Central and Eastern Europe Countries. *Studia Ecologiae et Bioethicae*, 20(4), 63–73.

<https://doi.org/10.21697/seb.2022.27>

Pangare, V., Miletto, M., & Thuy, L. (2022). Herramienta 4- Cuestionario para la recopilación de datos relativos a los recursos hídricos desglosados por sexo. In *Conjunto de herramientas de UNESCO WWAP sobre datos relativos a los recursos hídricos desglosados por sexo*. UNESCO WWAP.

Proyecto Gestión Integrada de Recursos Hídricos de las Cuencas Transfronterizas y Acuíferos de Puyango-Tumbes, C.-C. y Z. (Proyecto G. (2020). *Indicadores ambientales y socioeconómicos*

para el monitoreo y evaluación de la gestión integrada de las aguas superficiales y subterráneas en las cuencas y acuíferos transfronterizos de Puyango-Tumbes, Catamayo-Chira y Zarumilla.

Rivera, S. (2016). *La sostenibilidad del recurso hídrico en el Ecuador Análisis multicriterial de la gestión del agua*. FLACSO SEDE ECUADOR.

Sánchez-Zarco, X. G., & Ponce-Ortega, J. M. (2023). Water-energy-food-ecosystem nexus: An optimization approach incorporating life cycle, security and sustainability assessment. *Journal of Cleaner Production*, 414. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137534>

Secretaría Nacional del Agua del Ecuador, secretaria general de la Comunidad Andina, & Oficina Regional para América del Sur de la UICN. (2009). *Delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Ecuador*.

Seguí, L. A., García, D., & Guerrero, H. (2016). Huella hídrica: análisis como instrumento estratégico de gestión para el aprovechamiento eficiente de los recursos hídricos. *Ciencia Nicolaita*, 26, 76–101.

UNESCO. (2016). Mejorar la eficiencia y productividad del agua. In

UNESCO (Ed.), *Informe de las Naciones Unidas Sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo*.

UNESCO. (2021). *Estrategias para el aumento de la disponibilidad y mejoramiento de la eficiencia hídrica en América Latina y El Caribe*.

Urquiza Gómez, A., & Cadenas, H. (2015). Sistemas socio-ecológicos: elementos teóricos y conceptuales para la discusión en torno a vulnerabilidad hídrica. *L'Ordinaire Des Amériques*, 218. <https://doi.org/10.4000/orda.1774>

Vallejo, J., & Cartagena, D. (2019). *Evaluación de la huella hídrica de la microcuenca del río Guano en el fortalecimiento de su gestión y política comunitaria* [Investigación]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Vargas-Pineda, O. I., Trujillo-González, J. M., & Torres-Mora, M. A. (2020). Huella hídrica: Una herramienta eficaz para el desafío de la sostenibilidad del agua. *INGENIERÍA Y COMPETITIVIDAD*, 22(1), 1–12. <https://doi.org/10.25100/iyc.v22i1.8429>

Villazón, J., Noris, P., & Gutiérrez, G. (2021). Determinación de la precipitación efectiva en áreas agropecuarias de la provincia de Holguín. *IDESIA (Chile)*, 39(2), 85–90.

Von Hildebrand, P., De la Pava, R., Lara, I., & Herrera, J. (2018).

Servicios ecosistémicos y riesgo de su pérdida para las comunidades indígenas. © WWF-Colombia.

Water Footprint Calculator. (2022). *Water Footprint Calculator Methodology.*

<https://www.watercalculator.org/footprint/water-footprint-calculator-methodology/>.

WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas). (2016). *Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo 2016: Agua y Empleo.*

Zabala, F., & Victorino, I. (2019). Capacidad adaptativa y vulnerabilidad de la cuenca del río Orotoy ante el cambio climático, a partir del análisis de las variables de los medios de vida. *Biodiversidad En La Práctica*, 4, 51–85.

Zárate, E., Fernández, A., & Kuiper, D. (2017). *Guía metodológica para la evaluación de la huella hídrica en una cuenca hidrográfica* (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura., Ed.). IICA.

De las Autoras:

SOFÍA CAROLINA GODOY PONCE



Ingeniera en biotecnología ambiental de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo-ESPOCH-Ecuador, Magister en Gestión del Desarrollo Local Comunitario de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Máster Universitario en Gestión Ambiental y Energética en las Organizaciones de la Universidad Internacional de la Rioja-España, Doctoranda del programa de Doctorado en Recursos y Tecnologías Agrarias, Agroambientales y Alimentarias de la Universidad Miguel Hernández de Elche-España. Profesor de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Profesor de posgrado en la universidad técnica de Cotopaxi. Directora de trabajos de investigación de posgrado. Investigadora en los proyectos *“Biorremediación de lodos contaminados con alta presencia de metales pesados, y compuestos xenobióticos de las orillas del río Chibunga para su recuperación”*, *“Los sistemas lacustres del centro del ecuador como fuente o sumideros de dióxido de carbono como determinante para su conservación”*, *“Medios de vida como estrategia para la planificación y gestión en la adaptación basada en ecosistemas PACHA”*, *“Descontaminación del río Pachanlica de la provincia de Tungurahua mediante técnicas integrales de restauración desde la planificación, al seguimiento y control”*. Investigadora del Grupo de Investigación para la Sostenibilidad de Cuencas Hidrográficas (GISOCH) de la ESPOCH.

MAGDY MILENI ECHEVERRÍA GUADALUPE



Dr. Química (ESPOCH, 1988); Doctor (PhD) en Ciencias Ambientales (UNMSM, 2017); Máster en Gestión Ambiental, Magister Gerencia de Proyectos Educativos y Sociales y Diploma Superior en Liderazgo y Gerencia (UNACH); Diploma Superior Las Nuevas TICs y su Aplicación en la Práctica Docente Ecuatoriana (UNL); profesor principal de la Escuela superior Politécnica de Chimborazo, ESPOCH - Ecuador desde 1995 y continua, Investigador Senior, directora del Grupo de Investigación y Desarrollo para el Ambiente y el Cambio Climático GIDAC EX BECARIA: China Latin America Joint Laboratory for Clean Energy and Climate Change, Tsinghua University (2017 y 2018), Profesor invitado Lakehead University, Ontario, Canadá (2019), Ex Becaria de Queen Elisabeth, profesor invitado de la Universidad Santiago de Compostela- España, Becaria Erasmus; Cursos y ponencias nacionales e Internacionales; Publicaciones en revistas de alto impacto; Miembro: Red Bialema, Proyecto Lago (Red Clara), Red Ecuatoriana de Cambio Climático, Women in Science for the Developing World (OWSD). Reconocimientos a la investigación por la ESPOCH, la Asamblea Nacional, 2019 y Certificaciones Honoríficas por Excelente Desempeño Académico.

JOHANNA ELIZABETH AYALA IZURIETA



Ingeniera en Electrónica y Computación de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ESPOCH Ecuador, Magister en Geomática de la Universidad Nacional de La Plata UNLP - Argentina, Doctoranda del programa de Doctorado en Teledetección de la Universidad de Valencia-UV-España. En el ámbito de la investigación, se ha centrado en el campo de la

Teledetección, con artículos publicados en revistas de alto impacto en el JCR, y comunicaciones presentadas en congresos internacionales y nacionales. Es miembro del grupo *Laboratory for Earth Observation* -LEO en el Laboratorio de Procesamiento de Imágenes (LPI) del Parque Científico de la UV, y del Grupo de Investigación para la Sostenibilidad de Cuencas Hidrográficas (GISOCH) de la ESPOCH. Docente investigadora en los proyectos en ejecución: “Los sistemas lacustres del centro del Ecuador como fuente o sumidero de dióxido de carbono como determinante para su conservación”- ESPOCH y el proyecto internacional entre la ESPOCH y la UV “*Applying new methodologies based on remote sensing and environmental modeling to assess the eutrophication state of lakes and lagoons in the inter-andean region of Ecuador*”.



**PUERTO MADERO
EDITORIAL**

ISBN 978-631-6557-24-7



9 786316 557247