



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

**“EVALUACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DE LA
MICROCUENCA DEL RÍO PACHANLICA EN EL
FORTALECIMIENTO DE SU GESTIÓN Y POLÍTICA
COMUNITARIA”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA/O AMBIENTAL

AUTORES: JOSSELYN DAMARY CHUQUILLA LEMA

DAVID JORDANO MARQUEZ VERA

DIRECTORA: Ing. SOFIA CAROLINA GODOY PONCE, MSc.

Riobamba – Ecuador

2024

© 2024, Josselyn Damary Chuquilla Lema, David Jordano Márquez Vera

Se autoriza la reproducción total o parcial con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Nosotros, Josselyn Damary Chuquilla Lema y David Jordano Márquez Vera declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados de estos son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular, el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 09 de mayo del 2024



Josselyn Damary Chuquilla Lema

C.I: 080360928-8



David Jordano Márquez Vera

C.I: 131394018-9

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular, Tipo: Proyecto de Investigación, “**EVALUACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO PACHANLICA EN EL FORTALECIMIENTO DE SU GESTIÓN Y POLÍTICA COMUNITARIA**” realizado por los señores: **JOSSELYN DAMARY CHUQUILLA LEMA** y **DAVID JORDANO MÁRQUEZ VERA** ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autorizada su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Paulina Fernanda Bolaños Logroño, MSc.
PRESIDENTA DEL TRIBUNAL



2024-05-09

Ing. Sofia Carolina Godoy Ponce, MSc.
**DIRECTORA DEL TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR**



2024-05-09

Ing. María Soledad Núñez Moreno, MSc
**ASESORA DEL TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR**



2024-05-09

DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto de investigación a Dios por ser mi fortaleza y no dejarme decaer en momentos difíciles y permitirme culminar mi carrera, se la dedico a mi mama Mónica Patricia Lema Iza por haberme apoyado a lo largo de mi vida profesional y ser mi mayor ejemplo por seguir. Por su ayuda en mi crecimiento como persona inculcando principios y valores, perseverancia y coraje para alcanzar mis metas y finalmente a mis abuelitos por su sabiduría y cariño infinito

Josselyn

"Instruye al niño en su camino, y aun cuando sea viejo no se apartará de él." (Proverbios 22:6)

A mis amados padres, Esta tesis **es** el fruto de su amor y dedicación. Gracias por inculcarme el valor del estudio, el esfuerzo y la perseverancia. Gracias por estar siempre a mi lado, apoyándome en cada paso de mi vida. A mi madre, tu amor incondicional es mi mayor fortaleza. Gracias por enseñarme a ser fuerte y a nunca rendirme. Gracias por ser mi mejor amiga y mi confidente. Padre, tu sabiduría y tu ejemplo me han guiado por el buen camino. Gracias por enseñarme a ser responsable y a trabajar duro por mis sueños.

Finalmente, A mis abuelos tanto maternos como paternos, Gracias por su amor, su apoyo y sus enseñanzas. Ustedes han sido una parte fundamental de mi vida y siempre estaré agradecido por todo lo que han hecho por mí.

Los amo con todo mi corazón.

David

AGRADECIMIENTO

Agradezco a los profesionales que durante toda mi carrera me compartieron su conocimiento y experiencia, a todas las personas que conforman el grupo de investigación (GISOCH), en especial a la ingeniera Sofia Godoy por compartir su sabiduría y compromiso para la realización de este trabajo de titulación que fueron importantes en nuestra formación profesional. A mis amigos por su apoyo, por las noches de estudio y por todos los momentos únicos y especiales que fortalecieron lasos que duraran toda mi vida.

Josselyn & David

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
SUMMARY	xvii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1.	PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.1.	Planteamiento del problema.....	3
1.2.	Justificación	3
1.3.	Objetivos	5
1.3.1.	<i>Objetivo general</i>	5
1.3.2.	<i>Objetivos específicos</i>	5

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEORICO	6
2.1.	Antecedentes	6
2.2.	Bases teóricas.....	7
2.2.1.	<i>Marco conceptual</i>	7
2.2.1.1.	<i>Cuencas y Huella Hídrica</i>	7
2.2.1.2.	<i>Criterios de clasificación de las cuencas hidrográficas</i>	8
2.2.1.3.	<i>Microcuenca como unidad hidrológica</i>	9
2.2.1.4.	<i>Huella Hídrica</i>	9
2.2.1.5.	<i>Componentes de la huella hídrica</i>	10
2.2.1.6.	<i>Gestión comunitaria y política pública para la evaluación de la Huella Hídrica</i>	10
2.2.2.	<i>Marco legal</i>	11
2.2.2.1.	<i>Constitución de la República del Ecuador</i>	11
2.2.2.2.	<i>Ley Orgánica del Ambiente (Código Orgánico del Ambiente)</i>	11

2.2.2.3.	<i>Ley de Recursos Hídricos Uso y Aprovechamiento del agua (LORHUyA)</i>	11
2.2.2.4.	<i>Reglamento de la LORHUyA</i>	11
2.2.2.5.	<i>Plan de Ordenamiento Territorial del Cantón Ambato</i>	12
2.2.2.6.	<i>Ley de Recursos Hídricos, Uso y Aprovechamiento del Agua</i>	12
2.2.2.7.	<i>Ley Orgánica de Planificación</i>	12
2.2.2.8.	<i>Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre</i>	12

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	13
3.1.	Revisión detallada de la documentación científica y técnica existente sobre la huella hídrica y su evaluación con la gestión de los recursos hídricos en el contexto de la cuenca del río Pachanlica	13
3.1.1.	Recopilación de datos	13
3.1.1.1.	<i>Puntos de monitoreo</i>	14
3.1.1.2.	<i>Tamaño de la muestra</i>	15
3.1.2.	Muestras	15
3.1.2.1.	<i>Muestreo de agua</i>	15
3.1.2.2.	<i>Caudal</i>	16
3.1.2.3.	<i>Muestreo de suelo</i>	17
3.2.	Cálculo de la Huella Hídrica de la Microcuenca del río Pachanlica	18
3.2.1.	Sector agrícola	18
3.2.1.1.	<i>Uso del suelo</i>	19
3.2.1.2.	<i>Huella Hídrica Verde Agrícola</i>	21
3.2.1.3.	<i>Huella Hídrica Azul Agrícola</i>	21
3.2.1.4.	<i>Huella Hídrica Gris Agrícola</i>	22
3.2.2.	Sector pecuario	23
3.2.2.1.	<i>Huella Hídrica Verde Pecuaria</i>	24
3.2.2.2.	<i>Huella Hídrica Azul Pecuaria</i>	25
3.2.2.3.	<i>Huella Hídrica Gris Pecuaria</i>	25
3.2.3.	Sector industrial	25
3.2.3.1.	<i>Huella Hídrica Azul Industrial</i>	25
3.2.3.2.	<i>Huella Hídrica Gris Industrial</i>	26
3.2.4.	Sector doméstico	26
3.2.4.1.	<i>Huella Hídrica Azul Doméstica</i>	26
3.2.4.2.	<i>Huella Hídrica Gris Doméstica</i>	27

3.2.5.	Cálculo de la Huella Hídrica Total de la Microcuenca del río Pachanlica	27
3.3.	Determinación de la sostenibilidad de la Huella Hídrica en la microcuenca del Río Pachanlica	28
3.3.1.	<i>Sostenibilidad ambiental de la Huella Hídrica Azul</i>	28
3.3.1.1.	<i>Sostenibilidad ambiental de la Huella Hídrica Verde</i>	29
3.3.1.2.	<i>Sostenibilidad ambiental de la Huella Hídrica Gris</i>	31
3.3.2.	<i>Análisis de la sostenibilidad económica de la Huella Hídrica</i>	31
3.3.3.	<i>Sostenibilidad social</i>	33
3.4.	Propuesta de estrategias de gestión de los recursos hídricos para reducir la huella hídrica de la microcuenca del río Pachanlica, con base en los resultados de la evaluación de la huella hídrica y las condiciones socioeconómicas y ambientales de la región	33

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
4.1.	Revisión detallada de la documentación científica y técnica existente sobre la huella hídrica y su evaluación con la gestión de los recursos hídricos en el contexto de la cuenca del río Pachanlica	34
4.1.1.	<i>Selección de la muestra</i>	35
4.1.2.	<i>Muestreos</i>	35
4.1.2.1.	<i>Muestreo de agua</i>	35
4.1.2.2.	<i>Muestreo del suelo</i>	40
4.2.	Cálculo de la huella hídrica	40
4.2.1.	<i>Sector agrícola</i>	40
4.2.1.1.	<i>Huella Hídrica Verde Agrícola</i>	44
4.2.1.2.	<i>Huella Hídrica Azul Agrícola</i>	45
4.2.1.3.	<i>Huella Hídrica Gris Agrícola</i>	45
4.2.2.	<i>Sector pecuario</i>	47
4.2.3.	<i>Cálculo Huella Hídrica Doméstica</i>	49
4.2.4.	<i>Sector industrial</i>	50
4.2.5.	<i>Cálculo de la Huella Hídrica Total de la microcuenca del río Pachanlica</i>	51
4.3.	Determinación de la sostenibilidad de la Huella Hídrica en la microcuenca del Río Pachanlica	53
4.3.1.	<i>Sostenibilidad ambiental de la Huella Hídrica Azul</i>	53
4.3.2.	<i>Sostenibilidad ambiental de la Huella Hídrica Verde</i>	54

4.3.3.	<i>Sostenibilidad ambiental de la Huella Hídrica Gris</i>	54
4.3.4.	<i>Sostenibilidad económica de la Huella Hídrica</i>	55
4.3.5.	<i>Sostenibilidad social</i>	59
4.4.	Propuesta de estrategias de gestión de los recursos hídricos para reducir la huella hídrica de la microcuenca del río Pachanlica, con base en los resultados de la evaluación de la huella hídrica y las condiciones socioeconómicas y ambientales de la región	60

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
5.1.	Conclusiones	66
5.2.	Recomendaciones	67

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1:	Ubicación de los puntos de monitoreo.....	14
Tabla 3-2:	Parámetros fisicoquímicos caracterizados en todos los puntos de monitoreo	16
Tabla 3-3:	Parámetros físicos del suelo.....	18
Tabla 3-4:	Datos climáticos de la microcuenca.....	18
Tabla 3-5:	Cultivos más representativos de la microcuenca del río Pachanlica.....	19
Tabla 3-6:	Variable de cultivo.....	19
Tabla 3-7:	Propuesta de estrategias de gestión de los recursos hídricos para reducir la huella.....	33
Tabla 4-1:	Puntos de monitoreos.....	34
Tabla 4-2:	Cálculo del número de individuos a entrevistar.....	35
Tabla 4-3:	Parámetros in situ.....	36
Tabla 4-4:	Parámetros de laboratorio	37
Tabla 4-5:	Parámetros in situ del suelo	40
Tabla 4-6:	Datos climáticos.....	41
Tabla 4-7:	Datos de precipitación.....	41
Tabla 4-8:	Kc de cultivo	42
Tabla 4-9:	Profundidad radicular y altura de los cultivos	43
Tabla 4-10:	Etapas de cultivo	43
Tabla 4-11:	Fracción de agotamiento	43
Tabla 4-12:	Rendimiento.....	44
Tabla 4-13:	Huella Hídrica total de la microcuenca del río Pachanlica	51
Tabla 4-14:	Sostenibilidad de Huella Hídrica Azul.....	54
Tabla 4-15:	Sostenibilidad de la Huella Hídrica Verde.....	54
Tabla 4-16:	Sostenibilidad ambiental de la Huella Hídrica Gris	54
Tabla 4-17:	Productividad aparente del agua sector agrícola.....	56
Tabla 4-18:	Productividad aparente del agua sector pecuario	57
Tabla 4-19:	Productividad aparente del agua sector doméstico	57
Tabla 4-20:	Productividad aparente del agua sector industrial.....	58
Tabla 4-21:	Estrategias formuladas del sector agrícola.....	60
Tabla 4-22:	Estrategias formuladas del sector pecuario	61
Tabla 4-23:	Estrategias formuladas del sector industrial.....	62
Tabla 4-24:	Estrategias formuladas del sector doméstico	64

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 4-1:	Temperatura del agua	36
Ilustración 4-2:	Datos de pH	36
Ilustración 4-3:	Datos de caudal.....	37
Ilustración 4-4:	Huella Hídrica verde agrícola.....	44
Ilustración 4-5:	Huella Hídrica azul agrícola	45
Ilustración 4-6:	Huella Hídrica gris agrícola.....	46
Ilustración 4-7:	Huella Hídrica total agrícola.....	47
Ilustración 4-8:	Sector pecuario	48
Ilustración 4-9:	Huella Hídrica total pecuario.....	48
Ilustración 4-10:	Huella Hídrica doméstica	49
Ilustración 4-11:	Huella Hídrica total doméstica	49
Ilustración 4-12:	Huella Hídrica del sector industrial	50
Ilustración 4-13:	Huella Hídrica total de la microcuenca del río Pachanlica	51
Ilustración 4-14:	Porcentaje por sectores	52
Ilustración 4-15:	Porcentaje de la Huella Hídrica azul.....	52
Ilustración 4-16:	Porcentaje de la Huella Hídrica gris	53
Ilustración 4-17:	Huella Hídrica total en porcentajes.....	53
Ilustración 4-18:	Sostenibilidad ambiental total.....	55
Ilustración 4-19:	Productividad aparente del agua.....	56
Ilustración 4-20:	Productividad aparente de la tierra	57
Ilustración 4-21:	Productividad aparente del agua total.....	59

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 3-1:	Tamaño de muestra.....	15
Ecuación 3-2:	Velocidad media	16
Ecuación 3-3:	Área transversal	17
Ecuación 3-4:	Caudal	17
Ecuación 3-5:	Valor del coeficiente del cultivo en la etapa inicial	20
Ecuación 3-6:	Valor del coeficiente de cultivo en etapa media	20
Ecuación 3-7:	Valor del coeficiente de cultivo en etapa final.....	20
Ecuación 3-8:	Evapotranspiración verde	21
Ecuación 3-9:	Huella Hídrica verde agrícola	21
Ecuación 3-10:	Evapotranspiración azul.....	22
Ecuación 3-11:	Requerimiento de riego.....	22
Ecuación 3-12:	Huella Hídrica azul agrícola	22
Ecuación 3-13:	Huella Hídrica Gris Agrícola.....	22
Ecuación 3-14:	Huella Hídrica pecuaria	23
Ecuación 3-15:	Huella hídrica.....	23
Ecuación 3-16:	Capacidad de carga animal	24
Ecuación 3-17:	Requerimiento de materia seca por animal.....	24
Ecuación 3-18:	Huella Hídrica Azul Industrial.....	25
Ecuación 3-19:	Huella Hídrica Gris Industrial.....	26
Ecuación 3-20:	Huella Hídrica Azul Domestica	26
Ecuación 3-21:	Huella Hídrica Gris Doméstica.....	27
Ecuación 3-22:	Huella Hídrica total.....	27
Ecuación 3-23:	Escorrentía natural	28
Ecuación 3-24:	Escasez de agua	29
Ecuación 3-25:	Disponibilidad del agua	30
Ecuación 3-26:	Evapotranspiración verde	30
Ecuación 3-27:	Nivel de contaminación de agua	31
Ecuación 3-28:	Productividad aparente del agua	31
Ecuación 3-29:	Productividad aparente de la tierra	31
Ecuación 3-30:	Productividad aparente del agua azul	32
Ecuación 3-31:	Productividad aparente del agua azul doméstica	32
Ecuación 3-32:	Productividad aparente del agua azul industrial	33

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: PUNTOS DE MUESTREO

ANEXO B: MUESTREO DEL AGUA

ANEXO C: MUESTREO DEL SUELO

ANEXO D: EQUIPOS UTILIZADOS

ANEXO E: CAUDALES

ANEXO F: MODELO DE ENCUESTA

ANEXO G: REGISTRO DE ENTREVISTAS

ANEXO H: ANÁLISIS DE AGUA

ANEXO I: ANÁLISIS DE SUELO

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ARCA	Agencia de Regulación y Control del Agua
HH	Huella Hídrica
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
INIAP	Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Ecuador
IICA	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
MAE	Ministerio del Ambiente
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
SENAGUA	Secretaría Nacional del Agua

RESUMEN

El agua es un recurso natural esencial para la vida, por lo que su gestión sostenible es fundamental para el desarrollo de las comunidades. En la presente investigación hacemos uso de la huella hídrica, es una herramienta que permite cuantificar el consumo de agua de un sistema o actividad, lo que puede ser útil para identificar áreas de mejora en la gestión del recurso, a partir de su huella verde, azul y gris. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la Huella Hídrica (HH) de la microcuenca del río Pachanlica, ubicada en la provincia de Tungurahua, Ecuador. La microcuenca tiene una superficie de 100 km² y una población de aproximadamente 10.000 habitantes, la evaluación se realizó utilizando la metodología propuesta por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Se identificaron cuatro sectores principales de consumo de agua: agrícola, pecuario, doméstico e industrial. El estudio también evaluó la sostenibilidad de la microcuenca en términos de disponibilidad de agua. Los resultados del estudio muestran que la huella hídrica total de la microcuenca da un valor de: 827,54 de m³ por año Huella Hídrica verde (HHverde), 19662,83 m³ (HHazul) y 49341,65 m³ (HHgris). Además, muestran que la microcuenca tiene una disponibilidad de agua suficiente para satisfacer las necesidades de sus habitantes. Sin embargo, se recomienda implementar medidas de eficiencia en el uso del agua para reducir el impacto ambiental. El estudio concluye que la evaluación de la huella hídrica es una herramienta útil para el fortalecimiento de la gestión y política comunitaria del agua.

Palabras claves: <MEDIO AMBIENTE>, <HUELLA HÍDRICA>, <DEFISI HÍDRICO>, <SOSTENIBILIDAD MEDIOAMBIENTAL>, <MICROCUCENCA>.

0610-DBRA-UPT-2024



SUMMARY

Water is an essential natural resource for life, so sustainable management is crucial for community development. In this research, we utilize water footprint, a tool that quantifies the water consumption of a system or activity, which can be useful for identifying areas for improvement in resource management, based on its green, blue, and grey footprint. The objective of this study was to evaluate the Water Footprint (WF) of Pachanlica River micro-watershed, located in the Tungurahua province in Ecuador. The micro-watershed covers an area of 100 km² and has a population of approximately 10,000 inhabitants. The assessment was conducted using the methodology proposed by the Inter-American Institute for Cooperation on Agriculture (IICA). Four main sectors of water consumption were identified: agricultural, livestock, domestic, and industrial. The study also evaluated the sustainability of the micro-watershed in terms of water availability. The results show that the total water footprint of the micro-watershed yields values of: 827.54 m³ per year for green water footprint (WF_{green}), 19,662.83 m³ for blue water footprint (WF_{blue}), and 49,341.65 m³ for grey water footprint (WF_{grey}). Additionally, they demonstrate that the micro-watershed has sufficient water availability to meet the needs of its inhabitants. However, it is recommended to implement water use efficiency measures to reduce environmental impact. The study concludes that water footprint assessment is a useful tool for strengthening community water management and policy.

Keywords: <ENVIRONMENT>, <WATER FOOTPRINT>, <WATER DEFICIT>, <ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY>, <MICRO-WATERSHED>.



Ing. Romel Francisco Calles Jimenez.

CI: 0603877713

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso vital para todas las formas de vida, y su disponibilidad y gestión sostenible son cruciales para el bienestar de las comunidades y el medio ambiente. En los últimos años, el concepto de huella hídrica ha surgido como una importante herramienta para evaluar el impacto de las actividades humanas sobre los recursos hídricos. La huella hídrica mide el volumen total de agua dulce utilizada directa o indirectamente para producir bienes y servicios consumidos por individuos, comunidades o naciones (UNIDAS, 2015, pág.1).

Las microcuencas juegan un papel importante en la gestión de los recursos hídricos, ya que son unidades cruciales para el suministro, la conservación y el desarrollo sostenible del agua a nivel local. Comprender la huella hídrica de una microcuenca brinda información valiosa sobre los patrones de consumo de agua e identifica las actividades que tienen el mayor impacto en los recursos hídricos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020).

La microcuenca del río Pachanlica es de particular interés en este estudio, es una fuente de agua vital para las comunidades aledañas, apoyando diversas actividades como la agricultura, la cría de ganado y el uso doméstico del agua. Sin embargo, las crecientes demandas sobre los recursos hídricos, combinadas con condiciones climáticas cambiantes y prácticas de manejo inadecuadas, plantean desafíos importantes para la sostenibilidad de la microcuenca.

La Microcuenca del Río Pachanlica es una subcuenca de la cuenca del río Guayllabamba. Tiene un área de drenaje de aproximadamente 100 kilómetros cuadrados. El principal río de la microcuenca es el río Pachanlica, que es afluente del río Guayllabamba (Arcia et al., 2018, págs. 41-49).

La Microcuenca del Río Pachanlica es una importante fuente de agua para la ciudad de Ambato. El agua de la microcuenca se utiliza para consumo, riego e industria. La microcuenca también alberga una variedad de vida silvestre, que incluye aves, mamíferos y reptiles. La Microcuenca del Río Pachanlica está ubicada en la provincia de Tungurahua en Ecuador. Sus coordenadas UTM son:

Norte: 9 608 000

Sur: 9 598 000

Este: 518 000

Oeste: 515 000

Este trabajo tuvo como objetivo evaluar la huella hídrica de la microcuenca del río Pachanlica y explorar su relevancia en el fortalecimiento de la gestión y política comunitaria. Al analizar los datos de consumo de agua de diferentes actividades dentro de la microcuenca, se pudo identificar las áreas donde el uso de agua es alto y evaluar su sostenibilidad. Esta evaluación proporcionará información importante para desarrollar estrategias efectivas donde se puede administrar los recursos hídricos, mejorar la participación comunitaria y formular políticas que promuevan la sostenibilidad ambiental.

Al comprender la huella hídrica de la microcuenca y sus implicaciones para la gestión comunitaria, podemos trabajar hacia el uso sostenible del agua, la distribución equitativa y la conservación de este preciado recurso. Esta investigación contribuye al objetivo más amplio de fomentar prácticas y políticas ambientalmente responsables que beneficien tanto a la comunidad como al ecosistema de la microcuenca del río Pachanlica.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

Nuestro recurso agua existente en la tierra es limitado y sus propiedades se ven afectadas de manera indefectible por las acciones humanas como la industria, ganadería y la agricultura, es importante disminuir y prevenir la huella ecológica mediante cambios amigables con el medio ambiente en la elaboración de productos (Programa de cooperación técnica, 2017).

Existe una baja concientización ambiental ya que las comunidades aledañas cercanas al río Pachanlica no tienen conocimiento acerca de los contaminantes químicos y biológicos que pueden generar afecciones y deterioro en la calidad del agua que tiene el río, por lo que, es necesario crear una conciencia ambientalista y examinar alternativas para minimizar los impactos negativos causados por el hombre (Pérez et al., 2012).

La biodiversidad acuática se ve reducida por el crecimiento poblacional y las vertientes de aguas residuales introducidas a lo largo de la microcuenca del Río Pachanlica. De manera que, estos son los agentes primordiales que afectan la calidad y agravan la contaminación del río. Los agentes químicos, físicos, biológicos provocan la contaminación debido a sus concentraciones superiores a las naturales (Ivanova y Sarmiento, 2014, págs. 3-22).

En el Ecuador el número de estudios y especialistas en el tema de huella hídrica es limitado debido a que la gestión de los recursos hídricos se ha concentrado en el riego para la agricultura, esta investigación conlleva a la formulación de la pregunta central del problema: ¿Cómo los parámetros químicos físicos influyen en a la huella hídrica del Río Pachanlica?

1.2. Justificación

La evaluación de huella hídrica es una metodología que promueve y apoya el uso sostenible del recurso hídrico a través de información transparente y completa sobre el consumo y la contaminación del agua, en relación con la disponibilidad de esta (Moreira et al., 2017, pág. 1-11) Para la evaluación se utiliza la guía metodológica para la evaluación de la huella hídrica de una cuenca hidrográfica del instituto interamericano de cooperación para la agricultura (IICA).

La Huella Hídrica busca informar sobre el agua dulce consumida por los seres humanos, así como el grado de sostenibilidad de los territorios que proveen estos consumos, con el fin de apoyar la formulación de las estrategias eficientes y realistas para alcanzar un uso sostenible del agua en una cuenca, mediante estos métodos es más factible conocer cuánta agua es necesaria para la producción agrícola e industrial y cómo evitar el consumo excesivo y mal uso de esta (Moreira et al., 2017, pág. 1-11).

La evaluación de la huella hídrica de la microcuenca del río Pachanlica es una herramienta clave para fortalecer la gestión y la política comunitaria en relación con los recursos hídricos. La justificación de esta evaluación se basa en varios aspectos importante como: La escasez de agua, ya que, es un problema creciente en muchas partes del mundo, y las microcuencas no son una excepción. Evaluar la huella hídrica de la microcuenca del río Pachanlica permitió comprender mejor cómo se utiliza y distribuye el agua en la zona, se identificó posibles ineficiencias y se buscó soluciones para garantizar un uso sostenible de este recurso vital.

Es esencial llevar a cabo una gestión eficiente de los recursos hídricos para proteger el medio ambiente. La evaluación de la huella hídrica facilita la identificación de posibles fuentes de contaminación y los efectos ambientales derivados del uso del agua en la microcuenca. Este enfoque permite la implementación de medidas preventivas y correctivas destinadas a reducir al mínimo estos impactos (Rojas et al., 2014, págs. 1-76).

Se involucró a la comunidad en la recopilación de datos y en el análisis de resultados, donde se fomentó la conciencia sobre la importancia del agua y se promovió la adopción de prácticas sostenibles en el uso del recurso. Además, esta evaluación pudo servir como una base sólida en donde se desarrolló políticas y planes de acción que reflejaron las necesidades y preocupaciones de la comunidad local.

Considerar el consumo de agua (verde, azul y gris) para la obtención de bienes y servicios ya que permite determinar no solo el nivel de eficiencia, sino también el impacto que se genera al medio ambiente y, lo más importante, identificar oportunidades de mejora (García y Blanco, 2018, págs. 1-53).

Conocer el valor de la huella hídrica en torno a la microcuenca de Río Pachanlica representó la identificación del valor que se otorga al agua bajo diversos criterios de consumo y aprovechamiento, por lo que, para el efecto, aplicó la metodología del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) que promueve y apoya el uso sostenible del recurso

hídrico a través de información transparente y completa sobre el consumo y la contaminación del agua, en relación con su disponibilidad.

El trabajo investigativo tuvo respaldo del Grupo de Investigación para la Sostenibilidad de Cuencas Hidrográficas (GISOCH), de la misma manera es de interés y tiene respaldo por parte del GAD provincial de Tungurahua.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Evaluar la huella hídrica de la microcuenca del río Pachanlica en el fortalecimiento de su gestión y política comunitaria.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar una revisión detallada de la documentación científica y técnica existente sobre la huella hídrica y su evaluación, y su relación con la gestión de los recursos hídricos en el contexto de la cuenca del río Pachanlica.
- Calcular la Huella Hídrica de la microcuenca del Río Pachanlica.
- Determinar la sostenibilidad de la Huella Hídrica en la microcuenca del Río Pachanlica.
- Proponer estrategias de gestión de los recursos hídricos para reducir la huella hídrica de la microcuenca del río Pachanlica con base en los resultados de la evaluación de la huella hídrica y las condiciones socioeconómicas y ambientales de la región.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes

Evaluaciones previas de la huella hídrica en el Ecuador se han enfocado en el impacto generador por la actividad agrícola que incluye, frutas, cultivos industriales, granos básicos y hortalizas. La diversidad hidrológica y el impacto generado por actividades productivas no tecnificadas vuelven a los estudios de huella hídrica herramientas de conservación de recursos y fuentes de información.

Metodológicamente investigaciones relevantes en el campo como las realizadas por Pérez Arcos, S. “Evaluación y análisis de la huella hídrica y agua virtual de la producción agrícola en el Ecuador” y Lala Hayo, H. “Análisis de la sostenibilidad mediante huella hídrica de la microcuenca del río Pita, Ecuador” utilizaron el modelo propuesto por Arjen Hoekstra y publicado por Water Footprint Network debido al gran alcance de las variables seleccionadas y la facilidad de su aplicación para cualquier tipo de estudio y concepto, a través de este procedimiento se pudo cuantificar y localizar la huella hídrica en procesos productivos a través del tiempo y el espacio, analizar el impacto ambiental, social y económico de dichas actividades y formular estrategias de respuesta ante los problemas encontrados.

A partir de estudios previos enfocados en microcuencas como la del río Pita en el año 2007 el cual encontró que los sectores domésticos, pecuarios y agrícola son los mayores aportantes dentro del cálculo de huella hídrica, además determinó la sostenibilidad, capacidad de depuración y disponibilidad de consumo de la microcuenca.

La versatilidad de la metodología permitió que investigaciones se enfoquen en actividades específicas como la huella hídrica derivada exclusivamente de la actividad agrícola en Ecuador, esta actividad al ser uno de los pilares de la economía nacional presenta una especial relevancia debido a que dentro de los 10 productos más exportados por Ecuador se encuentran, banano, cacao y flores naturales, sin contar la actividad agrícola de micro y pequeños agricultores cuyas cosechas van orientadas al mercado nacional y al consumo propio.

En base a los antecedentes obtenidos por distintos estudios el enfoque aplicado al presente trabajo de titulación abarcará problemáticas y actividades previamente abarcadas por otros investigadores

y servirán como guía y base para el desarrollo óptimo del estudio y la generación de propuestas capaces de solucionar los requerimientos más importantes dentro de contexto local y nacional.

El río Pachanlica es un cuerpo de agua que se encuentra en la ciudad de Ambato, ubicada en la provincia de Tungurahua, en Ecuador, que es una de las principales cuencas hidrográficas del país, tiene una longitud aproximada de 25 kilómetros y su cuenca hidrográfica abarca una superficie de alrededor de 170 kilómetros cuadrados. El río nace en las laderas del volcán Tungurahua y fluye hacia el este, pasando por la ciudad de Ambato y desembocando en el río Ambato (2017).

El río Pachanlica ha tenido un papel importante en la historia de Ambato, ya que su cauce ha sido utilizado para la irrigación de los cultivos en la región desde tiempos prehispánicos. Además, en la época colonial, el río fue utilizado para la generación de energía hidroeléctrica para molinos y fábricas.

En años recientes, el río Pachanlica ha sido objeto de atención debido a la contaminación de sus aguas por la descarga de aguas residuales y desechos industriales de la ciudad de Ambato. Esto ha llevado a esfuerzos por parte de las autoridades locales para mejorar la calidad del agua del río y proteger su ecosistema.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Marco conceptual

2.2.1.1. Cuencas y huella hídrica

Cuenca

Una cuenca es una unidad territorial en la que el agua que cae como precipitación se junta y fluye hacia un punto común, como un río, lago o mar, durante un período específico de tiempo (por ejemplo, un mes o un año). La precipitación se escurre, se evapora o se almacena como humedad del suelo, o aumenta los niveles de lagos y acuíferos.

Una cuenca hidrográfica es un sistema integral y delimitado de drenaje que abarca una porción de tierra en la que todos los cursos de agua, tanto pequeños como grandes, están interconectados y finalmente descargan sus aguas en un punto común de salida. Este punto de salida suele ser un

río principal, lago, mar u océano. La característica definitoria de una cuenca hidrográfica está influenciada principalmente por la topografía del terreno. Las montañas, colinas y crestas divisorias actúan como fronteras naturales que separan las cuencas. Cuando llueve o se produce la fusión de la nieve en estas áreas elevadas, el agua fluye hacia abajo siguiendo la pendiente del terreno y se reúne en arroyos (acuíferos) y ríos más pequeños. Estos cursos de agua a su vez se combinan en ríos más grandes dentro de la cuenca hasta llegar al punto de salida.

2.2.1.2. Criterios de clasificación de las cuencas hidrográficas

Por jerarquía:

- **Cuenca principal o primaria:** Es la cuenca principal de un río, donde convergen todos sus afluentes y tributarios.
- **Cuenca secundaria o subcuenca:** Son las cuencas más pequeñas que contribuyen al sistema de una cuenca principal.
- **Microcuenca:** Son cuencas aún más pequeñas que las subcuencas, a menudo se utilizan para estudios de gestión local.

Por su ubicación:

- **Cuenca de vertiente:** Drena hacia un océano o mar.
- **Cuenca endorreica:** No tiene salida hacia un océano o mar, el agua se acumula en lagos o se evapora.

Por su gestión:

- **Cuenca urbana:** Aquella que abarca áreas urbanas y su gestión está influenciada por actividades urbanas como la industria y el desarrollo.
- **Cuenca rural:** Aquella que abarca áreas rurales, donde la agricultura y actividades agrícolas son más predominantes.
- **Cuenca protegida:** Aquella en la que se han implementado medidas de conservación para proteger la calidad del agua y los ecosistemas. (Programa de cooperación técnica, 2017)

2.2.1.3. Microcuenca como unidad hidrológica

Una microcuenca representa una entidad hidrológica a escala local y regional, donde su delimitación se basa en características geográficas y topográficas específicas. Estas áreas geográficas se caracterizan por la presencia de una red de drenaje natural compuesta por arroyos y riachuelos que canalizan el flujo de agua de lluvia hacia un punto de salida. La delimitación de una microcuenca se determina generalmente identificando las altas elevaciones o divisores de aguas que rodean la región, lo que significa que todas las aguas que caen dentro de esos límites convergen hacia un punto común de salida (Bateman, 2007, pág.7).

Estas áreas suelen ser de tamaño adecuado para llevar a cabo investigaciones detalladas y proyectos de gestión enfocados en la conservación y el uso sostenible del agua. Además, su pequeña escala permite un mayor control y seguimiento de los procesos hidrológicos, la calidad del agua y los ecosistemas acuáticos, lo que facilita la implementación de medidas de conservación y restauración.

La importancia de las microcuencas radica en su capacidad para servir como unidades funcionales para la toma de decisiones relacionadas con la gestión del agua, la planificación del uso del suelo y la protección de los recursos naturales. Además, estas áreas son esenciales para comprender los impactos locales de las actividades humanas en los ciclos hidrológicos y en la calidad del agua, lo que contribuye a la toma de decisiones informadas y a la promoción de la sostenibilidad en la gestión de los recursos hídricos.

Además de este concepto, las microcuencas constituyen el espacio práctico donde se llevan a cabo proyectos y acciones, y donde se implementan políticas, estrategias y programas diseñados a nivel de cuenca y subcuenca.

2.2.1.4. Huella hídrica

Evaluación de la Huella Hídrica

La Huella Hídrica (WF) es una métrica que cuantifica la cantidad de agua empleada en la fabricación de productos y la prestación de servicios. Puede aplicarse a diversas escalas, desde un proceso individual como el cultivo de arroz, hasta un artículo concreto como unos jeans, e incluso abarcar la cantidad de agua utilizada por un automóvil debido al combustible que utiliza. Asimismo, la huella hídrica tiene la capacidad de proporcionar información sobre el consumo de

agua de un país en particular, ya sea a nivel nacional o global, en el contexto de una cuenca fluvial específica o de un acuífero determinado. Dicho de otra forma, es un indicador de consumo y contaminación de agua dulce que abarca tanto dimensiones directas como indirectas. El concepto fue introducido por primera vez en 2002 por el Dr. Arjen Hoekstra y desde entonces ha sido promovido por la organización Water Footprint Network (WFN).

La huella hídrica se define como al consumo humano de agua dulce y la contaminación del agua asociada a procesos antropogénicos (apropiación humana del agua dulce) (Network, 2023).

2.2.1.5. Componentes de la huella hídrica

Según la FAO (2000), el agua dentro de una unidad territorial, como una cuenca hidrográfica, puede estar disponible como agua derivada de la lluvia y almacenada como humedad del suelo (agua verde) o como escorrentía en cuerpos de agua superficiales o subterráneos (agua azul). Esta clasificación de las acuarelas define el uso consuntivo o apropiación del agua como huella hídrica azul y huella hídrica verde.

La huella hídrica azul, por lo tanto, se refiere al uso consuntivo de aguas superficiales (p. ej., ríos, lagos) y aguas subterráneas.

La huella hídrica verde, por otro lado, se refiere al uso consuntivo del agua almacenada en el suelo, como la humedad de la precipitación, que generalmente se asocia con la agricultura.

La huella hídrica gris se define como el volumen teórico de agua limpia necesario para asimilar o diluir un volumen de determinada carga contaminante vertido en una masa de agua.

2.2.1.6. Gestión comunitaria y política pública para la evaluación de la huella hídrica

La gestión comunitaria y la política pública desempeñan un papel fundamental en la evaluación de la Huella Hídrica en la microcuenca del río Pachanlica. La participación de la comunidad y el establecimiento de políticas adecuadas son cruciales para promover prácticas sostenibles de uso del agua y reducir los impactos negativos en los recursos hídricos.

La gestión comunitaria implica la colaboración y el compromiso de los habitantes locales en la protección y conservación del agua. Esto puede incluir la implementación de prácticas de agricultura y ganadería sostenibles que reduzcan el uso excesivo de agua y minimicen la

contaminación. Asimismo, se fomentará el uso eficiente del agua en los hogares y la promoción de tecnologías que permitirán su reutilización y reciclaje.

2.2.2. Marco legal

2.2.2.1. Constitución de la República del Ecuador

La Constitución establece el derecho de las personas a un ambiente sano y equilibrado, así como la responsabilidad del Estado para garantizar la gestión integral del agua. en su artículo 72 que todas las personas tienen derecho al acceso al agua potable y al saneamiento, así como a la gestión integral y sustentable de los recursos hídricos (DERECHO AL AGUA EN EL MARCO DEL BUEN VIVIR, 2019).

2.2.2.2. Ley Orgánica del Ambiente (Código Orgánico del Ambiente)

Esta ley establece la obligación del Estado y de los ciudadanos de proteger el ambiente y prevenir la contaminación. También establece la necesidad de evaluar los recursos hídricos del país y garantizar su uso sostenible (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2019).

2.2.2.3. Ley de Recursos Hídricos Uso y Aprovechamiento del agua (LORHUyA)

Esta ley establece los principios y normas para la gestión integral de los recursos hídricos del país. En su artículo 1 establece que el agua es un bien público, inalienable, inembargable, imprescriptible e intransferible, y su uso y aprovechamiento deberá ser sostenible y equitativo. También establece la necesidad de evaluar la calidad y cantidad de agua en los ríos y otros cuerpos de agua, así como de protegerlos de la contaminación.

2.2.2.4. Reglamento de la LORHUyA

Este reglamento establece las normas técnicas y metodológicas para la evaluación de la calidad y cantidad de agua en los ríos y otros cuerpos de agua. También establece las obligaciones de las empresas y personas que utilizan agua, así como las sanciones para aquellos que contaminan los recursos hídricos (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2015).

2.2.2.5. Plan de Ordenamiento Territorial del Cantón Ambato

Este plan establece las políticas y estrategias para la gestión integrada del agua a nivel local, incluyendo la protección de las fuentes de agua y la promoción de su uso eficiente (CONSEJO CANTONAL DE AMBATO, 2019, pág. 1-98).

2.2.2.6. Ley de Recursos Hídricos, Uso y Aprovechamiento del Agua

Esta ley regula la gestión, uso, aprovechamiento y control de los recursos hídricos en el país. En su artículo 1 establece que el agua es un bien público, inalienable, inembargable, imprescriptible e intransferible, y su uso y aprovechamiento deberá ser sostenible y equitativo. También establece la obligación de realizar estudios de disponibilidad de agua para la emisión de permisos de uso y aprovechamiento de agua, lo que resulta relevante para la evaluación de la huella hídrica del río Pachanlica.

2.2.2.7. Ley Orgánica de Planificación

Esta ley establece los criterios y principios para la planificación en el país. La evaluación de la huella hídrica del río Pachanlica podría ser considerada como una actividad relacionada con la planificación del uso y gestión de los recursos hídricos, por lo que podría ser necesario tomar en cuenta los criterios y principios de esta ley.

2.2.2.8. Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre

Esta ley establece los criterios y procedimientos para la conservación, protección y uso sostenible de los bosques y la vida silvestre.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

La investigación tuvo lugar durante la temporada de verano (junio- agosto 2023), con el objetivo de obtener información sobre la huella hídrica de la microcuenca del Río Pachanlica. Se examinaron tres tramos (alto, medio y bajo), importantes dentro del área de estudio. Esta investigación se caracteriza como descriptiva, lo que implicó la colaboración y participación de la comunidad en el proceso de recolección de datos.

3.1. Revisión detallada de la documentación científica y técnica existente sobre la huella hídrica y su evaluación con la gestión de los recursos hídricos en el contexto de la cuenca del río Pachanlica

3.1.1. *Recopilación de datos*

La metodología empleada para la recolección de datos se basó en los lineamientos proporcionados por la guía metodológica para la evaluación de la huella hídrica en una cuenca desarrollada por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.

Para la obtención de información se desarrollaron directamente visitas técnicas en toda la microcuenca del río Pachanlica, que se realizaron en conjunto con un representante del grupo de investigación GISOCH, asegurando una relación directa con los pobladores del sector para así poder presenciar las actividades antropogénicas generadas en el lugar.

Las técnicas de recolección de datos empleadas fueron:

Entrevistas: Se llevaron a cabo entrevistas con miembros de la comunidad, agricultores, ganaderos y otros actores involucrados en actividades relacionadas con el agua en la microcuenca. Estas entrevistas permitieron obtener información cualitativa sobre el uso del agua, las prácticas de gestión y las percepciones de los participantes.

Encuestas: Se realizaron encuestas estructuradas a través de cuestionarios diseñados específicamente para recopilar datos cuantitativos sobre el consumo de agua en diferentes sectores, como la agricultura, la ganadería y el uso doméstico. Las encuestas se llevaron a cabo tanto en hogares como en empresas y se utilizaron para obtener datos precisos sobre las cantidades de agua utilizada y las actividades asociadas.

Análisis de registros y documentación: Se examinaron registros existentes, como registros de uso de agua de empresas, informes de agencias gubernamentales y documentos relacionados con la gestión del agua en la microcuenca. Estos registros y documentos proporcionaron información adicional sobre el consumo de agua y las políticas y normas existentes.

Mediciones directas: Se realizaron mediciones directas en puntos clave de la microcuenca para recopilar datos sobre caudales de agua, calidad del agua, infiltración del suelo, textura del suelo. Estas medidas proporcionaron información precisa y actualizada sobre el estado de los recursos hídricos en la microcuenca.

3.1.1.1. Puntos de monitoreo

Posterior al recorrido de la microcuenca del Río Pachanlica, desde su punto de nacimiento hasta su desembocadura, se seleccionaron 6 puntos de interés, comprendidos entre zonas altas, medias bajas.

De acuerdo con las consideraciones expuestas y mediante el empleo del procedimiento probabilístico denominado muestreo aleatorio simple, los puntos de monitoreo se detallan en la Tabla 3-1.

Tabla 3-1: Ubicación de los puntos de monitoreo

DESCRIPCION	PUNTOS	LONGITUD	LATITUD
Urbina	PH1	755277	9838469
Quero	PH2	765864	9847951
Empresa de balanceados.	PH3	767493	9852731
Empresa de gelatina.	PH4	767837	9854121
Salasaka	PH5	769016	9854892
Antes de la unión con el río Ambato.	PH6	772717	9863199

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

3.1.1.2. *Tamaño de la muestra*

Se consideraron tres tramos de la microcuenca del río Pachanlica: Tramo alto, tramo medio, tramo bajo.

Tramo alto: se consideró el punto PH1 ya que fue el punto donde nace la microcuenca del río Pachanlica.

Tramo medio: se consideró los puntos PH2, PH3, PH4, debido a que en estos puntos existieron descargas de aguas residuales, y también está involucrada las dos empresas como son la de balanceados, y la empresa de gelatina.

Tramo bajo: se tomó como referencia el PH5, PH6, ya que es la desembocadura de todos los tramos.

Para el tamaño de la muestra se utilizó la siguiente formula (Almécija et al., 2004).

Ecuación 3-1: Tamaño de muestra

$$n = \frac{N * Zc^2 * p * q}{(N - 1) + Z^2 * p * q}$$

Donde:

n =Tamaño de la muestra

N= Población

Zc= Nivel de confianza (1,96)

p= Probabilidad de éxito (0,05)

q= Probabilidad de fracaso (0,95)

d= error máximo admisible (0,05)

3.1.2. *Muestreos*

3.1.2.1. *Muestreo de agua*

El tipo de muestreo utilizado fue el muestreo simple o puntual; las muestras de agua fueron recolectadas en los diferentes puntos seleccionados de la microcuenca del río Pachanlica. Para los análisis fisicoquímicos se tomaron muestras de 1L de agua en botellas Ámbar.

Los análisis se realizaron para conocer la calidad del agua del río tomando en cuenta cada una de las actividades presentes en la población y área de influencia.

Tabla 3-2: Parámetros fisicoquímicos caracterizados en todos los puntos de monitoreo

Parámetros	Análisis
Oxígeno disuelto	Laboratorio
Nitratos	Laboratorio
Fosfatos	Laboratorio
Surfactantes	Laboratorio
Ph	In situ
Temperatura	In situ
Conductividad eléctrica	In situ
Turbiedad	In situ

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

3.1.2.2. Caudal

Para la cuantificación del caudal, se dividió en secciones con distancia y profundidad, se obtuvo el área de cada sección con el correntómetro se midió la velocidad por cada sección, luego se multiplico el área por la velocidad al final se sumó el caudal de cada uno para obtener el caudal total de todos los puntos de monitoreo. Se buscó seleccionar un tramo lo más recto posible, evitando las curvas que podrían verse afectadas por el viento y afectar la velocidad del agua (Diego, 1964; Moreno y Salomón, 2009, págs. 1-86).

Ecuación 3-2: Velocidad media

$$Vm = \frac{d}{t_p}$$

Fuente: (IICA, 2017).

Donde:

Vm= velocidad media (m/s).

d= distancia (m).

tp= tiempo promedio (s).

Para la profundidad media se tomaron en cuenta algunos puntos de medida en el ancho del río, con estos datos obtenidos se sacó un promedio para luego hacer el cálculo del área transversal.

Ecuación 3-3: Área transversal

$$At = a * h_m$$

Donde:

At= área transversal (m²)

a= ancho del río (m).

hm= profundidad media (m).

Y por último para el cálculo del caudal

Ecuación 3-4: Caudal

$$Q = At * Vm$$

Donde:

Q= caudal (m³/s).

At= área transversal (m²).

Vm= velocidad media (m/s).

3.1.2.3. Muestreo de suelo

Las muestras de suelo se tomaron en los 6 puntos de muestreo, los parámetros que se analizaron fueron los principales que establece la guía metodología de la FAO, preciso para el cálculo en el programa CROPWAT 8.0.

Se extrajo un enfoque de muestra simple para recopilar las muestras de suelo en cada uno de los puntos seleccionados. Siguiendo las directrices del Ministerio del Ambiente (2014), para suelos agrícolas, se establece una profundidad de prueba de 0 a 30 cm. En consecuencia, se recolectó 1

kg de suelo por muestra y se almacenó en fundas ziploc para su posterior análisis y sellado hermético. Los parámetros analizados en el suelo se evidencian en la tabla 3-3.

Tabla 3-3: Parámetros físicos del suelo

Parámetros	Análisis
Humedad	Laboratorio
Textura	Laboratorio
Densidad	Laboratorio

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

3.2. Cálculo de la Huella Hídrica de la Microcuenca del río Pachanlica

3.2.1. Sector agrícola

Para la estimación de la Huella Hídrica (HH) en el sector agrícola se utilizó el software CROPWAT 8.0. Este software permite determinar los requerimientos hídricos de cada cultivo en función de la evapotranspiración. Es importante señalar que no toda el agua de riego es evaporada o transpirada por los cultivos; una parte significativa de ella será drenada. Para el cálculo se consideraron los siguientes datos (García y Blanco, 2018, págs. 1-53).

Datos Climáticos de la Microcuenca

Los datos climáticos de la zona de estudio se obtuvieron mediante el programa Power Nasa, Word Clim, que proporciona datos de estaciones meteorológicas. La Tabla 3-4 muestra los datos climáticos necesarios para el software CROPWAT 8.0.

Tabla 3-4: Datos climáticos de la microcuenca

DATOS CLIMATICOS	UNIDADES
Temperatura	°C
Humedad	%
Viento	Km/día
Radiación	MJ/m ² /10
Precipitación	mm /día

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

3.2.1.1. Uso del suelo

Cultivo

Mediante la información de los Plan de desarrollo y ordenamiento territorial (PDOT) de las parroquias Yanayacu, Cevallos y Salasaca en las que se encuentra ubicada la microcuenca del río Pachanlica se determinó la distribución agrícola de los suelos con la finalidad de conocer cuáles son los cultivos más representativos de la zona, los cuales se encuentran ubicados en la Tabla 3-5.

Tabla 3-5: Cultivos más representativos de la microcuenca del río Pachanlica

Maíz
Hortalizas
Papas
Flores

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

Una vez determinado los cultivos que se van a manejar, las variables a tomar a consideración en el software CROPWAT 8.0 fueron las detalladas en la tabla 3-6.

Tabla 3-6: Variable de cultivo

VARIABLE	ELEMENTO
Fecha siembra y cosecha del cultivo	Calendario agrícola
Infiltración	ml /Dia
Profundidad radicular	cm de raíz
Agotamiento crítico	Variación de 0,4 a 0,6 (Adimensional)
Factor de respuesta del rendimiento	Específico para cada cultivo
Altura del cultivo	m

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

En los cultivos existentes en los distintos puntos de muestreo se distinguieron cuatro fases para establecer el valor del coeficiente del cultivo, estas dependen de las características del cultivo, estos coeficientes se establecieron mediante el estudio de la FAO sobre riego y drenaje, se utilizaron las siguientes ecuaciones:

Coeficiente del cultivo en la etapa inicial

Ecuación 3-5: Valor del coeficiente del cultivo en la etapa inicial

$$Kc_{inicial} = Kc + \frac{(I - 10)}{(40 - 10)} [Kc_{inicial_1} - Kc_{inicial_2}]$$

Fuente: (FAO, 2006, pág. 117).

Donde:

- $Kc_{inicial}$: Valor del coeficiente del cultivo en la etapa inicial Kc de la FAO.
- Kc : Valor de Kc proviene de la FAO.
- I : Lamina infiltrada promedio [mm].

Coeficiente del cultivo en la etapa media.

Ecuación 3-6: Valor del coeficiente de cultivo en etapa media

$$Kc_{med} = Kc_{med}(cua) + [0,04(\mu_2 - 2) - 0,004(HR_{min} - 45)] \left(\frac{h}{3}\right)^{0,3}$$

Fuente: (FAO, 2006, pág. 123).

Donde:

- $Kc_{med}(cua)$: Valor del coeficiente de cultivo en etapa media Kcmed obtenida de coeficiente del cultivo (Kc) de la FAO.
- μ_2 : Valor medio diario de la velocidad del viento [ms^{-1}].
- HR_{min} : Valor medio diario de la humedad relativa mínima [%].
- H : Altura media de las plantas [m].

Coeficiente del cultivo en la etapa final

Ecuación 3-7: Valor del coeficiente de cultivo en etapa final

$$Kc_{fin} = Kc_{fin}(cua) + [0,04(\mu_2 - 2) - 0,004(HR_{min} - 45)] \left(\frac{h}{3}\right)^{0,3}$$

Fuente: (FAO, 2006, pág. 117).

Donde:

- Kc_{fin} (*cua*): Valor del coeficiente de cultivo en etapa final Kc_{fin} obtenida del coeficiente del cultivo (Kc) de la FAO.
- μ_2 : Valor medio diario de la velocidad del viento [ms^{-1}].
- HR_{min} : Valor medio diario de la humedad relativa mínima [%].
- H : Altura media de las plantas [m].

3.2.1.2. *Huella Hídrica Verde Agrícola*

La Huella verde agrícola permite conocer el volumen de agua evapotranspirada que proviene de la precipitación almacenada en el suelo.

Ecuación 3-8: Evapotranspiración verde

$$ET_{verde} = \min (\text{Requerimiento hidrico de cultivo}, \text{Precipitacion efectiva})$$

Fuente: (IICA, 2017).

Ecuación 3-9: Huella Hídrica verde agrícola

$$H \text{ Verde Agrícola} = \frac{AUC \text{ verde}}{Y}$$

Fuente: (IICA, 2017).

Donde:

- H Verde Agrícola: Huella Hídrica Verde del cultivo (m^3/t).
- AUC verde: agua utilizada por el cultivo (m^3/ha).
- Y: Rendimiento del cultivo (t/ha).

3.2.1.3. *Huella Hídrica Azul Agrícola*

La HH azul agrícola es el volumen de agua evapotranspirada que proviene de fuentes de agua superficial o subterránea, la cual ha sido utilizada para el riego de los cultivos (García y Blanco, 2018, págs. 1-53).

Ecuación 3-10: Evapotranspiración azul

$$ET_{Azul} = \min (\text{Riego neto total}, \text{Requerimiento de riego})$$

Fuente: (IICA, 2017)

El requerimiento de riego para cada cultivo se obtuvo de la diferencia del requerimiento de agua del cultivo y la precipitación efectiva.

Ecuación 3-11: Requerimiento de riego

$$\text{Requerimiento de riego} = \text{Requerimiento agua de cultivo} - \text{Precipitación efectiva}$$

Fuente: (IICA, 2017)

Posteriormente se siguió el mismo procedimiento de la HH verde:

Ecuación 3-12: Huella Hídrica azul agrícola

$$H \text{ azul Agrícola} = \frac{AUC \text{ azul}}{Y}$$

Fuente: (IICA, 2017).

Donde:

- H Azul Agrícola: Huella Hídrica Azul del cultivo (m³/t).
- AUC azul: Agua utilizada por el cultivo (m³/ha).
- Y: Rendimiento del cultivo (t/ha).

3.2.1.4. Huella Hídrica Gris Agrícola

La huella hídrica gris se aplica al sector agrícola debido a las fuentes difusas y puntuales: (fertilizantes y agroquímicos) (Hernández y Hernández, 2019, págs. 1-53).

Ecuación 3-13: Huella Hídrica Gris Agrícola

$$HH \text{ GRIS } A = \frac{AR \times \alpha}{C_{max} - C_{nat}} \times Y$$

Fuente: (IICA, 2017).

Donde:

- HH gris: Huella hídrica gris de un proceso específico (m³/año o m/mes)
- AR: Cantidad aplicada de fertilizante por hectárea (kg/ha).
- α : fracción de escorrentía del producto expresada en % (10%).
- C max: concentración máxima permisible del contaminante en el agua (kg/m³)
- C nat: Concentración natural del contaminante en el agua. (kg/m³)
- Y= rendimiento del cultivo (t/ha).

3.2.2. Sector pecuario

La huella hídrica del sector pecuario parte de la huella hídrica agrícola ya que se tomó en cuenta la información de pastos de los animales siempre que estos fueren cultivados en el área de la microcuenca.

Ecuación 3-14: Huella Hídrica pecuaria

$$HH \text{ pecuaria} = (HH_{\text{alimento}} + HH_{\text{consumo}} + HH_{\text{servidumbre}})$$

Fuente: (Instituto Mexicano de Tecnología y ciencias, 2020, pág. 184).

Donde:

- HHalimento = corresponde a los pastos que se utiliza de alimento.
- HHconsumo = volumen de agua que consumen los animales.
- HHservidumbre = agua utilizada en el aseo de establos.

La huella hídrica del sector pecuario consideró:

Ecuación 3-15: Huella hídrica

$$HH \text{ pecuaria} = HH \text{ VerdeP} + HH \text{ AzulP} + HH \text{ GrisP}$$

Fuente: (Instituto Mexicano de Tecnología y ciencias, 2020, pág. 184).

Donde:

- HH VerdeP = Huella Hídrica del alimento.

- *HH AzulP* = Huella Hídrica del consumo.
- *HH GrisP* = Huella Hídrica de servidumbre.

3.2.2.1. Huella Hídrica Verde Pecuaria

La huella hídrica pecuaria se da en m^3 sobre toneladas de peso vivo obtenida de dividir el consumo total de agua expresada m^3 de cada huella sobre el número de bovinos y ovinos dentro de la microcuenca (Instituto Mexicano de Tecnología y ciencias, 2020).

Ecuación 3-16: Capacidad de carga animal

$$CC = \frac{\# \text{ cabezas ganado}}{\text{Area de pastos}}$$

Fuente: (Instituto Mexicano de Tecnología y ciencias, 2020, pág. 184).

Donde:

- *CC* = Capacidad de carga animal (cabezas/ha)
- *# cabezas ganado* = Numero de cabezas de ganado (cabezas).
- *Area de pastos* = Área de pastos por parroquia (ha).

La huella hídrica verde pecuaria correspondió a consumo de agua por el pasto. De esta forma se obtiene el contenido de agua verde en m^3/t y se multiplica por el requerimiento de materia seca de los bovinos equinos y ovinos, la cual se calcula mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 3-17: Requerimiento de materia seca por animal

$$Req. MS \left(\frac{kg}{\text{animal} * \text{dia}} \right) = \frac{\text{Peso del animal vivo (kg)} * 2.7\%}{100\%}$$

Fuente: (Instituto Mexicano de Tecnología y ciencias, 2020, pág. 185).

Donde:

- *Req. MS* = requerimiento de materia seca por animal.
- *Peso del animal vivo (kg)* = peso en promedio de un bovino y ovino.
- *2.7* = % de requerimiento de materia seca en relación con el peso total del bovino y ovino.

3.2.2.2. *Huella Hídrica Azul Pecuaria*

La huella hídrica azul pecuaria corresponde al consumo de agua requerido por los bovinos y ovino. Un adulto promedio de carne consumirá de 8-10% de su peso vivo de agua por día, y el ganado lechero consumirá un valor de 3 a 5 litros de agua por cada kilogramo de materia seca consumida (Instituto Mexicano de Tecnología y ciencias, 2020).

3.2.2.3. *Huella Hídrica Gris Pecuaria*

La huella hídrica gris considera los valores de contaminantes del Nitrógeno contenidos en orina y heces de los bovinos y ovino, que son diferentes por tipo de ganado de leche o carne.

- Tasa de lixiviados del nitrógeno: 10%.
- Excreción fecal de 210,9 (g N/día).
- Excreción urinaria de 240,6 (g N/día). (FAO, 2006)

3.2.3. *Sector industrial*

Se centralizó la actividad en la Huella Hídrica Azul y Gris, la Huella Hídrica verde fue desechada ya que industrialmente no intervienen la producción de cultivos.

3.2.3.1. *Huella Hídrica Azul Industrial*

Para la cuantificación de la Huella Azul industrial se realizó un balance de agua del proceso, es decir, una diferencia entre el caudal de entrada (afluente) menos el caudal de salida (efluente), obteniendo como resultado la cantidad de agua que ha sido incorporada durante el proceso o a su vez evaporada.

Ecuación 3-18: Huella Hídrica Azul Industrial

$$HH\ Azul\ I = Afluente - Efluente.$$

Fuente: (IICA, 2017).

Donde:

- HH Azul I: Huella Hídrica Azul Industrial (m³/año).
- Afluente: Volumen de agua destinada a las actividades industriales (m³/año).

- Efluente: Volumen de agua descargada posteriormente a su utilización (m³/año).

3.2.3.2. Huella Hídrica Gris Industrial

Se consideró el agua dulce requerida para asimilar los contaminantes aceites y grasas. Dadas las concentraciones naturales y los estándares ambientales para una descarga un cuerpo de agua se estimó con la siguiente formula:

Ecuación 3-19: Huella Hídrica Gris Industrial

$$HH \text{ Gris } I = \frac{Q * C}{C_{max} - C_{nat}}$$

Fuente: (IICA, 2017).

Donde:

- HH Gris I: Huella Hídrica Gris Industrial (m³/año).
- Q: Caudal de salida del sector industrial (l/s).
- C: Concentración del contaminante (mg/l).
- C_{max}: Concentración máxima (mg/l)
- C_{nat}: Concentración natural de un cuerpo de agua (mg/l)

3.2.4. Sector doméstico

La Huella Hídrica del sector doméstico debido a la falta de actividades productivas se centró en el cálculo de la huella hídrica azul y gris, enfocado en el consumo de agua por cada habitante de la muestra que ha sido seleccionada.

3.2.4.1. Huella Hídrica Azul Doméstica

Con el fin de calcular la Huella Hídrica Azul se estableció una diferencia de la cantidad de agua destinada a la actividad evaluada y la cantidad de agua calculada.

Ecuación 3-20: Huella Hídrica Azul Domestica

$$HH \text{ Azul } D = Afluente - Efluente.$$

Fuente: (IICA, 2017).

Donde:

- HH Azul D: Huella Hídrica Azul Doméstica (m³/año).
- Afluyente: Volumen de agua destinada a la actividad doméstica (m³/año).
- Efluente: Volumen de agua calculada (m³/año) (IICA, 2017).

3.2.4.2. Huella Hídrica Gris Doméstica

En el caso de la Huella Hídrica Gris para su evaluación se tomó en cuenta las concentraciones de los contaminantes como DBO₅ y las concentraciones naturales de los mismos. Se tomó en consideración los estándares ambientales de calidad de agua. Se estimó con la siguiente formula:

Ecuación 3-21: Huella Hídrica Gris Doméstica

$$HH \text{ Gris } D = \frac{Q * C}{C_{max} - C_{nat}}$$

Fuente: (IICA, 2017).

Donde:

- HH Gris D: Huella Hídrica Gris Doméstica (m³/año). Q: Caudal de salida del sector Doméstico (l/s).
- C: Concentración DBO₅ (mg/l).
- C_{max}: Concentración máxima DBO₅ (mg/l)
- C_{nat}: Concentración natural de un cuerpo de agua DBO₅ (mg/l).

3.2.5. Cálculo de la Huella Hídrica Total de la Microcuenca del río Pachanlica

Para el cálculo de la huella hídrica de una microcuenca se realizó la sumatoria de las huellas hídricas de todos los procesos que ocurren en el interior de esta:

Ecuación 3-22: Huella Hídrica total

$$HH_{total \ verde} = HH \text{ (agricola)} + HH \text{ (pecuaria)}$$

Fuente: (IICA, 2017).

$$HH_{total\ azul} = HH (\text{agrícola}) + HH (\text{pecuaria}) + HH(\text{domestica}) + HH(\text{industrial})$$

Fuente: (IICA, 2017).

$$HH_{total\ gris} = HH (\text{agrícola}) + HH (\text{pecuaria}) + HH(\text{domestica}) + HH(\text{industrial})$$

Fuente: (IICA, 2017).

$$HH_{total} = HH (\text{verde}) + HH (\text{azul}) + HH(\text{gris})$$

Fuente: (IICA, 2017).

Donde:

- HH total verde: sumatoria del sector agrícola y pecuario.
- HH total azul: sumatoria de los 4 sectores (agrícola, pecuario, domestico e industrial).
- HH total gris: sumatoria de los 4 sectores (agrícola, pecuario, domestico e industrial).

3.3. Determinación de la sostenibilidad de la Huella Hídrica en la microcuenca del Rio Pachanlica

Se llevo a cabo el análisis de sostenibilidad después de calcular la Huella Hídrica de la microcuenca del Rio Pachanlica. Este análisis incluyó una evaluación ambiental, social y económica con el objetivo de determinar la sostenibilidad de la producción de agua en dicha microcuenca.

Para el análisis de la sostenibilidad ambiental se consideraron algunos criterios:

- $E < 1$; sostenibilidad
- $E = 1$; utiliza el agua total
- $E > 1$; insostenibilidad. (IICA, 2017, pág. 28)

3.3.1. Sostenibilidad ambiental de la Huella Hídrica Azul

El análisis de sostenibilidad ambiental de la huella hídrica azul tuvo como finalidad cuantificar la apropiación de agua azul destinada al uso humano.

Disponibilidad del agua

Ecuación 3-23: Escorrentía natural

$$DA_{Azul} = oferta - caudal\ ecol\ ogico$$

Fuente: (IICA, 2017).

Donde:

- Oferta: escorrentía natural, es decir, antes de la intervención humana.
- Caudal ecológico: cantidad necesaria de agua para que los ecosistemas y las necesidades básicas humanas se mantengan.

El caudal ecológico definido como el 10% del caudal medio mensual multianual en una de sustransitorias.

Escasez del agua Azul

La escasez de agua azul se calculó relacionando la huella hídrica total azul dividida para la disponibilidad de agua azul.

Ecuación 3-24: Escasez de agua

$$E_{Azul} = \sum \frac{H\ Azul}{DA\ Azul}$$

Fuente: (IICA, 2017).

Donde:

- HH Azul: huella hídrica azul total de la microcuenca (m³/año)
- DA Azul: Disponibilidad de agua Azul. (m³/año)

3.3.1.1. Sostenibilidad ambiental de la Huella Hídrica Verde

El análisis de sostenibilidad de la huella hídrica verde buscó la cuantificación de agua verde total en la microcuenca. la huella hídrica verde busca conocer si la disponibilidad de agua es la adecuada para el uso humano.

Disponibilidad de agua verde

La disponibilidad de agua verde se estimó con base en los flujos evaporativos de agua almacenada en el suelo: humedad proveniente de la precipitación, incluyendo la evapotranspiración real que toma lugar en la microcuenca.

Ecuación 3-25: Disponibilidad del agua

$$DA_{Verde} = ET_{Verde} - ET_{Zonas\ protegidas} - ET_{No\ producidas}$$

Fuente: (IICA, 2017).

Donde:

- ET_{Verde} : evapotranspiración de la vegetación. (mm)
- $ET_{Zonas\ protegidas}$: flujo evaporativo mínimo. (mm)
- $ET_{No\ producidas}$: evapotranspiración que no puede hacerse productiva. (mm).

Escasez del agua verde

El índice de escasez se representa, mediante una escala de colores, de verde a rojo. El verde indica un índice bajo, que representa un menor impacto ambiental. El rojo indica un índice alto, que representa un mayor impacto ambiental.

Ecuación 3-26: Evapotranspiración verde

$$ET_{Verde} = \sum \frac{H\ verde}{DA\ verde}$$

Fuente: (IICA, 2017).

Donde:

- H Verde: huella verde total. (m³/año)
- DA Verde: Disponibilidad de agua verde. (m³/año)

3.3.1.2. Sostenibilidad ambiental de la Huella Hídrica Gris

La sostenibilidad en esta Huella Hídrica Gris se evaluó determinando el Nivel de contaminación de agua (NCA).

Ecuación 3-27: Nivel de contaminación de agua

$$NCA = \frac{H \text{ Gris}}{R \text{ real}}$$

Fuente: (IICA, 2017).

Donde:

- H Gris: Huella hídrica Gris. (m³/año)
- Rreal: Escorrentía Real (m³)

Un valor mayor a 1 de NCA indica que la situación es insostenible y que la capacidad asimilativa de la microcuenca ha sido completamente consumida y aún sobrepasada.

3.3.2. Análisis de la sostenibilidad económica de la Huella Hídrica

El análisis de sostenibilidad económica de la huella hídrica permitió comparar la eficiencia económica del uso del agua entre las diferentes actividades productivas que se llevan a cabo.

Agrícola

Para evaluar la productividad aparente del agua azul (APW Azul) se usó la siguiente fórmula.

Ecuación 3-28: Productividad aparente del agua

$$APW_{Azul} = \frac{\text{Precio del mercado del cultivo}}{\text{Huella Hídrica Azul del Cultivo}}$$

Fuente: (IICA, 2017).

Para este sector también se calculó la productividad aparente de la tierra (APL) dado en función a las hectáreas cultivadas.

Ecuación 3-29: Productividad aparente de la tierra

$APL = \text{Precio del mercado del cultivo} * \text{Rendimiento}.$

Fuente: (IICA, 2017).

Este indicador representa el valor económico a precios constantes por hectárea de tierra cultivada, aplicada solo para el sector agrícola.

Donde:

- Productividad aparente de la tierra (\$/ha).
- Precio de mercado del cultivo (\$/t).
- Rendimiento de un cultivo en una hectárea (t/ha).

Pecuario

La productividad aparente del agua azul se calculó a partir la ecuación.

Ecuación 3-30: Productividad aparente del agua azul

$$APW_{Azul} \left(\frac{\$}{ha} \right) = \frac{\text{Valor producción de carne} \left(\frac{\$}{año} \right)}{\text{Huella Hidrica Azul Pecuaria del cultivo} \left(\frac{m^3}{año} \right)}$$

Fuente: (IICA, 2017).

El valor de producción de la carne se obtuvo conociendo el precio del mercado en Ambato de cada ganado en peso vivo por el peso promedio del ganado y por el número de cabezas de ganado.

Doméstico

Para el sector doméstico la productividad aparente se calculó utilizando la ecuación.

Ecuación 3-31: Productividad aparente del agua azul doméstica

$$APW_{Azul} \left(\frac{\$}{m^3} \right) = \frac{\text{Valor producción del agua potable} \left(\frac{\$}{año} \right)}{\text{Huella Hidrica Azul Doméstico} \left(\frac{m^3}{año} \right)}$$

Fuente: (IICA, 2017).

Industrial

Ecuación 3-32: Productividad aparente del agua azul industrial

$$APW_{Azul} = \frac{\text{Valor producción de agua potable}}{\text{Huella Hídrica Azul Industrial}}$$

Fuente: (IICA, 2017).

3.3.3. Sostenibilidad social

La sostenibilidad social en esta investigación dependió en gran medida de la inclusión de la comunidad en el proceso de gestión del agua. Esto significa que los habitantes locales pueden ser educados sobre la importancia del agua, la huella hídrica y cómo sus actividades cotidianas pueden impactar en la microcuenca del río Pachanlica.

La comunidad debe ser incentivada a participar en la gestión del agua, lo que podría incluir la identificación de áreas problemáticas, la planificación de soluciones y la toma de decisiones. La capacitación y la construcción de habilidades entre los miembros de la comunidad pueden desempeñar un papel crucial para garantizar la sostenibilidad social. Esto puede ayudar a la comunidad a tomar decisiones informadas ya gestionar de manera eficiente sus recursos hídricos. Es importante considerar y respetar las culturas y las tradiciones locales cuando se implementan políticas de gestión del agua. Esto puede implicar incorporar prácticas tradicionales de manejo del agua que sean sostenibles y promover la conservación del agua como un valor cultural.

3.4. Propuesta de estrategias de gestión de los recursos hídricos para reducir la huella hídrica de la microcuenca del río Pachanlica, con base en los resultados de la evaluación de la huella hídrica y las condiciones socioeconómicas y ambientales de la región

La formulación de las estrategias para la gestión de la huella hídrica de la microcuenca del río Pachanlica, como respuesta se basó en el Plan de Creación de Oportunidades.

Tabla 3-7: Propuesta de estrategias de gestión de los recursos hídricos para reducir la huella

SECTORES	Plan de desarrollo y ordenamiento territorial Cevallos.	Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025	Estrategias Formuladas.
-----------------	--	--	--------------------------------

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Revisión detallada de la documentación científica y técnica existente sobre la huella hídrica y su evaluación con la gestión de los recursos hídricos en el contexto de la cuenca del río Pachanlica

Una vez determinado los puntos de monitoreo se tomaron las coordenadas UTM.

Tabla 4-1: Puntos de monitoreos

Descripción	Puntos	Longitud	Latitud
Urbina	PH1	755277	9838469
Quero	PH2	765864	9847951
Empresa de balanceados.	PH3	767493	9852731
Empresa de gelatina.	PH4	767837	9854121
Salasaka	PH5	769016	9854892
Antes de la unión con el río Ambato.	PH6	772717	9863199

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

- 1) **P1:** Este punto denominado punto blanco se encuentra ubicado en Urbina es la zona alta de la microcuenca, en el cual el Río Pachanlica, nace del nevado del Chimborazo en este sitio no hay gran presencia del sector industrial, sin embargo, debido a una comunidad que existe en el punto tenemos presencia del sector agrícola.
- 2) **P2:** Denominado Quero, es uno de los puntos más contaminados debido a las descargas de aguas residuales de empresa como es la empresa del lavado de jeans, descargas de comunidades que generan mal olor y presencia de espuma.
- 3) **P3:** En este punto se encuentra la empresa de balanceados, es un área que está rodeada por asentamientos humanos, en este punto tenemos presencia del sector agropecuario, industrial, agrícola y doméstico.

- 4) **P4:** En este punto se tomaron muestras debido a la contaminación de empresas que hay en la zona, como son las empresas de gelatina y balanceados, en este punto se pudo observar que las descargas de la empresa de gelatina generan mal olor, y espuma en el río.
- 5) **P5:** Se situó en la parroquia de Salasaca, en esta zona se observó una planta de tratamiento, actividades agropecuarias.
- 6) **P6:** En este punto se encontró la zona baja de la microcuenca, antes de la unión con el río Ambato, en este sitio se presenciaron invernaderos, población y ganaderías.

4.1.1. Selección de la muestra

Se realizó el cálculo para la realización de entrevista a los distintos individuos de la zona de interés.

Tabla 4-2: Cálculo del número de individuos a entrevistar

Nivel de Confianza	85%
Z	1,44
p	15%
q	85%
E	5%
N	5000
n	104

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

4.1.2. Muestreos

4.1.2.1. Muestreo de agua

Parámetros in situ

Se analizaron los siguientes parámetros en los 5 puntos de muestreo.

Tabla 4-3: Parámetros in situ

PARÁMETROS			
PUNTOS	Temperatura (°C)	pH	Caudal (m ³ /s)
P1	8	8,38	1,01
P2	11,6	7,98	0,13
P3	14,2	7,47	0,98
P4	17,2	8,23	1,92
P5	18	8,11	2,33
P6	16,3	5,9	1,87
Promedio	14,22	7,68	1,37

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

Temperatura del agua

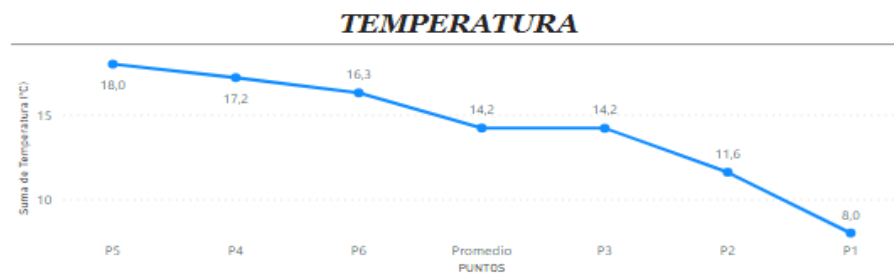


Ilustración 4-1: Temperatura del agua

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

La Ilustración 4-1 muestra los distintos promedios obtenidos a lo largo del Río Pachanlica en distintos puntos escogidos, el punto más alto evidenciado en el punto 5 (Salasaka) de 18°C y el más bajo en el punto 1 (Urbina) con 8°C, y un promedio total de 14,22, comprobándose que a medida que la altimetría del río disminuye la temperatura aumenta.

pH

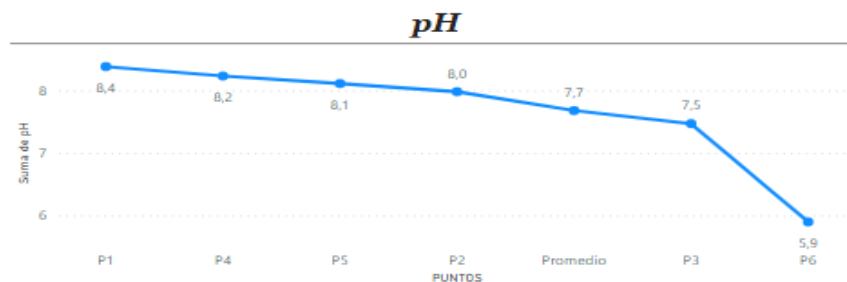


Ilustración 4-2: Datos de pH

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

La Ilustración 4-2 evidencia el pH obtenido de las muestras de agua de río tomadas para el análisis, en el río Pachanlica, Ecuador. El pH promedio es de 7,7, con el pico más alto en el punto 1 (Urbina) de 8,4 y el pico más bajo de 5.9 en el punto 6 (Desembocadura del río Pachanlica). Las muestras del punto 1, 4 y 5 tienen un pH ligeramente ácido, con promedios de 8.38, 8.23 y 8.11 respectivamente. Las muestras 2 y 3 tienen un pH neutro o ligeramente alcalino, con promedios de 7.98 y 7.47 respectivamente. Estos resultados indican que el agua de río es generalmente de pH neutro, con un ligero sesgo hacia la alcalinidad.

Caudal

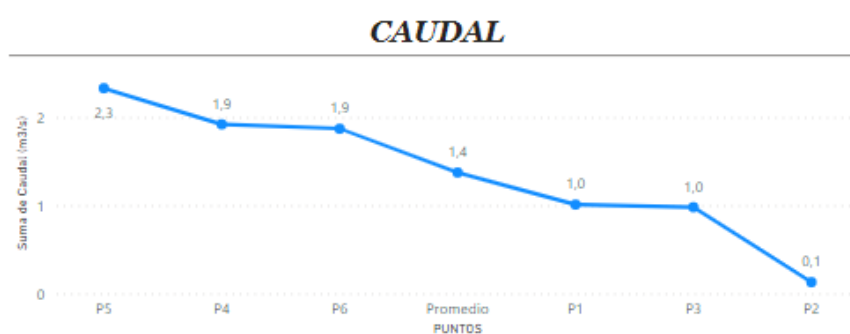


Ilustración 4-3: Datos de caudal

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

La Ilustración 4-3 corresponde al caudal promedio del río Pachanlica situado en varios puntos de monitoreo, su promedio fue de 1,4 m³/s. Evidenciamos en el punto 5 (Parroquia Salasaka) se dio el pico de caudal más alto del Río con un valor de 2,3 m³/s y el pico más bajo se dio en el punto 2 (Quero) con un caudal de 0,1 m³/s

Parámetros de laboratorio

Tabla 4-4: Parámetros de laboratorio

PARÁMETROS	UNIDADES	PUNTOS					
		P1	P2	P3	P4	P5	P6
Oxígeno disuelto	%	70,3	86,5	71,2	80,6	79,5	75
Nitratos	(mg/L)	1	2,7	4,8	1,3	11,2	39,1
Nitritos	(mg/L)	0,002	0,179	0,197	0,034	0,169	0,594
Fosfatos	(mg/L)	2,06	12,49	18,53	9,32	10,74	8,94
Sólidos totales disueltos	ppm	108	140	220	278	265	256

DQO	(mg/L)	6	6,7	10	12,7	15	20
DBO5	(mg/L)	5,6	5,13	7,45	8,63	9,45	12,2
Conductividad electrica	us	212	280	438	558	526	513
Salinidad	ppt	0,1	0,3	0,23	0,29	0,27	0,28

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

Oxígeno disuelto (OD)

Según los datos obtenidos de laboratorio se puede observar un valor mínimo de OD en el P3 con un 71,2% perteneciente a una empresa de balanceados, seguido del punto P6 con 75% que corresponde a la desembocadura de la microcuenca; en el P5 se incrementa con 79, 5% de OD que pertenece a la parroquia de Salasaka al seguir el curso del río el OD se mantiene con un 80,6% en el P4, pero en el P2 se nota un elevado incremento del 86,5% debido a las descargas de aguas residuales de algunas empresas situadas en el punto, para finalizar, el P1 consta del 70,3% de OD perteneciente en la parroquia de Urbina.

Nitratos

La presencia de nitratos en la microcuenca del Río Pachanlica se debe a las actividades domésticas y de uso pecuario, según los datos obtenidos se puede evidenciar dos puntos con altos rangos, el P5 tiene un valor de 11,2 que pertenece a la parroquia de Salasaka donde hay gran cantidad de actividad agrícola y algunas descargas de agua residuales este punto se encuentra fuera de los límites permisibles de la normativa vigente donde señala que nitratos para consumo humano o de uso doméstico y uso pecuario es de 10 mg/l, , seguido del P6 con 39,1% que es la desembocadura del Río Pachanlica en el Río Ambato.

Nitritos

Los valores de nitritos fueron casi similares en todos los puntos dando como valor máximo el P6 (Desembocadura del Río) con 0,594 mg/l y como mínimo el P1 (Urbina, punto blanco) con 0,002 mg/l, los límites permisibles de acuerdo a la normativa vigente del TULSMA, para nitritos en aguas de consumo humano y uso doméstico es de 0,2 mg/l, agua para la vida acuática y silvestre en aguas dulces y para agua de uso pecuario es de 0,2 mg/l, aguas de riego agrícola de 0,5 mg/l y por último aguas de uso pecuario de 1,0 mg/l por lo que se encuentran dentro de los límites permisibles los datos obtenidos de los puntos de monitoreo.

Fosfatos

En el P1 los valores de fosfatos obtenidos en el laboratorio son bajos con 2,06 mg/l, esto corresponde a que los alrededores de este punto no hay mucha actividad antropogénica, los valores más relevantes del fosfato se encuentran en el P3 con un 18, 53 mg/l que corresponde a la empresa de balanceados y el P2 con 12, 49 mg/L en la parroquia de Quero.

Solidos totales disueltos

En el P1 los valores de solidos totales disueltos son bajos con 108 ppm (partes por millón), seguido del P2 que pertenece a Quero, el valor más alto de solidos totales pertenece al P4 con 278 ppm que corresponde a la empresa de gelatina esto puede deberse a las descargas industriales de la empresa.

DBO5

El punto 6 ubicado antes de la unión con el Rio Ambato tiene el valor máximo de DBO5 con 12,2 mg/l debido a que este punto tiene desembocaduras de algunas industrias como la empresa de gelatina y la elaboración de los balanceados, seguido del punto 5 con 9,45 mg/l.

DQO

El valor máximo de DQO pertenece al punto 6 con 20 mg/l debido a las desembocaduras de varias industrias que pertenecen a la zona, los valores de DQO para cuerpos de agua dulce tiene un valor máximo de 250 mg/l lo que significa que están dentro de los limites permisibles, pero para el consumo humano el valor máximo es de <4 mg/l.

Conductividad eléctrica

El P4 pertenece a la empresa de gelatina tiene el valor máximo de conductividad eléctrica con 558 uS debido a la presencia de minerales disueltos en el agua y también a las descargas de aguas residuales industriales ya que contienen sustancias que aumentan la conductividad eléctrica.

Salinidad

El valor máximo de salinidad se encuentra en el P4 correspondiente a la empresa de gelatina con 0,29 ppt.

4.1.2.2. Muestreo del suelo

Parámetros in situ

Datos de tasa de infiltración de los puntos de muestreo.

Tabla 4-5: Parámetros in situ del suelo

PUNTOS	SUELO	TASA MAXIMA DE INFILTRACIÓN (mm/día)
SPH04	FRANCO	6
SPH06	FRANCO	5,8
SPH05	FRANCO LIMOSO	9
SPH07	FRANCO LIMOSO ARCILLOSO	7,6
SPH08	ARCILLO LIMOSO	6,2
SPH09	FRANCO LIMOSO	8

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

Parámetros de laboratorio

4.2. Cálculo de la huella hídrica

4.2.1. Sector agrícola

Datos de software

Datos climáticos

Tabla 4-6: Datos climáticos

Mes	Temp Min	Temp Max	Humeda d	Vient o	Insolació n	Rad	ETo
	°C	°C	%	m/s	horas	MJ/m ² /dí a	mm/dí a
Enero	9.3	21.5	75	2.3	5.8	18.0	3.50
Febrero	9.5	21.5	76	2.1	5.5	18.0	3.48
Marzo	9.6	21.2	77	2.0	5.1	17.5	3.37
Abril	9.7	21.0	79	1.8	5.1	16.9	3.20
Mayo	9.5	20.5	78	2.1	5.1	15.9	3.05
Junio	8.5	19.4	78	2.2	4.8	14.9	2.83
Julio	7.9	18.7	76	2.6	4.8	15.1	2.89
Agosto	7.7	19.2	75	2.7	5.1	16.4	3.12
Septiembr e	8.0	20.3	74	2.7	5.1	17.2	3.36
Octubre	8.6	21.9	76	2.2	6.0	18.7	3.59
Noviembre	8.6	22.7	73	2.1	6.5	19.1	3.75
Diciembre	9.0	22.0	73	2.2	6.2	18.3	3.60
Promedio	8.8	20.8	76	2.2	5.4	17.2	3.31

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

La tabla 4-6 muestra los datos climáticos obtenidos durante un año natural. Exponiendo temperaturas máximas y mínimas, humedad, velocidad del viento, insolación, radiación y evapotranspiración.

Datos de tabla de precipitación

Tabla 4-7: Datos de precipitación

MESES	PRECIPITACIÓN mm	PRECIPITACIÓN EFECTIVA mm
Enero	38	35,7
Febrero	41	38,3
Marzo	51	46,8
Abril	62	55,8
Mayo	50	46,0

Junio	35	33,0
Julio	21	20,3
Agosto	23	22,2
Septiembre	31	29,5
Octubre	47	43,5
Noviembre	47	43,5
Diciembre	34	32,2

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

La tabla muestra que la precipitación varía significativamente durante el año. Los meses con mayor precipitación son los de verano (abril, mayo), con un promedio de 62 mm de precipitación en abril. Los meses con menor precipitación son los de invierno (julio, agosto), con un promedio de 21 mm de precipitación en julio.

La precipitación efectiva también varía significativamente durante el año. Los meses con mayor precipitación efectiva son los de verano, con un promedio de 47 mm de precipitación efectiva en octubre. Los meses con menor precipitación efectiva son los de invierno, con un promedio de 20,3 mm de precipitación efectiva en julio.

KC de cada cultivo

Tabla 4-8: Kc de cultivo

CULTIVO	KC inicial	Kc medio	Kc final
Pasto	0,30	0,65	0,70
Lechuguines	1,2	1,15	1,3
Papas	0,49	1,09	0,70
Maíz	0,69	1,14	0,53

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

La tabla muestra que los coeficientes de cultivo varían significativamente según el cultivo. El pasto tiene el coeficiente de cultivo más alto, con un valor de 0,70 al inicio de su ciclo de vida. Los lechuguines tienen el coeficiente de cultivo más bajo, con un valor de 0,30 al inicio de su ciclo de vida.

En general, los cultivos con una mayor altura y superficie foliar tienen coeficientes de cultivo más altos. Esto se debe a que estos cultivos tienen una mayor área expuesta a la radiación solar y al viento, lo que aumenta la evaporación del agua del suelo y la transpiración de las plantas.

Profundidad Radicular y altura de los cultivos

Tabla 4-9: Profundidad radicular y altura de los cultivos

CULTIVOS	ALTURA DE CULTIVOS (cm)		PROFUNDIDAD RADICULAR (cm)	
	MEDIA	FINAL	MINIMA	MAXIMA
Pasto	60	125	40	45
Aguacate	105	95	50	80
Papas	0,45	0,75	0,10	0,18
Maíz	0,90	0,50	0,20	0,45

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

La tabla muestra que la altura de los cultivos varía significativamente. El pasto es el cultivo más alto, con una altura media de 60 cm y una altura final de 125 cm. El aguacate son el cultivo más bajo, con una altura media de 105 cm.

La profundidad radical también varía significativamente. Las papas son el cultivo con la profundidad radical más profunda, con una profundidad media de 0,90 cm. El maíz es el cultivo con la profundidad radical más superficial, con una profundidad media de 0,75 cm.

Fecha de siembra

Etapas de crecimiento

Tabla 4-10: Etapas de cultivo

Cultivo	Inicial	Desarrollo	Medio	Final	Total
Pasto	25	25	16	10	76
Maíz	30	40	50	30	150
Papa	25	30	45	30	130

Fuente: (FAO, 2006, pág. 104).

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

Fracción de agotamiento crítico de cada cultivo

Tabla 4-11: Fracción de agotamiento

Cultivo	Inicial	Medio	Final
Pasto	0,57	0,62	0,66

Maíz	0,55	0,59	0,62
Papa	0,35	0,39	0,43

Fuente: (FAO, 2006, pág. 104).

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

Respuesta de rendimiento.

Tabla 4-12: Rendimiento

RENDIMIENTO

Papas	20,74	ton/ha
maíz	5,88	ton/ha
Aguacate	29,26	ton/ha

Fuente: (FAO, 2006, pág. 104).

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

4.2.1.1. Huella Hídrica Verde Agrícola

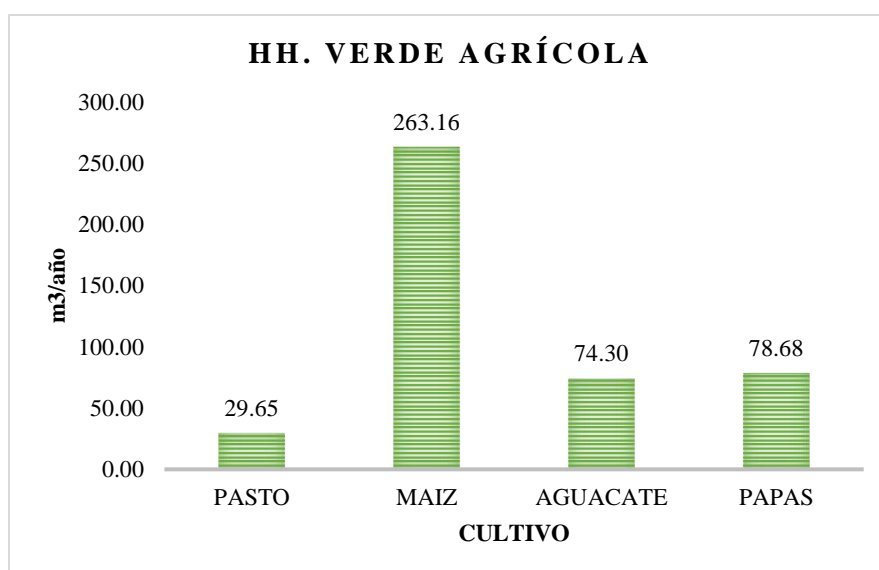


Ilustración 4-4: Huella Hídrica verde agrícola

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

El valor más alto de la Huella Hídrica Verde es el maíz con un valor de 263,16 m³/año de tonelada producida, seguido por las papas con 78,68 m³/año y el aguacate con 74,30 m³/año, esto sucede porque sus necesidades de agua fueron más elevadas en comparación con las demandas hídricas de los demás cultivos, mientras que el pasto obtuvo un valor de 29,65 m³/año necesitando una menor cantidad de agua para crecer.

4.2.1.2. Huella Hídrica Azul Agrícola

La Huella Hídrica Azul corresponde al volumen de agua que se requiere en cada cultivo para producir una tonelada.

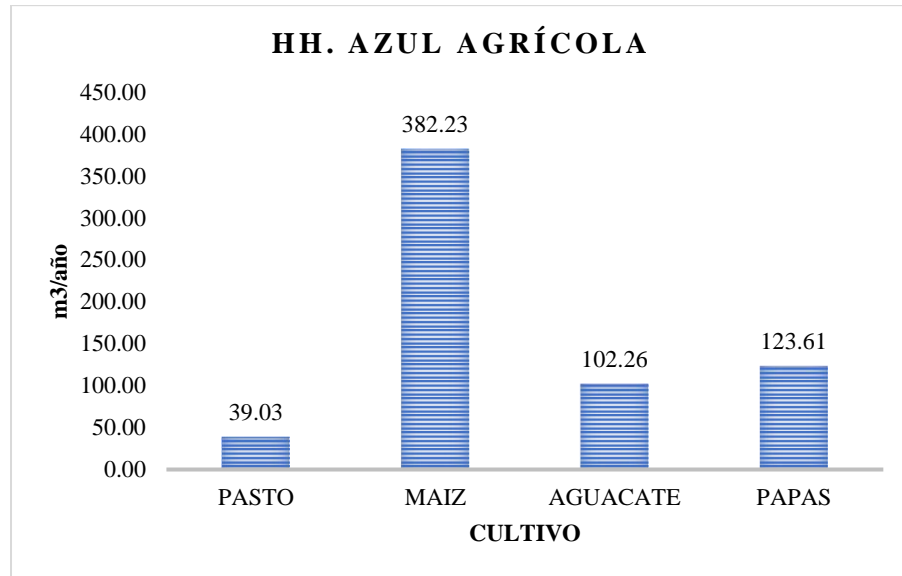


Ilustración 4-5: Huella Hídrica azul agrícola

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

El maíz es la principal contribución de la huella hídrica azul agrícola generando un valor de 382,23 m³/año de agua por cada tonelada producida. Esta situación se explica por la siembra de maíz en época seca, lo que conlleva a una mayor necesidad de agua y un incremento de riego, seguido por las papas con una cantidad de 123,61 m³/año de agua por tonelada producida, debido a que la siembra de las papas se produce al inicio de la primavera lo que reduce el incremento del riego. El aguacate ocupa el tercer lugar con un valor de 102,25 m³/año por tonelada, por último, el pasto con 39,03m³/año

4.2.1.3. Huella Hídrica Gris Agrícola

Para determinar la Huella Hídrica Gris Agrícola, se tomó en cuenta las concentraciones nitrogenadas presentes en los fertilizantes aplicados en los cultivos.

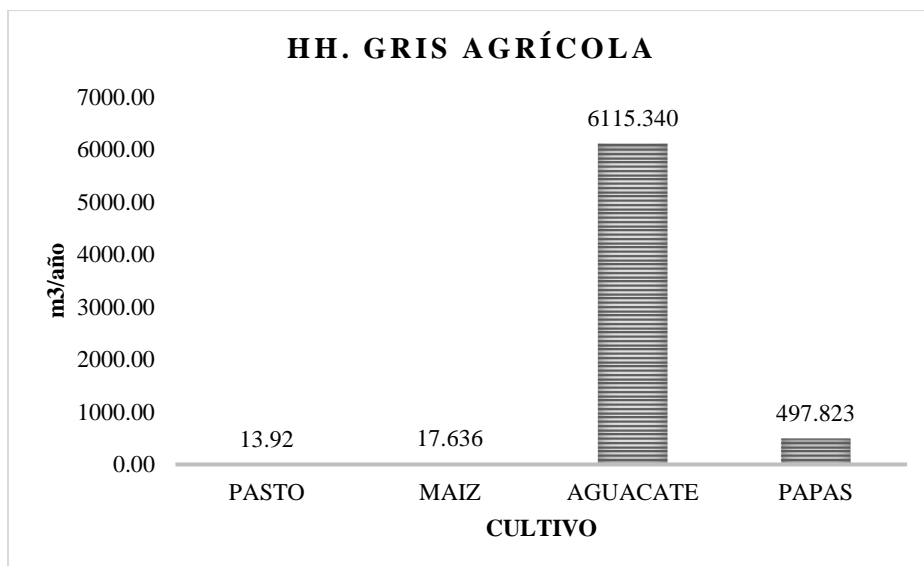


Ilustración 4-6: Huella Hídrica gris agrícola

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

En la producción del aguacate exhibe una predominante Huella Hídrica Gris, con un valor de 6115.566 m³/año por tonelada de producción, lo que indica que necesita la mayor cantidad de agua para mitigar la contaminación generada por los fertilizantes, seguido por las papas con un valor de 497,823 m³/año, los demás cultivos como el maíz (17,636 m³/año), y el pasto con 13,92 m³/año presentan menor contribuciones hídricas.

Huella Hídrica Total Sector Agrícola

La microcuenca del río Pachanlica, se determinó el cálculo total de la Huellas Hídricas Verde, Azul y Gris en el sector Agrícola, revelando que la Huella Hídrica Gris es la más elevada con 6644,72 m³/año, lo que indica que los cultivos necesitan la mayor cantidad de agua para mitigar la contaminación generada por los fertilizantes, seguido por la Huella Azul (647,13 m³/año), ya que algunos cultivos provechan el agua proveniente de la humedad y las precipitaciones del suelo, y la Verde con 445,78 m³/año, debido a las condiciones climáticas permite a los habitantes aprovechar las precipitaciones del suelo.

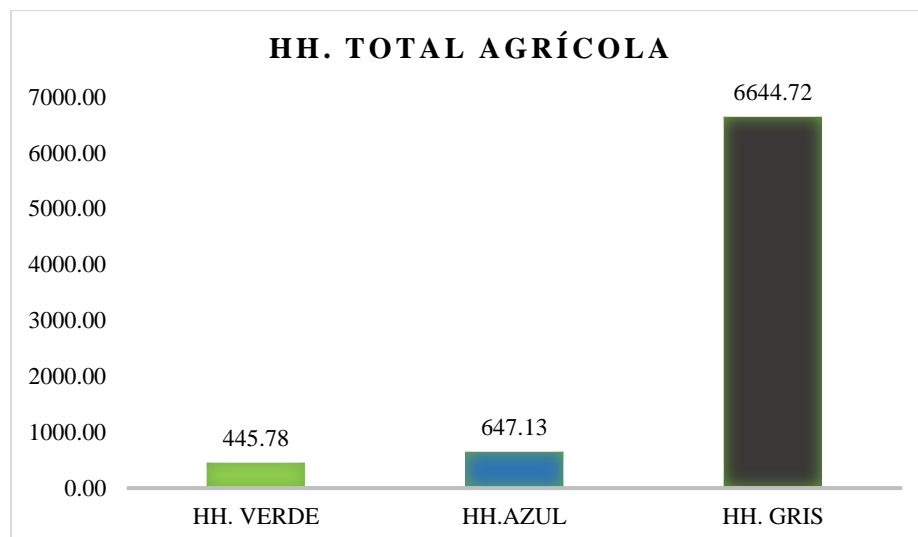


Ilustración 4-7: Huella Hídrica total agrícola

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

4.2.2. Sector pecuario

En el sector pecuario se consideró la dieta de los animales, tomando el pasto más prevalente, como la principal fuente de alimento.

El resultado total de la huella hídrica pecuaria reveló la huella hídrica verde ovino con un valor de 263,16 m³/año, mientras que para ganado bovino fue de 88,95 m³ /año y por último tenemos el ganado equino con 29,65 m³/año. En la huella hídrica azul, se registraron valores de 27,71m³/año para ovino, 298,60 m³/año para bovino y 108 m³/año para el ganado equino, mientras que para la huella hídrica gris fue 8,1 m³/año para ovino, 40,60 m³/año para bovino y 8 m³/año para equino. Las huellas hídricas más relevantes de los 3 ganados fueron del bovino, debido a una mayor producción de este tipo de ganado en la microcuenca por lo que conlleva mayores necesidades de agua y alimento en comparación a los dos ganados como es el ovino y el equino.

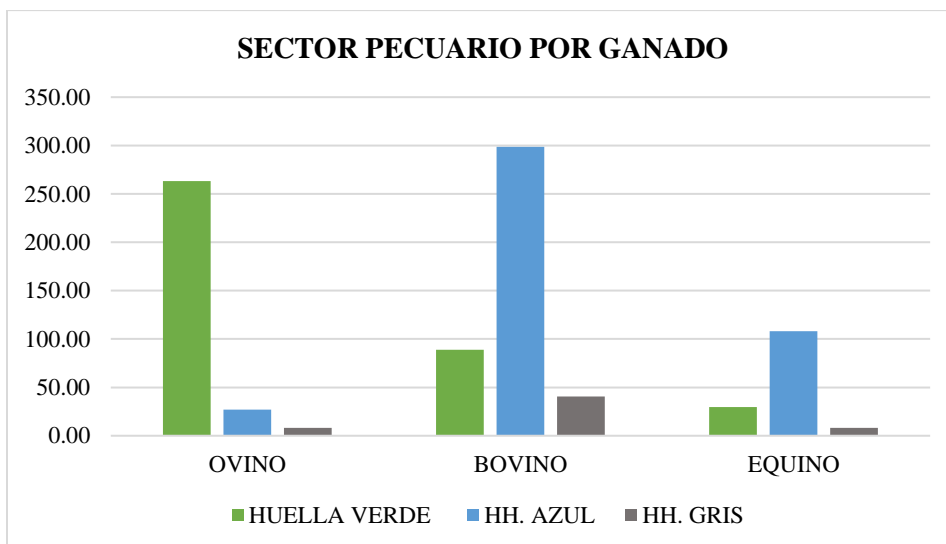


Ilustración 4-8: Sector pecuario

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

Huella Hídrica Total del Sector Pecuario

La Huella Hídrica Total Pecuaria dio como mayor resultado a la Huella Hídrica Azul con un valor de 433,70 m³/año seguido de la Huella Hídrica Verde con 381, 76 m³/año y por último tenemos la Huella Hídrica Gris con 56, 70 m³/año, esto se debe a que el pasto tiene un requerimiento de agua mínimo lo que conlleva a que la Huella Hídrica verde sea menor que la azul.

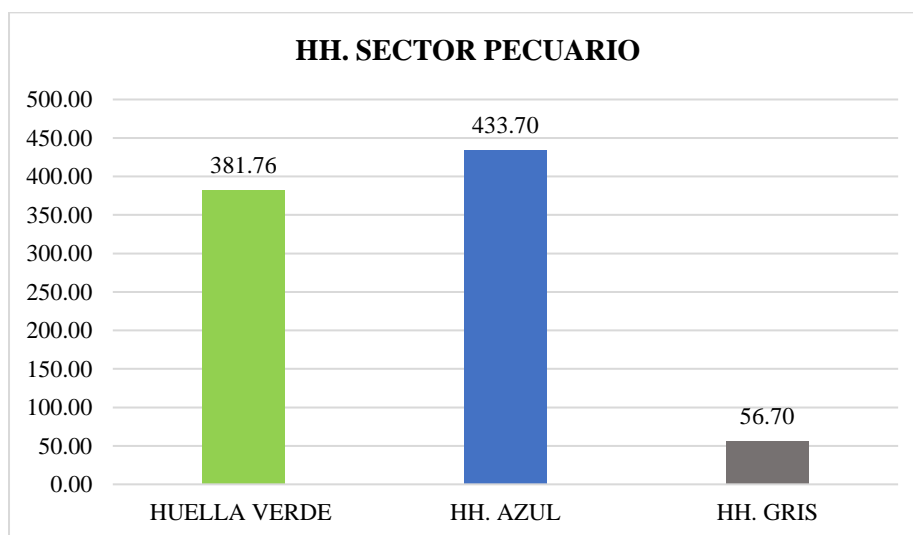


Ilustración 4-9: Huella Hídrica total pecuario

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

4.2.3. Cálculo Huella Hídrica Doméstica

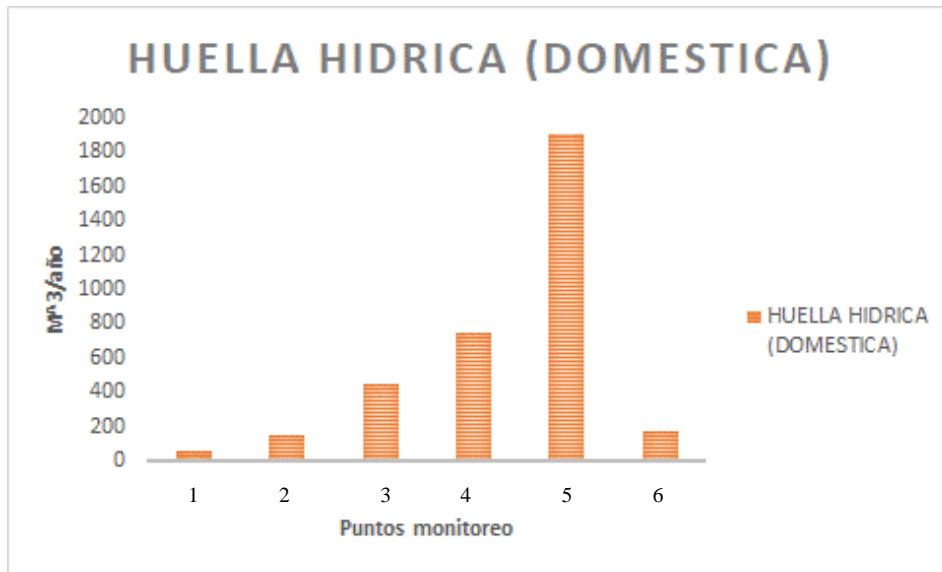


Ilustración 4-10: Huella Hídrica doméstica

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

Los valores de la huella hídrica doméstica varían de un punto de monitoreo a otro. El punto de monitoreo 1, que se encuentra en la cabecera de la cuenca, tiene la huella hídrica doméstica más baja, con un valor de 35 m³/año. El punto de monitoreo 6, que se encuentra en la desembocadura del río, tiene la huella hídrica doméstica más alta, con un valor de 1900 m³/año.

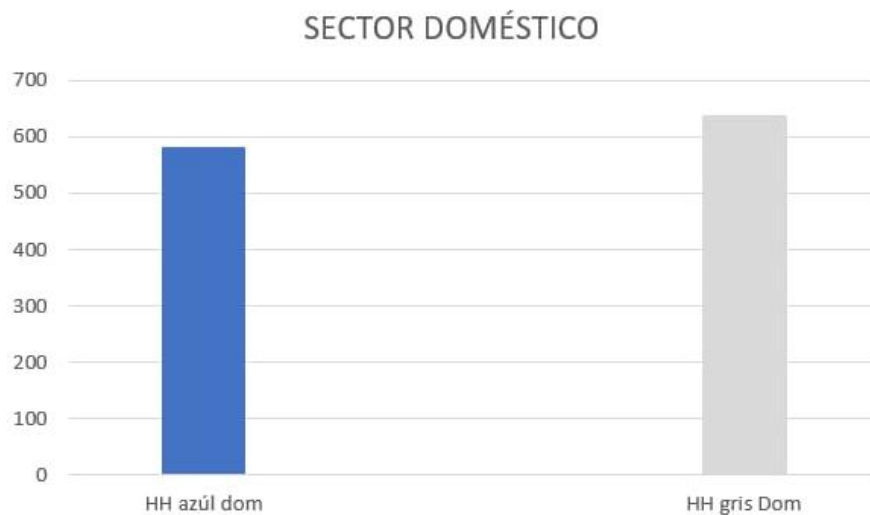


Ilustración 4-11: Huella Hídrica total doméstica

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

En general, la huella hídrica doméstica del río Pachanlica fue baja con un valor total de 3490 m³/año. Sin embargo, hay algunos puntos de monitoreo donde la huella hídrica doméstica es más

alta. Esto podría deberse a una serie de factores, como la densidad de población, el nivel de desarrollo socioeconómico o las prácticas de consumo de agua.

4.2.4. Sector industrial

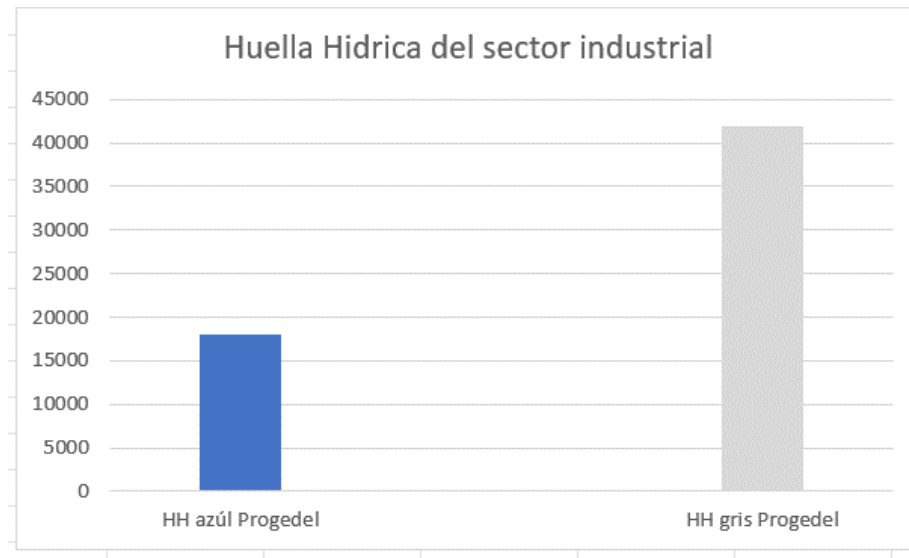


Ilustración 4-12: Huella Hídrica del sector industrial

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

La huella hídrica azul representa la cantidad de agua dulce superficial o subterránea que se utiliza en los procesos industriales de la empresa. La huella hídrica gris representa la cantidad de agua dulce que se necesitaría para diluir los contaminantes producidos por las actividades industriales de la empresa hasta los niveles establecidos por los estándares de calidad del agua.

La ilustración 4-12 muestra que la huella hídrica azul de la empresa era de 450 millones de litros de agua al año. En 2023, la huella hídrica azul de la empresa había disminuido a 250 millones de litros de agua al año. En general, la gráfica muestra que la empresa Progedel ha hecho un esfuerzo significativo para reducir su impacto en los recursos hídricos bajando a 18000 m³/año y su huella gris está en 42000m³/año.

La disminución de la huella hídrica azul de la empresa Progedel es notable. La empresa ha logrado reducir su consumo de agua en un 44% en 10 años. Esto es un logro significativo, especialmente teniendo en cuenta que la empresa ha seguido creciendo durante ese tiempo.

4.2.5. Cálculo de la Huella Hídrica Total de la microcuenca del río Pachanlica

Tabla 4-13: Huella Hídrica total de la microcuenca del río Pachanlica

Sector	HH. VERDE	HH. AZUL	HH. GRIS
Agrícola	445,78	647,13	6644,72
Pecuaria	381,76	433,70	56,70
Domestica		582,00	640,00
Industrial		18000,00	42000,00
HH TOTAL (m3)	827,54	19662,83	49341,42

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

En la microcuenca del río Pachanlica, se registra una Huella Hídrica Gris más alta a las demás Huella con un valor de 49341,65 m³/año, mientras que la Huella Azul se sitúa en segundo lugar con 19662,83 m³/año y por último tenemos Huella Hídrica Verde descende con 827,54 m³/año.

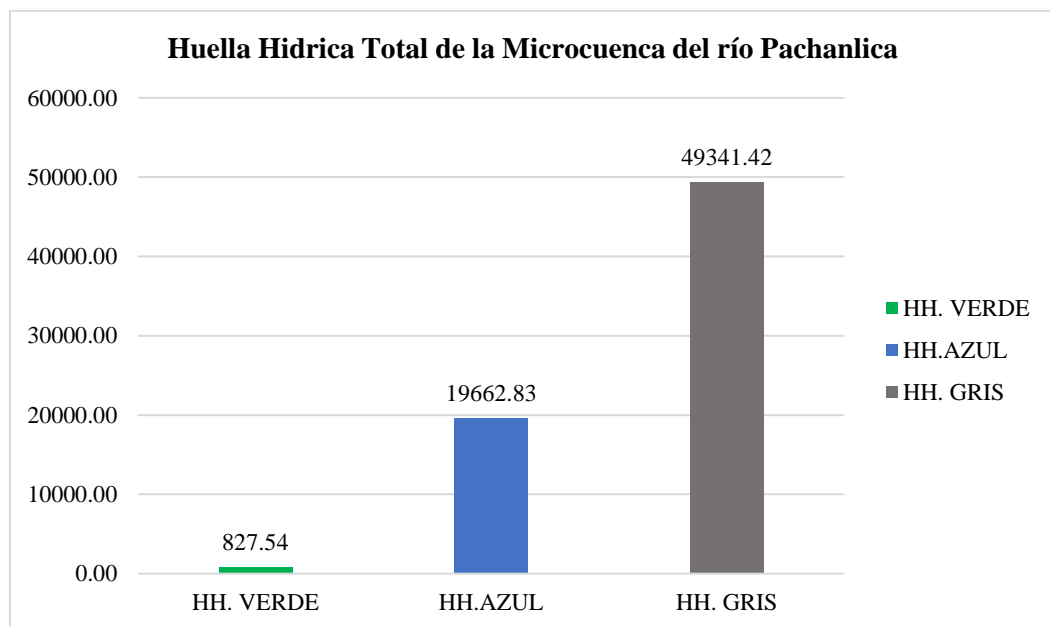


Ilustración 4-13: Huella Hídrica total de la microcuenca del río Pachanlica

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

En la huella hídrica verde tenemos un 54,87% que pertenece al sector agrícola.

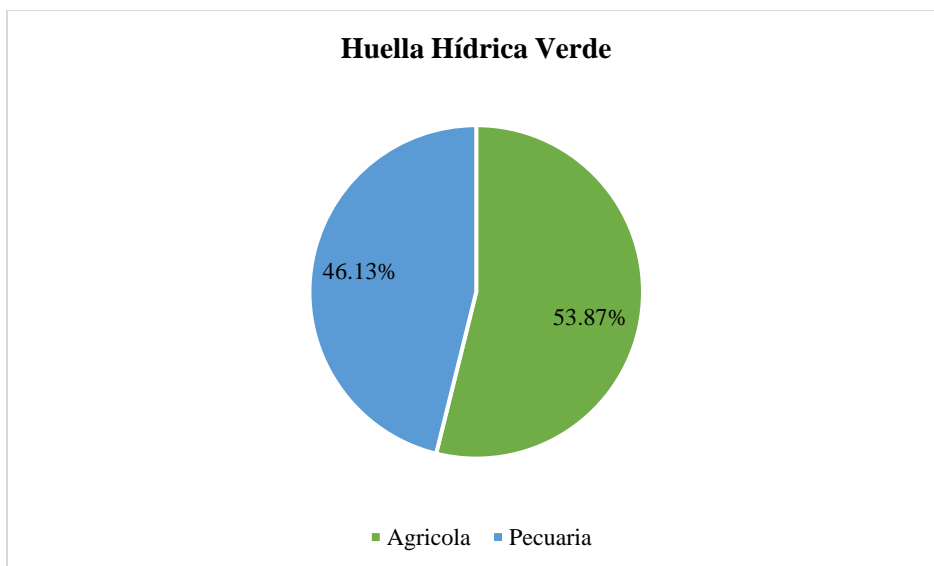


Ilustración 4-14: Porcentaje por sectores

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

La huella hídrica azul dio como resultado 92% con un alto porcentaje al sector industrial, el 2% fue del sector pecuario con un menor porcentaje a diferencia de los otros dos sectores.

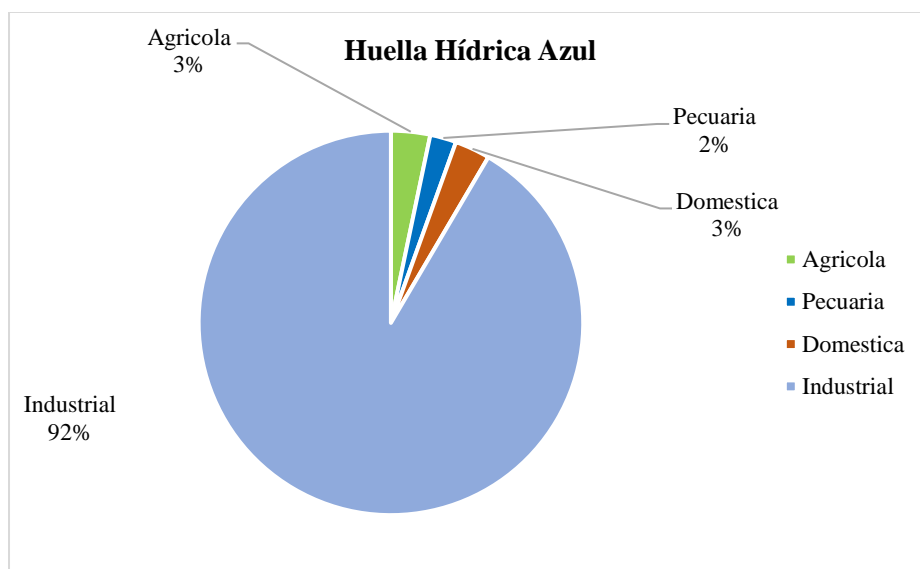


Ilustración 4-15: Porcentaje de la Huella Hídrica azul

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

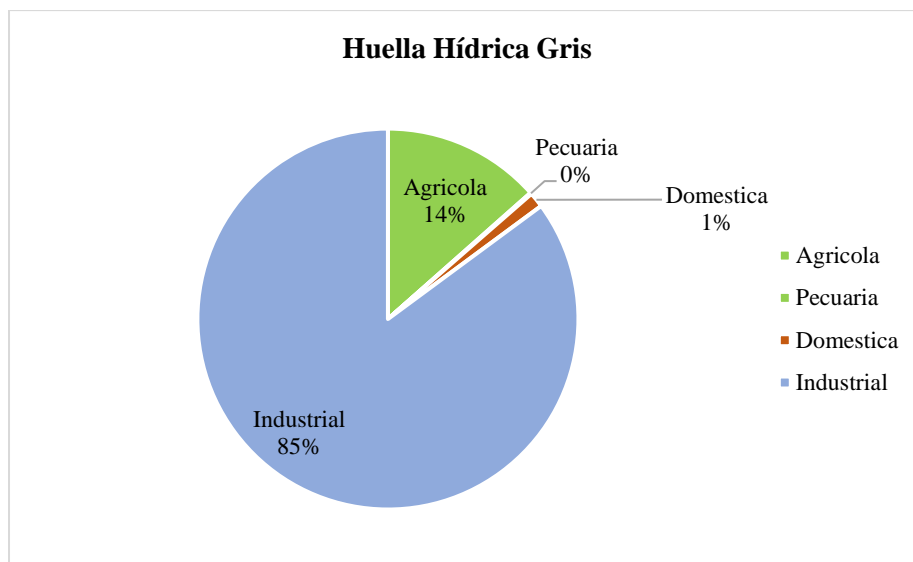


Ilustración 4-16: Porcentaje de la Huella Hídrica gris

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

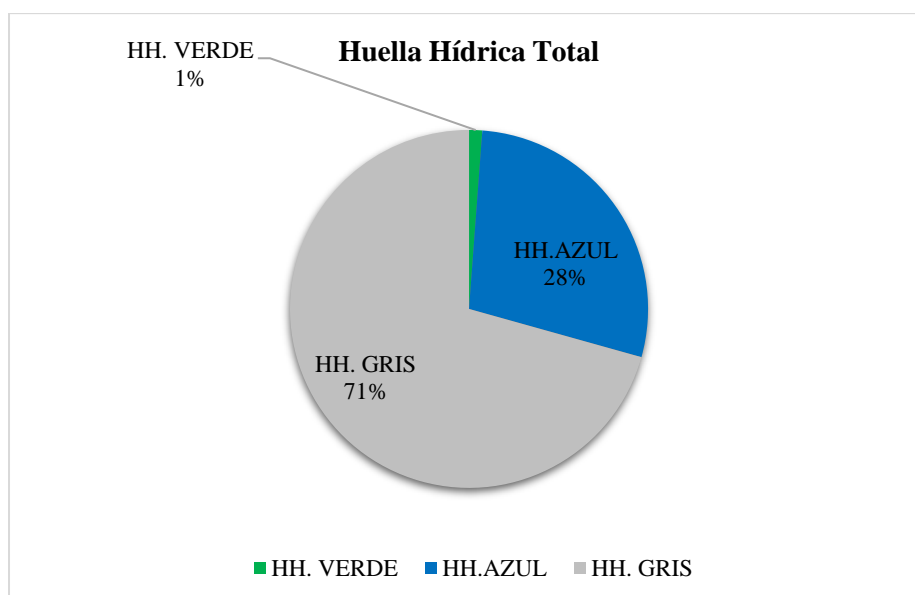


Ilustración 4-17: Huella Hídrica total en porcentajes

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

4.3. Determinación de la sostenibilidad de la Huella Hídrica en la microcuenca del Río Pachanlica

4.3.1. Sostenibilidad ambiental de la Huella Hídrica Azul

La evaluación de la sostenibilidad ambiental de la Huella Hídrica Azul se llevó a cabo teniendo en cuenta la oferta natural del agua y el caudal ecológico, con esto podemos obtener el valor de la disponibilidad del agua y el índice de escasez.

Tabla 4-14: Sostenibilidad de Huella Hídrica Azul

ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD HUELLA HIDRICA AZUL			
OFERTA (m ³ /año)	Caudal Ecológico (m ³ /año)	Disponibilidad de Agua Azul (m ³ /año)	Escasez
49511520	37843200	11668320	0,62

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

Con base en estos datos, se logró calcular la disponibilidad anual de agua, con un valor de 11668320 m³/año. Para la determinación del índice de escasez, se dividió la Huella Hídrica Azul Total de la microcuenca y la disponibilidad de agua, obteniendo un valor de 0,62.

4.3.2. Sostenibilidad ambiental de la Huella Hídrica Verde

Tabla 4-15: Sostenibilidad de la Huella Hídrica Verde

ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD HUELLA HIDRICA VERDE		
DA_{Verde}	HH verde	Escasez
69700000	26000000	0,37

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

La tabla 4-15 muestra la sostenibilidad ambiental de la huella hídrica verde del río Pachanlica, en Ecuador, para el año 2023. La sostenibilidad se mide mediante el índice de escasez, que es una relación entre la huella hídrica verde y la disponibilidad de agua verde.

La tabla 4-15 muestra que el índice de escasez del río Pachanlica es de 0,37, lo que indica un impacto ambiental moderado. Este valor se encuentra en la zona amarilla de la escala, lo que significa que el río tiene una capacidad limitada para satisfacer la demanda de agua verde.

Este resultado es positivo, indica que el río Pachanlica tiene un buen nivel de sostenibilidad.

4.3.3. Sostenibilidad ambiental de la Huella Hídrica Gris

Tabla 4-16: Sostenibilidad ambiental de la Huella Hídrica Gris

ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD HUELLA HIDRICA GRIS	
Escorrentía Real (m ³ /año)	NCA
198000000	0,0002

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

La sostenibilidad se mide mediante el índice de contaminación hídrica (NCA), que es una relación entre la huella hídrica gris y la esorrentía real del río.

El NCA se representa mediante una escala de colores, de verde a rojo. El verde indica un índice bajo, que representa un menor impacto ambiental. El rojo indica un índice alto, que representa un mayor impacto ambiental.

La tabla 4-16 muestra que el NCA del río Pachanlica es de 0,0002, lo que indica un impacto ambiental muy bajo. Este valor se encuentra en la zona verde de la escala, lo que significa que el río tiene una capacidad suficiente para diluir la contaminación causada por las actividades humanas.

Este resultado es positivo, ya que indica que el río Pachanlica se encuentra en buen estado de salud ambiental. Sin embargo, es importante seguir trabajando para mantener este nivel de sostenibilidad.

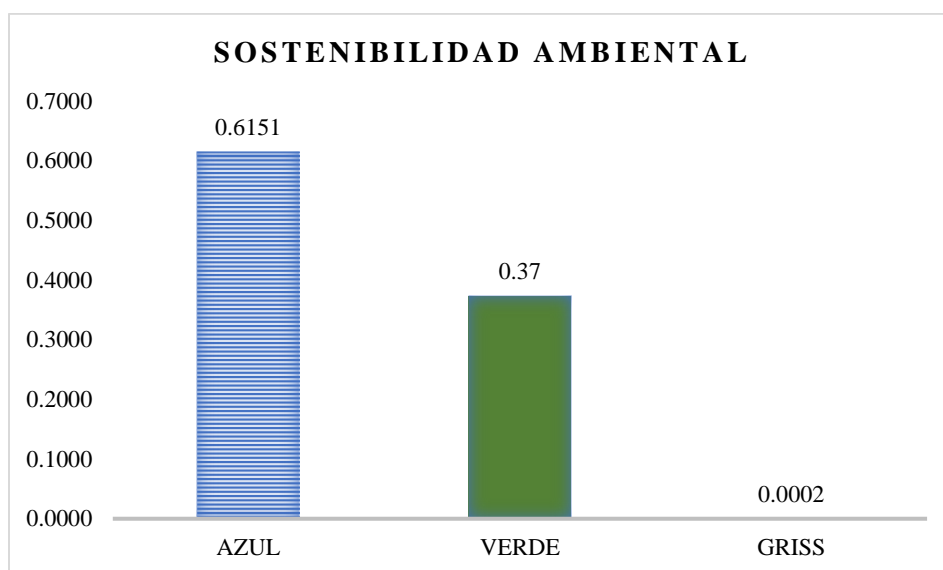


Ilustración 4-18: Sostenibilidad ambiental total

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

4.3.4. Sostenibilidad económica de la Huella Hídrica

Sector agrícola

Productividad aparente del agua

Tabla 4-17: Productividad aparente del agua sector agrícola

CULTIVOS	\$del cultivo (\$/kg)	APW Azul (\$/m ³ /año)	APL Azul
Pasto	0	0	3710
Maíz	0,42	0,006	2469,03
Aguacate	0,86	0,013	4566,6
Papa	0,51	0,008	10578,75
TOTAL		0,027	21324,37

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

El valor más alto de la productividad aparente (APW) es el aguacate lo cual presenta un mayor valor económico de agua con \$0,013 por cada m³/año, seguido del cultivo de la Papa con 0,008 m³/año, los demás cultivos presentan una productividad aparente del agua baja.

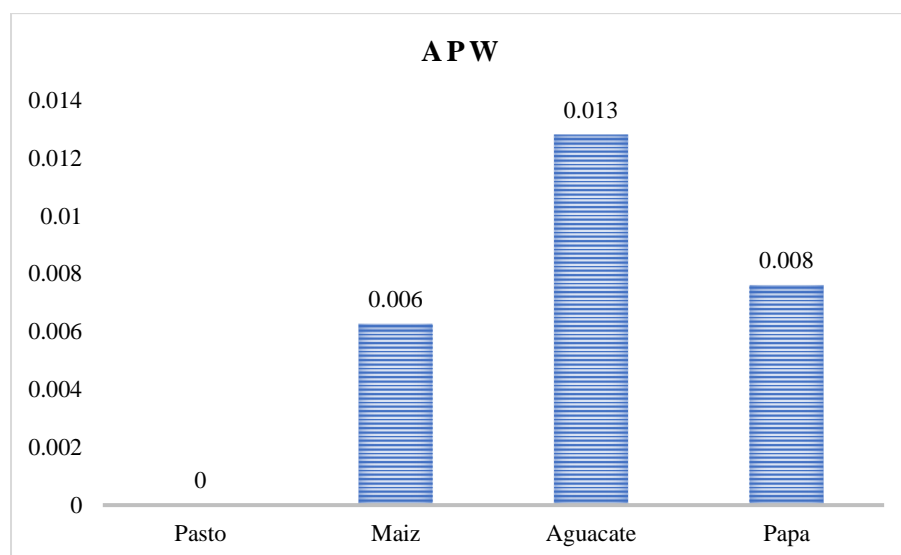


Ilustración 4-19: Productividad aparente del agua

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

Para determinar la productividad aparente de la tierra (APL) fue necesario conocer el rendimiento de cada cultivo, el valor máximo fue el de la papa con 10578,75 \$ USD/Ha debido a que su periodo de crecimiento es corto y tiene una mayor producción, como valor total de la productividad aparente de la tierra fue de 21324,37 \$ USD/Ha.

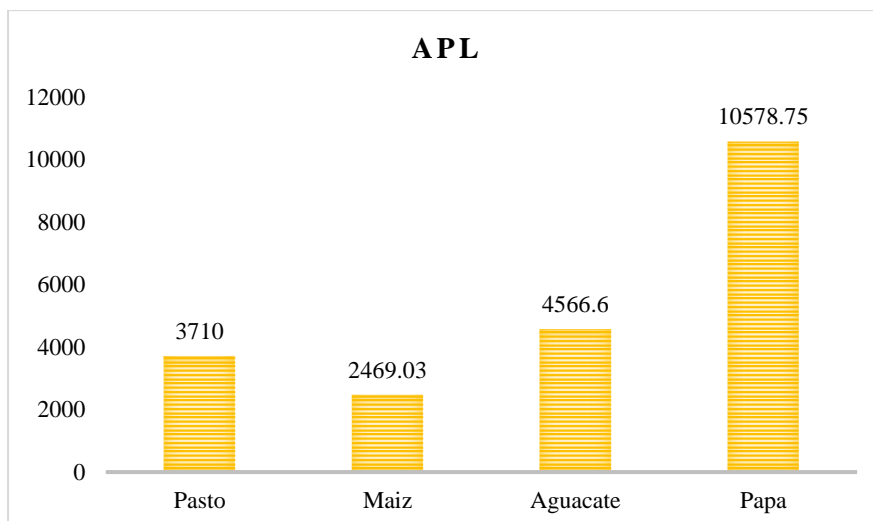


Ilustración 4-20: Productividad aparente de la tierra

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

Sector pecuario

Productividad aparente del agua

Tabla 4-18: Productividad aparente del agua sector pecuario

GANADO	Precio Anual	APW Azul (\$/m ³)
Bovino	770	1,19
Ovino	773,63	1,20
Equino	1350	2,09
Total	2893,63	4,47

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

El valor más alto de la productividad aparente (APW) es el ganado equino lo cual presenta un mayor valor económico de agua con \$2,09 por cada m³, seguido del ganado ovino con 1,20 m³, y por último el ganado bovino con 1.19 m³.

Sector doméstico

Productividad aparente del agua

Tabla 4-19: Productividad aparente del agua sector doméstico

PRECIO ANUAL	HH AZUL	APW
--------------	---------	-----

		(\$/m ³)
10	581,67	0,01719188

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

En el sector doméstico, la APW se ha mantenido relativamente estable en los últimos años, con un valor promedio de \$9,38. Este valor indica que el sector doméstico está generando un valor económico de \$9,38 por cada metro cúbico de agua que consume.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que este valor es relativo y puede variar en función de una serie de factores, como el nivel de desarrollo económico de la región, el clima y la tecnología disponible. En el caso del río Pachanlica, la APW del sector doméstico es relativamente baja en comparación con otros países de la región. Por ejemplo, en Perú el valor promedio de la APW del sector doméstico es de \$12,50, y en Colombia es de \$15,00.

Sector industrial

Productividad aparente del agua

Tabla 4-20: Productividad aparente del agua sector industrial

PRECIO ANUAL	HH AZUL	APW (\$/m ³)
2,98	18000	0,00016556

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

En el sector industrial, tiene un valor promedio de \$2,98 en 2024. Este valor indica que el sector industrial está generando un valor económico de \$2,98 por cada metro cúbico de agua que consume.

El aumento de la APW del sector industrial se debe a una serie de factores, como la adopción de tecnologías más eficientes en el uso del agua, la concientización sobre la importancia de la conservación del agua y la implementación de políticas públicas que incentiven el uso eficiente del agua.

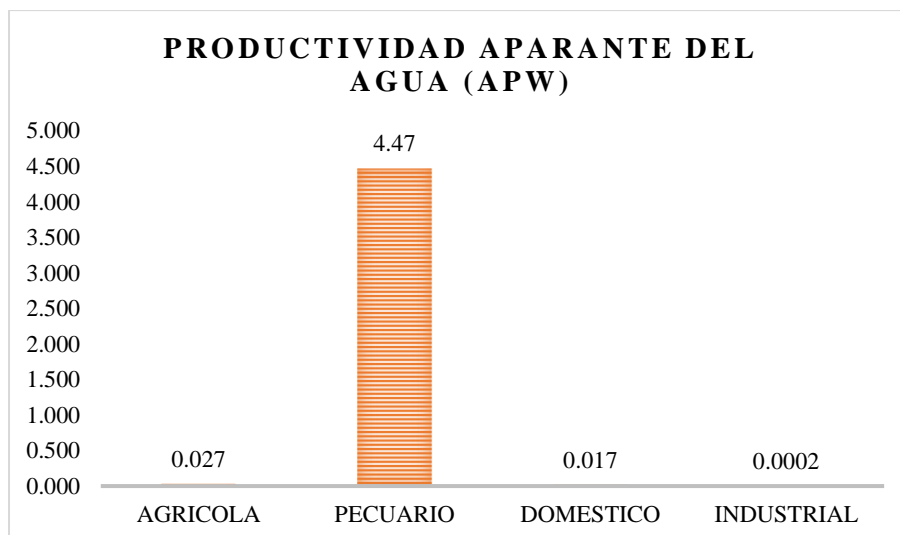


Ilustración 4-21: Productividad aparente del agua total

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

4.3.5. Sostenibilidad social

La sostenibilidad social de la huella hídrica se refiere a la capacidad de un sistema para satisfacer las necesidades de agua de las comunidades locales sin comprometer el acceso a las generaciones futuras.

Al relacionar la definición previa de sostenibilidad social, denotamos o evidenciamos falencias como que el crecimiento de la población y la urbanización están aumentando la demanda de agua para uso doméstico, industrial y agrícola. Esto está presionando los recursos hídricos disponibles y reduciendo la disponibilidad de agua para las comunidades locales. La urbanización está provocando la expansión de las áreas urbanas, lo que está reduciendo la disponibilidad de agua para uso agrícola. De este modo, nos adentramos en la gestión sostenible de los recursos hídricos, ya que es necesario gestionar de manera sostenible los recursos hídricos de la cuenca del río, para garantizar que el agua esté disponible en cantidad y calidad suficientes para generaciones actuales y futuras, así como fortalecer la participación de la población en la gestión del río, identificando falencias y creando soluciones antes los problemas presentados.

4.4. Propuesta de estrategias de gestión de los recursos hídricos para reducir la huella hídrica de la microcuenca del río Pachanlica, con base en los resultados de la evaluación de la huella hídrica y las condiciones socioeconómicas y ambientales de la región

Tabla 4-21: Estrategias formuladas del sector agrícola

SECTORES	Plan de desarrollo y ordenamiento territorial Cevallos.	Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025	Estrategias Formuladas.
AGRICOLA	<p>-Existe una susceptibilidad a eventos naturales debido a la prolongación de la actividad eruptiva del volcán Tungurahua, lo cual ocasiona inseguridad.</p> <p>-Limitada protección ambiental por lo que existe una contaminación por el uso excesivo de pesticidas.</p> <p>-Presencia de dos tipos de heladas como la helada negra que ocasiona la destrucción completa de cultivos de ciclo corto, en el caso de la helada blanca se produce una disminución parcial en los cultivos de ciclo corto.</p> <p>-Durante periodos de sequía recurrentes que</p>	<p>F5. Aplicar herramientas integrales para el incremento de cobertura vegetal priorizando la siembra de especies nativas y poder recuperar los suelos erosionados.</p> <p>F3. Promover programas de reforestación para ser desarrollados principalmente en las cuencas altas de los ríos para así poder minimizar la sedimentación e inundación que provocan en las cuencas bajas de los ríos.</p> <p>G7. Impulsar los mecanismos de administración y uso sostenible del agua para reducir la</p>	<p>-Ofrecer asesoramiento técnico con los representantes de cada sector del río Pachanlica para organizar talleres educativos y proporcionar incentivos para la implementación de prácticas sostenibles.</p> <p>-Implementar sistemas de tratamiento de aguas residuales para que puedan ser reutilizadas en actividades agrícolas y otros usos no potables, especialmente a las empresas que se encuentran cerca de la microcuenca.</p> <p>-Organizar charlas, eventos comunitarios con los representantes de cada sector del Río Pachanlica para</p>

	abarcan desde noviembre hasta enero, se producen afectaciones parciales en los cultivos de ciclo corto como el maíz y papa.	degradación del patrimonio hídrico.	distribuir materiales informativos que involucran activamente a la población a cerca de la conservación del agua.
--	---	-------------------------------------	---

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

Tabla 4-22: Estrategias formuladas del sector pecuario

SECTORES	Plan de desarrollo y ordenamiento territorial Cevallos.	Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025	Estrategias Formuladas.
PECUARIO	<p>-Las sequias impactan tanto a los cultivos como a los animales, causando una disminución de hasta un 20% en el rendimiento de los cultivos de ciclo corto.</p> <p>-Presencia de dos tipos de heladas como la helada negra que ocasiona la destrucción completa de cultivos de ciclo corto, en el caso de la helada blanca se produce una disminución parcial en los cultivos de ciclo corto.</p>	<p>F5. Aplicar herramientas integrales para el incremento de cobertura vegetal priorizando la siembra de especies nativas y poder recuperar los suelos erosionados.</p> <p>D4. Implementar una economía de mercado sostenible para generar oportunidades de empleo y considerar las particularidades de cada ecosistema.</p>	<p>-Desarrollar prácticas agrícolas con los habitantes de la microcuenca del Rio Pachanlica para la mejora de los suelos y la utilización de compostaje con el fin de disminuir la lixiviación y la escorrentía.</p> <p>-Minimizar el uso de fertilizantes y pesticidas para disminuir la huella hídrica gris, con la ayuda de capacitaciones que deben ser organizadas por los representantes de cada sector.</p> <p>-Implementar normativas que</p>

			restringan actividades que pueden afectar negativamente a la calidad del agua como la deforestación que existe en la zona de estudio
--	--	--	--

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

Tabla 4-23: Estrategias formuladas del sector industrial

SECTORES	Plan de desarrollo y ordenamiento territorial Cevallos.	Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025	Estrategias Formuladas.
INDUSTRIAL	<p>-En su totalidad, alrededor del 90% de la población tiene acceso a todos los servicios básicos, no obstante, no todos reciben el 100% de los servicios, Se prevé que solo el 85% de ese total accede a todos los servicios.</p> <p>-La población emprende, opta y se dedica a la ganadería, agricultura y turismo</p>	<p>-El país presenta zonas con buena aptitud agraria y cuenta con aprovechamiento de los recursos naturales para la producción. En algunos casos se expande la frontera agrícola hacia áreas de ecosistemas frágiles y de conservación. Al respecto, se resalta la importancia de contar con una zonificación agropecuaria y ordenamiento productivo agrario.</p> <p>-Establecer el control de</p>	<p>-Impulsar la reducción de la deforestación y degradación de los ecosistemas a partir del uso y aprovechamiento sostenible del patrimonio natural.</p> <p>-Establecer incentivos que disminuyan la expansión urbana, con la finalidad de proteger las superficies con vocación agropecuaria, evitar la afectación de ecosistemas no protegidos y coadyuvar a la gestión integral de riesgos previniendo la</p>

		<p>descargas de efluentes de aguas servidas domésticas e industriales y cumplan con los parámetros establecidos por la ley vigente.</p> <p>-Se busca el manejo sostenible, integral e integrado de los recursos hídricos, en pro de la protección, recuperación y conservación del agua, todo esto de conformidad con la Ley establecida para este fin y los lineamientos técnicos que dicte la Autoridad Única del Agua en coordinación con los diferentes niveles de gobierno relacionados directamente con su gestión.</p>	<p>ocupación de espacios altamente expuestos.</p> <p>-Implementar un sistema de Gestión integral en el que se prioricen tecnologías eco amigables con el ambiente y de recuperación de la cubierta vegetal.</p>
--	--	---	---

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

Tabla 4-24: Estrategias formuladas del sector doméstico

SECTORES	Plan de desarrollo y ordenamiento territorial Cevallos.	Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025	Estrategias Formuladas.
DOMESTICO	<p>-En su totalidad, alrededor del 90% de la población tiene acceso a todos los servicios básicos, no obstante, no todos reciben el 100% de los servicios, Se prevé que solo el 85% de ese total accede a todos los servicios.</p> <p>-El sistema de captación de agua y dotación de esta está en perfectas condiciones ya que han sido renovados en los últimos años.</p> <p>-Incurción en el tratamiento de residuos en hogares.</p>	<p>-Se busca el manejo sostenible, integral e integrado de los recursos hídricos, en pro de la protección, recuperación y conservación del agua, todo esto de conformidad con la Ley establecida para este fin y los lineamientos técnicos que dicte la Autoridad Única del Agua en coordinación con los diferentes niveles de gobierno relacionados directamente con su gestión.</p> <p>-Controlar y asegurar que las descargas de las</p>	<p>-Capacitar acerca de las distintas técnicas de tratamientos de residuos (técnicas de compostaje y co-compostaje a pequeña escala) para generar abono y un rédito económico aplicando así el concepto de economía circular.</p> <p>-Impulsar la reducción de la deforestación y degradación de los ecosistemas a partir del uso y aprovechamiento sostenible del patrimonio natural.</p> <p>-Desarrollar un plan en virtud del conocimiento agropecuario para minimizar el excesivo uso de contaminantes en huertas propias.</p>

		aguas servidas provenientes del sector doméstico cumplan con el sistema integral de gestión hídrica propuesta en el PDOT de la localidad.	
--	--	---	--

Realizado por: Chuquilla, Josselyn; Márquez, David, 2024.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se realizó una revisión detallada de algunos artículos científicos existentes sobre la huella hídrica, con ello se obtuvo conocimiento sobre su metodología, la gestión de los recursos hídricos.
- Se determinó las 3 huellas hídricas en los 4 sectores donde se obtuvo se registró una huella Hídrica Gris más alta a las demás Huellas con un valor de 49341,72 m³, mientras que la Huella Azul se sitúa en segundo lugar con 19662,83 m³ y por último tenemos Huella Hídrica Verde descendiendo con 827,54 m³.
- La evaluación de la sostenibilidad evidenció que la microcuenca del río Pachanlica es sostenible, ya que el índice de escasez está dentro de los parámetros establecidos es menor a 1 en las huellas hídricas verde, azul y gris. La escasez de la huella verde es de 0,37, la escasez azul es igual a 0,62 y por último el nivel de contaminación de agua gris es de 0,0002.
- La formulación de estrategias es esencial para asegurar la sostenibilidad a largo plazo, el análisis de la huella hídrica de la microcuenca del río Pachanlica ha proporcionado información importante, permitiendo identificar las zonas críticas para poder implementar medidas correctivas, las estrategias propuestas buscan minimizar el impacto hídrico y promover prácticas que ayuden a la calidad de vida de las comunidades.

5.2. Recomendaciones

- Se sugiere mejorar la eficiencia de los sistemas de riego en el sector agrícola. Esto puede lograrse mediante el uso de sistemas de riego por goteo o aspersión, o mediante la implementación de prácticas de conservación de agua, como el cultivo de especies adaptadas a la sequía.
- Promover la protección de las fuentes de agua mediante la reforestación de las cuencas hidrográficas, la conservación de los bosques y la prevención de la contaminación del agua.
- Mejorar la eficiencia de los sistemas de alimentación y gestión de estiércol, esto beneficiara la reducción de agua necesaria para la producción de alimentos y para el tratamiento del estiércol.
- Fortalecer la participación de la comunidad en la gestión del agua mediante la creación de comités de agua comunitarios, la capacitación de la población sobre la gestión del agua y la promoción de la participación ciudadana en los procesos de toma de decisiones.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ALMÉCIJA, A.; et al.** *Tamaño de muestra y precisión estadística* [en línea]. Quito-Ecuador: Edición Inirioja, 2004. [Consulta: 23 junio 2023]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=5620>
2. **ARCIA BUENAÑO, C.** “Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua en la cuenca del pachanlica, provincia de Tungurahua, Ecuador”. *Researchgate* [en línea], 2018, vol. 1 (2), págs. 41-49. [Consulta: 20 junio 2023]. ISSN. 1025-5201. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/329430321_Macroinvertebrados_bentonicos_como_indicadores_de_calidad_de_agua_en_la_cuenca_del_Pachanlica_provincia_de_Tungurahua_Ecuador
3. **BATEMAN, Allen.** *Hidrología básica*. Cataluña-España: Ediciones Amparo, 2007, pág. 7.
4. **BERNAL MORA, Adriana.** *Derecho al agua en el marco del buen vivir*. Cuenca-Ecuador: Ediciones Ateneas, 2019, pág. 5.
5. **CONSEJO CANTONAL DE AMBATO.** *Plan de Ordenamiento Territorial* [en línea]. Ambato-Ecuador: Ediciones Publicas, 2019. [Consulta: 20 junio 2023]. Disponible en: <https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2021-05/PLAN-ORDENAMIENTO-TERRITORIAL-AMBATO.pdf>
6. **FAO.** *Evapotranspiración del cultivo*. [En línea] España: Ediciones FAO, 2006. [Consulta: 28 Agosto de 2023.] Disponible en: <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf>
7. **FERNÁNDEZ CIRELLI, Alicia.** *El agua: un recurso esencial*. Buenos Aires-Argentina: Quimica viva, 2012, pág. 3.
8. **GARCÍA AVILÉS, Luisa Alejandra & BLANCO MINEROS, Ana Marlene.** Evaluación de la huella hídrica y el efecto de los factores tecnológicos de la producción y procesamiento de café oro [en línea]. (Trabajo de titulación) (Titulación). Universidad de El Salvador. El Salvador-El Salvador. 2018. págs. 1-53. [Consulta: 2023-05-23]. Disponible en: <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/18565>

9. **HDC.** *Volcán Tungurahua* [en línea]. Ambato-Ecuador: Hablemos de cultura, 2017. [Consulta: 20 junio 2023]. Disponible en: <https://hablemosdeculturas.com/volcan-tungurahua>
10. **HERNÁNDEZ, A. & HERNÁNDEZ, J.** Determinación de la huella hídrica en los procesos productivos de la leche y su nivel tecnológico en dos ganaderías del occidente de El Salvador [en línea] (Trabajo de titulación) (Titulación). Universidad de El Salvador. El Salvador-El Salvador. 2019. págs. 1-53. [Consulta: 2023-05-23]. Disponible en: <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/20392>.
11. **IICA.** *Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura*. Quito-Ecuador: Ediciones Publicas, 2017, págs. 1-8.
12. **INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY.** *El agua y el medio ambiente* [en línea]. Madrid-España: Programa de Cooperación, 2017. [Consulta: 20 junio 2023]. Disponible en: <https://www.iaea.org/sites/default/files/documents/tc/Water-Spanish.pdf>
13. **IVANOVA, Yulia. & SARMIENTO, A.** Evaluación de la huella hídrica de la ciudad de bogotá como una herramienta de la gestión del agua en el territorio urbano [en línea] (Trabajo de titulación) (Titulación). Universidad de Pamplona. Pamplona-España. 2014. págs. 1-94. [Consulta: 2023-05-23]. Disponible en: http://ojs.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/ra/article/view/427
14. **LALA VAMOS, H.** “Análisis de la Sostenibilidad mediante Huella Hídrica de la microcuenca del Río Pita, Ecuador”. *Researchgate* [en línea], 2020, vol. 4 (2), págs. 1-8. [Consulta: 20 junio 2023]. ISSN. 1132-0024. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/338327858_Analisis_de_la_Sostenibilidad_mediante_Huella_Hidrica_de_la_microcuenca_del_Rio_Pita_Ecuador
15. **MINISTERIO DE AMBIENTE.** *Microcuencas* [en línea]. Quito-Ecuador: MAE, 2020. [Consulta: 20 junio 2023]. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico/microcuencas/>.
16. **MINISTERIO DEL AMBIENTE, AGUA Y TRANSICIÓN ECOLÓGICA.** *Código Orgánico del Ambiente* [En línea]. Quito-Ecuador: MAE, 2019. [Consulta: 29 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/codigo-organico-del-ambiente-coa/>.

17. **MINISTERIO DEL AMBIENTE.** *Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica.* Quito-Ecuador: 2019, pág. 4.
18. **MINISTERIO DEL AMBIENTE.** *Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica* [en línea]. Quito-Ecuador: MAE, 2015. [Consulta: 29 agosto 2023]. Disponible en: https://www.cms.int/lions/sites/default/files/document/cms_nlp_ecu_acuerdo_084_2015.pdf
19. **MOREIRA, D.; et al.** *Guía Metodológica para la Evaluación de la Huella Hídrica en una Cuenca Hidrográfica.* Quito-Ecuador: IICA. 2017, págs. 1-11.
20. **MORENO, L. & SALOMÓN, R.** Estudio de la evolución del uso del suelo en la zona de reserva del Merendón, Honduras [en línea]. (Trabajo de titulación) (Titulación). Universidad Politécnica de Madrid. Madrid-España. 2009. págs. 1-86. [Consulta: 2023-05-23]. Disponible en: <http://oa.upm.es/2010>.
21. **NACIONES UNIDAS.** *Importancia del agua* [en línea]. Barcelona-España: ONU, 2015. [Consulta: 20 junio 2023]. Disponible en: <https://www.un.org/es/cr%C3%B3nica-onu/el-valor-del-agua-y-su-papel-esencial-en-el-apoyo-al-desarrollo-sostenible>
22. **NETWORK WATER FOOTPRINT.** *Everything we use, wear, buy, sell and eat takes water to make* [en línea]. Estados Unidos: NWF, 2023. [Consulta: 19 Agosto 2023.]. Disponible en: <https://www.waterfootprint.org/water-footprint-2/what-is-a-water-footprint/>
23. **PÉREZ, A. & SOLANGE, I.** Evaluación y análisis de la huella hídrica y agua virtual de la producción agrícola en el Ecuador [en línea] (Trabajo de titulación) (Titulación). Universidad Zamorano. Bogotá-Colombia. 2012. págs. 1-84. [Consulta: 2023-05-23]. Disponible en: <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/911/1/agn-2012-t025.pdf>
24. **ROJAS, Diego José.** *Determinación de agua pesada por el método del flotador con doble imagen* [en línea]. Quito-Ecuador: Eprints, 1964. [Consulta: 20 junio 2023]. Disponible en: <https://eprints.ucm.es/53877>.
25. **ROJAS, Y.; et al.** Evaluación de la Huella Hídrica del Lirio Japonés (*Hemerocallis*) [en línea]. (Trabajo de titulación) (Titulación). Universidad Nacional y a Distancia. Bogotá-

Colombia. 2014. págs. 1-76. [Consulta: 2023-05-23]. Disponible en:
<https://hemeroteca.unad.edu.co/revista1/index.php/pi/article/view/1285/1621>.



ANEXOS

ANEXO A: PUNTOS DE MUESTREO

Urbina (Punto 1)



Quero (Punto 2)



Empresa de balanceados (Punto 3)



Empresa de gelatina (Punto 4)



Salasaka (Punto 5)



Antes de la unión con el río Ambato (Punto 6).



ANEXO B: MUESTREO DEL AGUA





ANEXO C: MUESTREO DEL SUELO



ANEXO D: EQUIPOS UTILIZADOS

Espectrofotómetro



Caudalímetro.



ANEXO E: CAUDALES



ANEXO F: MODELO DE ENCUESTA



PREGUNTAS GENERALES

- AGUA EN EL INTERIOR

1. **¿Cuántas personas hay en su hogar?**

- Sólo yo
- Dos
- Tres
- Cuatro o más.

2. **¿Cuánto tiempo tarda para bañarse en su casa?**

- Menos de 5 min.
- Entre 5-10 min.
- Entre 11-15 min.
- Más de 15 min.

3. **¿Tiene duchas de bajo flujo?**

- Si
- No
- Algunas

4. **¿Se da baños en la tina?**

- Si
- No

Si es así, ¿con qué frecuencia lo hace?
(Contemple en su respuesta a todos los miembros de su hogar).

___ Baño(s) por ____.

5. **¿Por cuánto tiempo deja las llaves de su lavamanos abiertas cada día?**

(Contemple en su respuesta a todos los miembros de su hogar, incluyendo tiempo de cepillado de dientes y afeitado.)

- Menos de 5 min.
- Entre 5-10 min.
- Entre 11-30 min.
- Más de 30 min.

6. **¿Tiene su lavamanos llaves de bajo flujo?**

- Si
- No
- Algunos

7. **¿Usted baja la palanca de su inodoro tras haber orinado?**

- ¡Claro!
- No
- A veces

8. **¿Tiene escusados de bajo flujo?**

- Si
- No
- Algunos

9. **¿Por cuánto tiempo deja la llave del fregadero de su cocina abierta cada día?** (Contemple en su respuesta a todos los miembros de su hogar, incluyendo todo menos el tiempo en que se lava la vajilla.)

- Menos de 5 min.
- Entre 5-20 min.
- Entre 21-45 min.
- Más de 45 min.

10. **¿Tiene el fregadero de su cocina llaves de bajo flujo?**

- Si
- No

11. **¿Cómo lava sus trastes?** (Elija las respuestas que más se adecúen a sus hábitos.)

- Lavavajillas a la antigua.
(___ Carga por ___)
- Lavavajillas eficiente.
(___ Carga por ___)
- A mano.
(___ Carga por ___)
- Desechables o salir a comer.
(___ Carga por ___)

12. **¿Cómo lava su ropa?** (Elija las respuestas que más se adecúen a sus hábitos.)

- Lavadora antigua.
(___ Carga por ___)
- Lavadora eficiente.
(___ Carga por ___)
- A mano.
(___ Carga por ___)

13. **¿Tiene un sistema de aguas grises instalado en su casa?**

- a. Por supuesto
- b. No

-AGUA EXTERIOR

14. **¿Se riega el césped o jardín?**

- a. Si
- b. No

15. **¿Cuánto riega?**

_____ veces por _____

16. **¿Su jardín está cubierto con plantas que requieren poco o nada de agua?**

- a. Si
- b. No

Nota: Plantar flores nativas y gramíneas (también conocido como Xeriscape) puede ayudarle a reducir el riego en al menos un tercio.

17. **¿Tiene un barril pluvial?**

- a. Si
- b. No

Nota: Un barril pluvial puede almacenar alrededor de 1,300 galones de agua para su uso en exteriores durante el verano (riego de plantas, lavado de auto, etc).

18. **¿Tiene piscina en casa?**

- a. Si
- b. No

19. **¿Tiene auto?**

- a. Si. ¿De qué otra manera podría moverme?
- b. No. ¿Quién necesita uno?

20. **¿Cómo lava su auto?.** (Elija todas las respuestas que apliquen, incluyendo el total de sus autos.)

- a. Con una manguera de jardín en casa. (____ veces por _____)
- b. En un auto lavado. (____ veces por _____)

-AGUA VIRTUAL

21. **¿Cuántas millas recorre por semana?**

(Incluya las millas de las otras personas con quienes comparte su auto si es el caso.)

Nota: Se requiere de mucha agua para producir gasolina. ¡En serio! En promedio, 1 milla conducida equivale a 7 galones de agua.

22. **¿De dónde proviene su electricidad?**

(Incluya los programas de energía verde como utilidad.)

- a. Casa
- b. Compañía de electricidad

23. **¿Cuánto compra?** (No incluya alimentos; llegaremos ahí pronto.)

- a. Compro lo básico
- b. Me gusta comprar
- c. Compro hasta que me canso

24. **¿Recicla el papel?**

- a. No
- b. Un poco
- c. Todo

Nota: Reciclar una libra de papel- menos del peso de un periódico promedio- representa ahorrar alrededor de 3.5 galones de agua

25. **¿Recicla el plástico?**

- a. No
- b. Un poco
- c. Todo

Nota: Usted puede ahorrar hasta 12 galones de agua por día reciclando todo el plástico.

26. **¿Recicla las latas y las botellas?**

- a. Ninguna
- b. Algunas
- c. Todas

ANEXO G: REGISTRO DE ENTREVISTAS



ESPOCH
 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
 FACULTAD DE CIENCIAS

“EVALUACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DE LA MICROCUENCA
 DEL RÍOPACHANLICA EN EL FORTALECIMIENTO DE SU
 GESTIÓN Y POLÍTICA COMUNITARIA.”

REGISTRO DE ENTREVISTADOS

FECHA:

REALIZADO POR:

N.º	Nombres y Apellidos	Comunidad	Firma
1	Cristina Angélica Suarez Oñate	Quevedo	
2	Kevin David Cuevas Bonilla	Mocha	
3	Andrés Santona Jimson Sebastián	Pingili	
4	Jeherson Robando Arango Lacampesi	Cevallos	
5	Nercio David Guamba Arce	Bermejo	
6	Elyton Andrés Sanmigo Delon	Nabesaca	
7	Pablo David Torres Marrangoni	12 de Octubre	
8	Cristian David Zuñiga Lopez	Pingili	
9	Joel Sebastián Nuñez Moracho	Mocha	
10	Bryan David Cujilema Llanusa	Sobosco	
11	Glorio Rocio Guanaiza Ortiz	Cevallos	

N.º	Nombres y Apellidos	Comunidad	Firma
12	Ruth Anilema	Quero	
13	Gustavo Chaciza	Pinguili	
14	Karina Ugsina	Pinguili	
15	Maria Copa	Mocha	
16	Esther Abigail Copa	Mocha	
17	Jessica Alexandra Chofa	Cevallos	
18	María María Asado Boy Muello	Cevallos	
19	Jorge Sinalusa	Benitez	
20	Jad Yasipoma	12 de Octubre	
21	Jinson Santana	Quero	
22	Lorenz Berrones	Benitez	
23	Dayana Navarajo	Quero	
24	Joselyn Selinas Rocero	Salasaca	
25	Rashid Vargas Estacio	Salasaca	
26	Kelvin Saramillo Castillo	Pinguili	

ANEXO H: ANÁLISIS DE AGUA



ANEXO I: ANÁLISIS DE SUELO









ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 09 / 06 / 2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Josselyn Damary Chuquilla Lema David Jordano Márquez Vera
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Ambiental
Título a optar: Ingeniera/o Ambiental
 Ing. Sofia Carolina Godoy Ponce, Mgs. Directora del Trabajo de Integración Curricular  Ing. María Soledad Núñez Moreno. Asesora del Trabajo de Integración Curricular