



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL

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

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO/A AMBIENTAL

AUTORES: JOSELYN ANABEL ARMAS ARMAS
JOEL DAVID BARRAGÁN GALLEGOS

Riobamba – Ecuador

Año 2024



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL

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

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO/A AMBIENTAL

AUTORES: JOSELYN ANABEL ARMAS ARMAS
JOEL DAVID BARRAGAN GALLEGOS

DIRECTOR(A): ING. SOFIA CAROLINA GODOY PONCE

Riobamba – Ecuador

2024

© 2024, Armas Armas Joselyn Anabel, Barragán Gallegos Joel David

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 de Autor.

Nosotros, Joselyn Anabel Armas Armas y Barragán Gallegos Joel David, declaramos que el presente Trabajo de Titulación es de nuestra autoría y los resultados de este 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 Titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 10 de junio de 2024



Joselyn Anabel Armas Armas
CI: 060553604-4



Barragán Gallegos Joel David
CI: 171876795-5

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; Tipo Proyecto de Investigación “**EVALUACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO ALAO EN EL FORTALECIMIENTO DE SU GESTIÓN Y POLÍTICA COMUNITARIA**”, realizado por los señores: **JOSELYN ANABEL ARMAS ARMAS Y BARRAGÁN GALLEGOS JOEL DAVID**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Luis Miguel Santillán Quiroga PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 _____	2024-06-10
Ing. Sofía Carolina Godoy Ponce DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	 _____	2024-06-10
Ing. Johanna Elizabeth Ayala Izurieta ASESORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	 _____	2024-06-10

DEDICATORIA

Primero y ante todo agradezco a Dios por su constante presencia en mi vida, iluminando mi camino y dándome la fuerza necesaria para superar cada desafío, por ello quisiera dedicar esta tesis a todas las personas que me han acompañado y apoyado a lo largo de este camino en especial a mis queridos padres por ser la fuente inagotable de amor, apoyo y sabiduría, gracias por inculcarme los valores de la dedicación el esfuerzo y la integridad y por creer en mí en todo momento. De igual manera a mis queridos herman@s por ser mis primeros amigos y por su constante apoyo y aliento, agradezco por estar a mi lado en cada paso de este viaje y finalmente a mis sobrinos Dilan e Ian por ser una fuente de alegría y motivación constante, este logro es tanto mío como suyo.

Joselyn

Quiero agradecer a Dios cuya luz ha iluminado cada paso de mi camino académico. A mis padres, cuyo amor incondicional y sacrificio han sido el pilar de mi vida. A mi familia, por su comprensión y ánimo en los momentos más desafiantes, les dedico este logro con todo mi corazón. A mis amigos, cuya presencia y camaradería han hecho este viaje más significativo y alegre. Sin todos ustedes este logro no sería posible, que este trabajo pueda reflejar el amor, la dedicación y el esfuerzo de quienes me rodean.

Joel

AGRADECIMIENTO

Al culminar este trabajo deseo expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que de una u otra forma han contribuido a la realización de esta tesis, a mis profesores y compañeros de estudio por compartir sus conocimientos, por su colaboración y apoyo que han enriquecido enormemente mi experiencia académica. Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a CONAGOPARE Chimborazo por su invaluable apoyo en la realización de esta tesis. Gracias a su colaboración y logística, las salidas de campo fueron posibles y exitosas, permitiéndome recolectar los datos necesarios para este estudio

Joselyn

Primeramente, quiero agradecer a Dios por ser mi guía en este camino de altos y bajos, a mi familia por brindarme su apoyo, paciencia y comprensión. A mis amigos que los que se sumaron en el camino por estar en las buenas y en las malas brindándome su apoyo. También quiero agradecer a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por abrirme las puertas y brindarme todos los conocimientos necesarios para el desarrollo de este trabajo investigativo. A todos los docentes y técnicos quienes formaron parte de forma directa como indirecta para poder cumplir este sueño.

Joel

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE Gráficos.....	xiv
ÍNDICE DE Ecuaciones.....	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvii
RESUMEN.....	xviii
SUMMARY / ABSTRACT.....	xix
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.2 Objetivos.....	4
1.2.1 General.....	4
1.2.2 Específicos.....	4
1.3 Justificación.....	5
1.3.1 Justificación Teórica.....	5

CAPÍTULO II

2. MARCO TEORICO.....	6
2.1 Antecedentes.....	6
2.2 Marco Conceptual.....	9
2.2.1 Cuenca hidrográfica.....	9
2.2.2 Microcuenca como unidad hidrológica.....	9
2.2.3 Principales microcuencas de la provincia de Chimborazo.....	10

2.2.4	Huella hídrica	10
2.2.5	Huella hídrica Azul	11
2.2.6	Huella hídrica verde	11
2.2.7	Huella hídrica Gris	12
2.2.8	Instituciones de Regulación.....	12
2.2.9	Mecanismos de evaluación de la huella hídrica en una cuenca	13
2.2.10	Normativas y mecanismos aplicables a nivel internacional y regional respecto a la evaluación de la huella hídrica.....	14
2.3	Marco Legal.....	14
2.3.1	Política pública para la gestión de recursos hídricos en el Ecuador.....	14

CAPITULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO.....	21
3.1	Área de estudio	21
3.1.1	Localización.....	21
3.1.2	Ubicación geográfica.....	21
3.1.3	Características climáticas.....	23
3.1.4	Rango altitudinal.....	23
3.1.5	Límites de Pungalá.....	23
3.2	Definición del Alcance de la Huella Hídrica	23
3.2.1	Selección de la muestra.....	23
3.2.2	Levantamiento de información base.....	24
3.2.3	Selección de los puntos de monitoreo	25
3.2.4	Muestreos de Agua.....	27
3.2.5	Requerimiento del Software CROPWAT AT 8.0.....	31
3.3	Cuantificación de la Huella Hídrica de la Microcuenca del Río Alao	32
3.3.1	Huella Hídrica Verde.....	32
3.3.2	Huella Hídrica Azul.....	33
3.3.3	Huella Hídrica Gris	35

3.3.4	Determinación de la Huella hídrica total de la Microcuenca Río Alao	37
3.4	Análisis de Sostenibilidad de la Huella Hídrica de la microcuenca del río Alao ...	37
3.4.1	Sostenibilidad de la Huella Hídrica.....	38
3.4.2	Sostenibilidad Económica de la Huella Hídrica	40
3.4.3	Sostenibilidad Social	42
3.5	Formulación de Estrategias para la Gestión y Política Comunitaria en Respuesta a la Huella Hídrica.....	42

CAPITULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	44
4.1	Alcance de la Huella Hídrica	44
4.1.1	Tamaño de la muestra.....	44
4.1.2	Interpretación de datos de fuentes primarias de información.....	45
4.1.3	Muestreo de agua	53
4.1.4	Aplicación del software CROPWAT 8.0.....	56
4.2	Cuantificación de la Huella Hídrica de la Microcuenca del Río Alao	63
4.2.1	Huella Hídrica Verde.....	63
4.2.2	Huella Hídrica Azul.....	66
4.2.3	Huella Hídrica Gris	70
4.2.4	Determinación de la Huella hídrica total de la Microcuenca Río Alao	74
4.3	Análisis de Sostenibilidad de la Huella Hídrica de la microcuenca del río Alao ...	74
4.3.1	Sostenibilidad de la Huella Hídrica.....	74
4.3.2	Sostenibilidad Económica de la Huella Hídrica	78
4.3.3	Sostenibilidad Social	81
4.4	Formulación de Estrategias para la Gestión y Política Comunitaria en Respuesta a la Huella Hídrica.....	82
4.4.1	Sector Agrícola	83
4.4.2	Sector Pecuario	84
4.4.3	Sector Doméstico	86

CONCLUSIONES.....	88
RECOMENDACIONES.....	89
GLOSARIO	
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1: Ubicación geográfica del Río Alao	22
Tabla 3-2: Ubicación de los puntos de monitoreo.....	25
Tabla 4-3: Coordenadas del punto alto	26
Tabla 4-4: Coordenadas del punto medio.....	26
Tabla 4-5:Coordenadas del sector poblado	27
Tabla 4-6: Coordenadas de la central hidroeléctrica	27
Tabla 4-7: Coordenadas del punto de desembocadura.....	27
Tabla 3-8: Parámetros fisicoquímicos.....	28
Tabla 3-9: Parámetros climáticos de la microcuenca Alao	31
Tabla 3-10: Estrategias para la gestión y política comunitaria (Río Alao)	43
Tabla 4-11: Población total Sector Alao	44
Tabla 4-12: ¿Qué importancia tiene el agua para usted?.....	45
Tabla 4-13: ¿Utiliza el agua del río Alao?.....	46
Tabla 4-14: ¿Con que frecuencia realiza el riego de cultivos?.....	47
Tabla 4-15: ¿Conoces la cantidad aproximada de agua que utilizas diariamente?	47
Tabla 4-16: ¿Sabe cuáles son los meses más lluviosos en este sector?	48
Tabla 4-17: ¿Sabe cuáles son los meses más secos en este sector?.....	48
Tabla 4-18: ¿Qué tipo de abono utiliza en sus cultivos?.....	49
Tabla 4-19: ¿Ha escuchado hablar de la huella hídrica antes	50
Tabla 4-20: ¿Le preocupa el agotamiento de los recursos hídricos en tu región?.....	50
Tabla 4-21: Está dispuesto a realizar cambios en su estilo de vida para reducir su huella hídrica?	51
Tabla 4-22: Qué tipo de cambios estaría dispuesto a hacer para reducir su huella hídrica?.....	51
Tabla 4-23: Está informado sobre medidas de gestión del agua que se están realizando en la región del río.....	52

Tabla 4-24: Crees que se deberían implementar más programas de educación sobre la conservación del agua y la huella hídrica en la región?.....	52
Tabla 4-25: Resultados de Parámetros insitu.....	53
Tabla 4-26: Resultados del laboratorio	54
Tabla 4-27: Datos de clima.....	56
Tabla 4-28: Precipitación	57
Tabla 4-29: Coeficiente kbc.....	57
Tabla 4-30: Etapas de crecimiento del cultivo.....	58
Tabla 4-31: Profundidad radicular del cultivo	59
Tabla 4-32: Factor de agotamiento.....	59
Tabla 4-33: Factor de respuesta del cultivo.....	60
Tabla 4-34: Altura del cultivo.....	60
Tabla 4-35: Humedad del suelo	61
Tabla 4-36: Agotamiento inicial de humedad de suelo.....	61
Tabla 4-37: Requerimiento de agua para el maíz.....	62
Tabla 4-38: Requerimiento de agua para papa.....	63
Tabla 4.39: HH Total, MRA.....	74
Tabla 4-40: Sostenibilidad, HH Azul.....	75
Tabla 4-41: Sostenibilidad, HH Verde.....	76
Tabla 4-42: Sostenibilidad, HH Gris	77
Tabla 4-43: Sostenibilidad económica, Agrícola.....	79
Tabla 4-44: Sostenibilidad Económica, Pecuario.....	80
Tabla 4-45: Formulación de estrategias	83
Tabla 4-46: Formulación de estrategias, Sector Pecuario	84
Tabla 4-47: Formulación de estrategias, Sector Doméstico	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3-1: Mapa de Ubicación de la microcuenca.....	22
Figura 3-2: Ubicación de los puntos principales de muestreo	26
Figura 4-3: Factor de agotamiento.....	59

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 4-1: ¿Qué importancia tiene el agua para usted?.....	45
Gráfico 4-2: ¿Utiliza el agua del río Alao?.....	46
Gráfico 4-3: En base a la pregunta anterior, ¿Para qué utilizas el agua del río Alao?.....	46
Gráfico 4-4: ¿Con que frecuencia realiza el riego de cultivos?	47
Gráfico 4-5: ¿Conoces la cantidad aproximada de agua que utilizas diariamente?.....	47
Gráfico 4-6: ¿Sabe cuáles son los meses más lluviosos en este sector?	48
Gráfico 4-7: ¿Sabe cuáles son los meses más secos en este sector?.....	48
Gráfico 4-8: ¿Qué tipo de abono utiliza en sus cultivos?.....	49
Gráfico 4-9: ¿Ha escuchado hablar de la huella hídrica antes de esta encuesta?.....	50
Gráfico 4-10: ¿Le preocupa el agotamiento de los recursos hídricos en tu región?.....	50
Gráfico 4-11: Está dispuesto a realizar cambios en su estilo de vida para reducir su huella hídrica?	51
Gráfico 4-12: Qué tipo de cambios estaría dispuesto a hacer para reducir su huella hídrica?...	51
Gráfico 4-13: Está informado sobre medidas de gestión del agua que se están realizando en la región del río.....	52
Gráfico 4-14: Crees que se deberían implementar más programas de educación sobre la conservación del agua y la huella hídrica en la región?.....	52
Gráfico 4-15: Variación del caudal	54
Gráfico 4-16: Cuantificación HHV, Agrícola.....	64
Gráfico 4-17: Cuantificación HHV, Pecuaria.....	66
Gráfico 4-18: Cuantificación HHA, Agrícola.....	67
Gráfico 4-19: Cuantificación HHA, Pecuaria.....	68
Gráfico 4-20: Cuantificación HHA, Doméstica.....	69
Gráfico 4-21: Cuantificación HHG, Agrícola.....	71
Gráfico 4-22: Cuantificación HHG, Pecuaria.....	72
Gráfico 4-23: Cuantificación HHG, Doméstica.....	73

Gráfico 4-24: Sostenibilidad de la Huella Hídrica	77
--	-----------

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 3-1: Selección de la muestra	24
Ecuación 3-2: Tiempo promedio.....	29
Ecuación 3-3: Velocidad	29
Ecuación 3-4: Área de la sección	30
Ecuación 3.5: Profundidad media.....	30
Ecuación 3-6: Caudal.....	30
Ecuación 3-7: Evapotranspiración Verde.....	32
Ecuación 3-8: HHV Agrícola.....	33
Ecuación 3-9: HHV Pecuaria.....	33
Ecuación 3-10: HHA Agrícola.....	34
Ecuación 3-13: HHA Pecuaria.....	34
Ecuación 3-14: HHA Domestica.....	35
Ecuación 3-15: HHG Agrícola.....	35
Ecuación 3-16: HHG Pecuaria.....	36
Ecuación 3-17: HHG Domestica.....	37
Ecuación 3-18: HH Total	37
Ecuación 3-19: Disponibilidad de agua azul	38
Ecuación 3-20: Escasez del agua azul.....	38
Ecuación 3-21: Disponibilidad del agua verde	39
Ecuación 3-22: Escasez del agua verde	39
Ecuación 3-23: Índice de contaminación del agua	40
Ecuación 3-24: Producción aparente de agua del cultivo.....	41
Ecuación 3-25: Producción aparente, Agrícola.....	41
Ecuación 3-26: Producción aparente de agua, Pecuario	41

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Reconocimiento del área de estudio

Anexo 2: Levantamiento de información primaria (Entrevista)

Anexo 3: Levantamiento de información primaria (Encuestas)

Anexo 4: Toma de muestras

Anexo 5: Medición del caudal

Anexo 6: Aval de la tesis del grupo de investigación

Anexo 7: Formato de encuesta aplicada

Anexo 8: Resultado de análisis del laboratorio, P3

Anexo 9: Certificado CONAGOPARE

RESUMEN

La microcuenca del río Alao se encuentra ubicada en la parroquia Pungalá, aquí se llevan a cabo diferentes actividades económicas las cuales generan impacto de forma directa e indirecta sobre el recurso hídrico, por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar la Huella Hídrica de la microcuenca del río Alao para el fortalecimiento y gestión de su política comunitaria como instrumento de gestión para la valoración de la cantidad de agua necesaria para producir un bien o servicio. La evaluación se realizó utilizando la guía metodológica del IICA para la Evaluación de la Huella Hídrica en una Cuenca Hidrográfica, que incorporó tres indicadores de Huella Hídrica: Verde, Azul Y Gris. La huella hídrica se midió mediante el software CropWat 8.0 y ClimWat 2.0, que fueron programas que brindaron información para el cálculo. La huella hídrica y el uso del agua en la microcuenca del río Alao se determinaron mediante una combinación de valores como la huella Hídrica Verde con 125.281,27 (m³/año), la Huella Hídrica Azul con 1'834.655,89 (m³/año) y la Huella Hídrica Gris con 134.101,61 (m³/año), esta evaluación determinó que en la microcuenca del río Alao predomina la huella azul con un 88% y 6% para la verde y gris respectivamente. A partir de esta medición se determinó que la microcuenca del río Alao es sostenible en el manejo, uso y disponibilidad del agua. Partiendo de este análisis se recomienda al Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia de Pungalá, la ejecución de las estrategias de gestión propuestas para el sector agrícola, pecuario y doméstico que permitan aprovechar el estado actual de la microcuenca de manera sostenible para la mejora de la calidad de vida de los habitantes y del ambiente.

Palabras clave:

<HUELLA HÍDRICA>, <HUELLA AZUL>, <HUELLA VERDE>, <HUELLA GRIS>, <SOSTENIBILIDAD>, <CONSUMO DE AGUA>, <RECURSOS HÍDRICOS>, <AGRICULTURA>, <CONSUMO HUMANO>, <INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD>



0924-DBRA-UPT-2024

SUMMARY / ABSTRACT

Alao River micro-watershed is located in Pungalá town, where various economic activities are carried out directly and indirectly impacting water resources. Therefore, the objective of this research was to evaluate the Water Footprint of Alao River micro-watershed to strengthen and manage its community policy using the amount of water necessary to produce a good or service as a management tool. The evaluation was conducted using the IICA methodological guide for Water Footprint Assessment in a Watershed, which incorporates three Water Footprint indicators: Green, Blue, and Grey. The water footprint was measured using CropWat 8.0 and ClimWat 2.0 software, which provided the data for the calculations. The water footprint and water usage in the Alao River micro-watershed were determined by combining values such as the Green Water Footprint at 125,281.27 m³/year, the Blue Water Footprint at 1,834,655.89 m³/year, and the Grey Water Footprint at 134,101.61 m³/year. This evaluation determined that the Blue Water Footprint predominates in Alao River micro-watershed with 88%, compared to 6% each for the Green and Grey footprints. From this measurement, it was concluded that the Alao River micro-watershed is sustainable in the management, use, and availability of water. Based on this analysis, it is recommended that the Autonomous Decentralized Government of Pungalá town implement the proposed management strategies for the agricultural, livestock, and domestic sectors to sustainably leverage the current state of the micro-watershed, thereby improving the quality of life for residents and the environment.

Keywords: <WATER FOOTPRINT> <BLUE WATER FOOTPRINT> <GREEN WATER FOOTPRINT> <GREY WATER FOOTPRINT> <SUSTAINABILITY> <WATER CONSUMPTION> <WATER RESOURCES> <AGRICULTURE> <HUMAN CONSUMPTION> <SUSTAINABILITY INDICATORS>



ING. Romel Francisco Calles Jiménez

INTRODUCCIÓN

La microcuenca del río Alao se encuentra ubicada en la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Sangay declarado Patrimonio Natural de la Humanidad en el año 1983. El río Alao aporta múltiples recursos siendo uno de ellos su caudal que es utilizado en la planta de generación eléctrica Alao, la cual cubre parte las necesidades eléctricas en la ciudad de Riobamba; Sin embargo, el caudal de agua se ha visto considerablemente mermado debido a las diferentes actividades que se llevan a cabo en sus cercanías, el uso incontrolado de recursos, falta de conciencia ambiental de los moradores y el poco interés por parte de los gobiernos local y nacional para un manejo adecuado (1).

La evaluación de la huella hídrica es de gran utilidad por su funcionalidad como indicador del uso del agua dulce, no solo en el uso directo de consumidores o productores, sino también en el uso indirecto del agua. La huella hídrica de un producto o servicio es la cantidad total de agua requerida para producirlo, ya sea externa (cuando el producto es importado) o interna (producida dentro de un país). La huella hídrica es una herramienta analítica que puede abordar políticas relacionadas con la seguridad hídrica y el uso sostenible del agua. (“Huella Hídrica - Red de Ciclo de vida Red de Ciclo de vida”). (2) Muestra la cantidad de agua e identifica el consumo de agua en relación con el consumo humano, por lo que la huella hídrica de una comunidad se define como la cantidad de agua consumida por los miembros de esa comunidad para producir bienes y servicios. comunidad (1).

La evaluación de la huella hídrica es un método que promueve y apoya el uso sostenible de los recursos hídricos a través de información de consumo transparente y completo. La contaminación del agua relacionada con su disponibilidad, el método es introducido en la guía metodológica para la evaluación de la huella hídrica en una cuenca hidrográfica en 2017 como parte de la iniciativa de investigación y difusión de la Red Internacional de la Huella Hídrica. El concepto de la huella hídrica se presenta por primera vez en 2002 (3); desde entonces, ha sufrido una transformación notable que continúa en plena evolución y desarrollo.

La huella hídrica fue concebida inicialmente como una herramienta que permitía estimar el contenido de agua oculta en cualquier bien o servicio consumidos por un individuo o grupo de individuos de un área específica (país, ciudad, continente) en analogía con la huella ecológica, como concepto que permite analizar el impacto de los hábitos de vida y consumo de la población bajo un escenario de recursos naturales finitos. Actualmente, el desarrollo del concepto ha

ampliado su rango de aplicación, llegando a ser una herramienta complementaria a las convencionales para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH) en una cuenca (4)

En este trabajo de titulación se empleó la determinación de la huella hídrica verde, azul y gris siendo utilizadas estas para determinar el consumo de agua por la vegetación, así como de las fuentes hídricas superficiales o subterráneas y el volumen de agua necesario para asemejar la carga contaminante.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del Problema

El consumo real del recurso hídrico en cada uno de los sectores económicos relacionados al consumo humano, escasez o la contaminación, siendo esta última uno de los factores de la evolución rápida en la productividad de la economía de nuestro país ha afectado de manera significativa las fuentes hídricas que nos rodean. La microcuenca del río Alao es utilizada para realizar diferentes practicas económicas llevadas a cabo por la poblaciones cercanas , una de las actividades que se realizan en gran cantidad son aquellas orientadas hacia el sector agropecuario, dichas actividades son fundamentales para el suministro de alimentos a nivel mundial siendo así que la mayoría de la superficie del lugar es usada para la siembra y oferta productiva correspondiente al cultivo de papa, maíz (grano seco) y haba verde en vaina; en menor proporción encontramos otros productos como arveja, frejol, brócoli y la producción ganadera para lo cual se cultiva pasto, actividades como esta son una de las interacciones comerciales esenciales ya que contribuye significativamente al suministro de proteínas animales en la dieta humana pero a la vez es una de las actividades que más contaminan el agua puesto que los desechos animales generados por el ganado, como la orina y las heces, pueden contaminar las aguas superficiales y subterráneas si no se manejan adecuadamente (GAD Pungala, 2023) . Además, los fertilizantes y pesticidas utilizados en la producción de alimentos para el ganado también pueden contaminar el agua si no se utilizan de manera adecuada, estas prácticas pueden generar la reducción del cuerpo de agua incluyendo residuos animales, como heces y orina, y residuos de producción, como envases y productos no utilizados (1). Además, los fertilizantes y pesticidas utilizados en la producción de alimentos para el ganado también pueden contaminar el agua si no se utilizan de manera adecuada, estas prácticas pueden generar la reducción del cuerpo de agua incluyendo residuos animales, como heces y orina, y residuos de producción, como envases y productos no utilizados. Todas estas actividades tienen un impacto significativo en los recursos hídricos debido al uso intensivo del agua ante esto la huella hídrica es una medida importante del consumo de agua en las prácticas agrícolas y puede ser utilizada para evaluar su sostenibilidad (5). Aunque es de suma importancia la cuantificación de la huella hídrica en los diferentes sectores, sin embargo, existe una escasez de conocimiento sobre el impacto generado, por lo tanto, es

necesario investigar y poner en práctica diferentes actividades para conservar la microcuenca y de esta manera reducir las acciones que afectan a la huella hídrica.

1.2 Objetivos

1.2.1 General

- Evaluar la Huella Hídrica de la microcuenca del Río Alao en el fortalecimiento de su gestión y política comunitaria.

1.2.2 Específicos

- Contabilizar la huella hídrica de la microcuenca del Río Alao
- Analizar la sostenibilidad de la huella hídrica del Río Alao
- Formular estrategias para la gestión y política comunitaria en respuesta a la huella hídrica

1.3 Justificación

1.3.1 Justificación Teórica

En Ecuador las cuencas hidrográficas son destinadas hacia el consumo humano, agricultura, ganadería, sector industrial, recreacional y otras actividades sin que se ejerza alguna medida de control, por tal motivo se ha llegado a un consumo excesivo del agua por parte de la población, una sobreexplotación de los recursos naturales y contaminación de las principales fuentes hidrográficas. Es por esto que hoy en día se considera de suma importancia implementar medidas para recuperar y cuidar las mismas, poniendo la mira en proveer de agua a las futuras generaciones (6).

Los recursos hídricos son necesarios para el desarrollo de la vida, el buen funcionamiento de los ecosistemas y el crecimiento económico de las sociedades, ya que brindan servicios como el abastecimiento de agua potable y de riego, el mantenimiento de la productividad, la regulación del clima y las condiciones pluviométricas (3 pág. 9). Aunque el agua tiene varias ventajas, su conservación y gestión son muy limitadas a nivel mundial, como resultado este recurso está sujeto a la contaminación, el consumo excesivo, la cubierta vegetal cambiante y el crecimiento urbano acelerado. Por eso la implementación de la evaluación de la huella hídrica es importante, ya que nos permite entender el impacto de nuestras actividades y decisiones sobre el agua, una medida de la cantidad de agua utilizada directa e indirectamente para producir bienes y servicios y puede ayudarnos a identificar formas de conservar el agua y reducirla, también nos permite comprender la relación entre agua, alimentación y cambio climático (2 pág. 33). El agua es esencial para la producción de alimentos y la mayoría de las actividades humanas y su uso insostenible puede tener consecuencias graves para la seguridad alimentaria y la salud humana, la huella hídrica nos puede ayudar a tomar decisiones más acertadas sobre cómo producir y consumir alimentos sostenibles y comprender que la cantidad y calidad del agua utilizada para diferentes fines puede ayudar a proteger y conservar los recursos hídricos y garantizar su uso equitativo y sostenible (3 pág. 14).

CAPÍTULO II

2. MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes

La microcuenca Alao, ubicada en la Parroquia Pungalá Cantón Riobamba, cumplen varias funciones importantes, en tal virtud se señala que al río Alao siendo una de las principales centrales eléctricas que existen en el Cantón, el GAD Parroquial Rural de Pungalá (2019) señala que: “la población se encuentra pagando por la distribución y extracción del recurso, pero no está costeando por su conservación” (7).

La Huella Hídrica como concepto (en inglés Water Footprint) salió a la luz en 2002 por Arjen Hoekstra del Instituto de Educación del Agua de la UNESCO. En la actualidad está definida como: “volumen de agua dulce que puede ser utilizada para la producción de bienes y servicios a nivel individual, de comunidad o empresarial”. La Huella Hídrica puede medirse en el volumen de agua consumida, evaporada o contaminada, en unidad de tiempo o en unidad de masa además de ser un indicador sobre el uso que se da al agua, uso tanto directo como indirecto (8).

Entre los diversos estudios realizados sobre el tema a nivel mundial tenemos:

En el 2020 Melissa Andrea Hoyos Chaverra realizo el trabajo titulado “Evaluación De La Huella Hídrica De La Subcuenca Hidrográfica Del Río Frío En El Departamento De Cundinamarca Como Herramienta De Sostenibilidad Ambiental”, mediante esta investigación se buscó evaluar la Huella Hídrica del Río Frío de Colombia como mecanismo de sostenibilidad ambiental de pequeños cuerpos de agua llevando a cabo procesos donde se desarrolló en tres etapas: la primera consistió en la determinación del alcance del estudio, seguido de la cuantificación de las huellas hídricas contempladas en el alcance y por último la formulación de estrategias para la gestión de la huella hídrica, siguiendo la metodología expuesta por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y obteniendo como resultado que la subcuenca del río Frío presento buena sostenibilidad ambiental, puesto que un porcentaje importante del agua demandada tiende a regresar a la fuente, la investigación permitió establecer que no existe línea base o información actualizada para desarrollar estudios a cuerpos de agua pequeños en Colombia (9).

Entre algunos de los casos en los cuales se ha estudiado la huella hídrica podemos encontrar la Huella hídrica de la producción lechera en la cuenca ganadera Pomacochas, Perú; en la cual mediante la determinación de la cantidad de agua necesaria para producir 1L de Leche se demostró que es de suma importancia instaurar alternativas para el aprovechamiento y reutilización del recurso hídrico (10).

En el año 2022 Diana Fuerte realizo en la Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo la “Evaluación de la huella hídrica en la producción de aguacate y fresas en municipios de la Subcuenca de Cointzio”, en la cual se determinó la huella y el estrés hídrico aplicados a la agricultura intensiva empleando el modelo digital CROPWAT 8.0, se concluyó que estas actividades agrícolas explotan los recursos naturales y causa vulnerabilidad hídrica debido al desmedido consumo de agua (11).

En el año 2018 Karen Gonzales desarrollo en la Universidad Católica de Colombia la siguiente investigación: “Cuantificación De La Huella Hídrica De La Microcuenca Del Rio Sunuba En El Municipio De Guayatá Boyacá” esta investigación se realizó con el propósito de realizar la cuantificación de la huella hídrica con el fin de fortalecer el conocimiento sobre el adecuado uso del agua empleando la metodología propuesta por la FAO CROPWAT 8.0 (12).

Referente a los estudios encontrados en Ecuador sobre la huella hídrica son los siguientes:

En el Ecuador no existen estudios de la evaluación de la huella hídrica de la microcuenca del Río Alao, si bien el realizar estos estudios resultan ser de gran importancia y tener un gran interés ya que mediante esta podemos entender la cantidad y calidad del agua de dicho río.

En el año 2022 Juan Pablo Guamán en la Universidad Nacional Agraria La Molina realiz ó el estudio de la “Sostenibilidad Ambiental De La Huella Hídrica Azul Y Gris Directa Para La Ciudad De Loja, Ecuador”, este estudio se realiza en la ciudad de Loja debido a que esta es considerada como un referente en temas de cuidado ecológico a nivel de Ecuador, este estudio se centró en estimar la sostenibilidad ambiental de la Huella Hídrica Directa Azul y Gris para determinar, evaluar, analizar y aportar con soluciones con respecto al recurso hídrico, frente a los graves efectos de la densidad poblacional, contaminación del agua, calentamiento global y la distribución irregular del recurso agua (13).

En el año 2018 Aldair Fernández de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo realizó el proyecto de investigación “Evaluación de la Huella Hídrica del Banano en la Provincia de Los Ríos, 2018” este proyecto se centró en la problemática ambiental del recurso hídrico respecto al consumo excesivo y contaminación del agua generada por la industria bananera (14).

En el 2018 Jhenny Berrones y Jorge Moreta en la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo realizaron la “Evaluación De La Huella Hídrica De La Microcuenca Del Río Chimborazo En El Fortalecimiento De Su Gestión Y Política Comunitaria”, esta investigación aporta con la metodología idónea para cuantificar y analizar la huella hídrica de una microcuenca (15).

En 2021 Paulina Álvarez y Lisbeth Andrade de la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo realizaron la “Evaluación De La Huella Hídrica De La Microcuenca Del Río Cebadas En El Fortalecimiento De Su Gestión Y Política Comunitaria”, esta investigación fue direccionada a determinar la huella hídrica verde, azul y gris utilizando el programa CROPWAT 8.0, metodología la cual está estrechamente relacionada en el tema (16).

En el trabajo titulado “Evaluación de la huella hídrica azul de la ciudad de Riobamba, cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo, Ecuador” realizado por Cinthia Fernanda Cevallos Gaïbor en el año 2021 , tuvo por objetivo evaluar la huella hídrica azul de la ciudad de Riobamba durante el 2016, 2017, 2018 y 2019, considerando el enfoque de consumo del sector residencial, comercial, público e industrial de la ciudad, realizar el análisis de sostenibilidad ambiental de la huella hídrica azul y formular estrategias que permitieran orientar y fortalecer el empoderamiento de los distintos sectores de la sociedad referente al cuidado y uso responsable del agua (17).

2.2 Marco Conceptual

2.2.1 Cuenca hidrográfica

Una cuenca hidrográfica se define según Arévalo (2017) como una unidad territorial en la cual el agua que cae por precipitación se reúne y escurre hacia un punto común, bien sea un río, un lago o el mar, para un período de tiempo determinado (por ejemplo, un mes o un año) (18).

En las cuencas hidrográficas se pueden distinguir por lo general tres sectores característicos: Alto, Medio y Bajo, estos pueden influir en sus procesos hidrometeorológicos y en el uso de sus recursos en función a las características topográficas del medio (19).

2.2.1.1 Cuenca alta

"Corresponde generalmente a las áreas montañosas o cabeceras de los cerros, limitadas en su parte superior por las divisorias de agua" (4).

2.2.1.2 Cuenca media

Donde se juntan las aguas recogidas en las partes altas y en donde el río principal mantiene un cauce definido (4).

2.2.1.3 Cuenca baja o zonas transicionales

Donde el río desemboca a ríos mayores o a zonas bajas tales como estuarios y humedales (4).

2.2.2 Microcuenca como unidad hidrológica

Una microcuenca es el área natural receptora de montaña donde fluyen las primeras aguas hacia colectores comunes de orden mayor, está circunscrita a un territorio limitado por la división de sus aguas o por la divisoria presente en los cerros, laderas y valles y en ellas se dinamiza la actividad cotidiana de las comunidades campesinas e indígenas que mantienen permanente interacción e interdependencia económica, sociocultural y ambiental (20).

En adición a este concepto, las microcuencas constituyen el espacio práctico donde se ejecutan los proyectos y acciones y, con ellos se cristalizan las políticas, estrategias, programas diseñados en los niveles de cuencas y subcuencas respectivamente (20).

2.2.3 Principales microcuencas de la provincia de Chimborazo

Las microcuencas principales de la provincia de Chimborazo están constituidas por lo siguiente:

- Río Chimborazo correspondiente a la parroquia de San Juan cantón Riobamba (16).
- Río Blanco parroquias Quimiag del cantón Riobamba y la Candelaria del cantón Penipe (16)
- El Territorio hídrico de Cebadas que comprende cuatro microcuencas: Yasipán, Tingo, Ichubamba y Guarguallá, en el cantón Guamate de la provincia de Chimborazo (16)

2.2.4 Huella hídrica

La huella hídrica de una sola etapa del proceso es la base de todos los cálculos de la huella hídrica, es decir la huella hídrica de un producto final o intermedio que puede ser un bien o un servicio, la huella hídrica es la adición de las huellas hídricas distribuidas en las distintas etapas del proceso en la elaboración de ese producto (21).

2.2.4.1 Evaluación de la Huella Hídrica:

La Huella Hídrica constituye un indicador de la contaminación y consumo de agua dulce, esta contempla todas las dimensiones, tanto directas e indirectas. El concepto de huella hídrica se dio a conocer por primera vez en el año 2002 por el Dr. Arjen Hoekstra y desde entonces es difundido por la organización Water Footprint Network (WFN) (22).

2.2.4.2 Huella hídrica de un consumidor:

La huella hídrica de un consumidor individual es la función que resulta de las huellas hídricas de los productos consumidos por este (21).

2.2.4.3 Huella hídrica de una comunidad:

La huella hídrica de una comunidad de consumidores equivale a la suma de las huellas hídricas individuales de los miembros de dicha comunidad, (por ejemplo, los habitantes de un municipio, provincia, estado o nación) (21).

2.2.4.4 Huella hídrica de un producto o servicio:

La huella hídrica de un productor o de cualquier empresa de cualquier tipo equivale a la suma de las huellas hídricas de los productos ofrecidos por dicho productor o empresa (21).

2.2.4.5 Huella hídrica de un área geográfica:

La huella hídrica dentro de un área geográficamente delimitada (ya sea una provincia, una nación, una zona de captación o una cuenca hidrográfica) equivale a la suma de las huellas hídricas de todos los procesos que tienen lugar en dicho emplazamiento (21).

2.2.4.6 Huella hídrica total:

La huella hídrica total de la humanidad equivale a la suma de las huellas hídricas de todos los consumidores del mundo lo que, a su vez, equivale a la suma de las huellas hídricas de todos los bienes y servicios de consumo final consumidos de forma anual y a la suma de todos los procesos de consumo y contaminación del agua a nivel mundial (21).

2.2.5 **Huella hídrica Azul**

La huella hídrica azul es un indicador del uso consuntivo de la denominada “agua azul”, es decir, del agua dulce superficial o subterránea. La expresión “uso consuntivo del agua” se refiere a uno de los cuatro casos siguientes (21):

- El agua se evapora.
- El agua se incorpora al producto.
- El agua no regresara a la misma zona, por el contrario regresara a otra zona de captación
- El agua no regresa en el mismo período de tiempo, esta se extrae en un período seco y vuelve en un período húmedo.

2.2.6 **Huella hídrica verde**

La huella hídrica verde hace referencia a las precipitaciones terrestres que no se transforman en escorrentía ni en aguas subterráneas, sino que estas se almacenan en el suelo o pueden quedarse de forma temporal en el suelo o en la vegetación, con el tiempo, esta parte de la precipitación se evaporara o se puede transpirar a través de las plantas. El agua verde puede ser beneficiosa para el crecimiento de los cultivos sin embargo, no toda esta agua puede ser asimilada por ellos, puesto

que siempre estará presente la evaporación del suelo y también porque no todos los períodos del año o zonas son adecuados para el crecimiento del cultivo) (21).

2.2.7 Huella hídrica Gris

La huella hídrica gris de una etapa del proceso es un indicador del grado de contaminación de agua dulce que puede asociarse con la etapa del proceso, esta se puede definir como el volumen de agua dulce que es necesario para asimilar la carga contaminante que está basada en las concentraciones y en las normas o legislación de calidad ambiental del agua existentes. El término de huella hídrica gris se dio a conocer debido a la necesidad del reconocimiento de que la magnitud de contaminación del agua puede expresarse en términos de volumen de agua necesario para diluir los contaminantes de forma que se vuelvan inocuos (21).

2.2.8 Instituciones de Regulación

2.2.8.1 Subsecretaría de Calidad Ambiental:

Es una entidad que busca mejorar la condición de vida de las personas, controlando los procesos naturales de los sistemas biológicos asegurando la prevención y control sin permitir la fragmentación de ecosistemas a través de la aplicación de herramientas de gestión ambiental (23).

2.2.8.2 Agencia de regulación y control de agua:

Es la entidad que tiene como objetivo la gestión integral del recurso hídrico, la calidad desde la fuente hasta su zona de descarga además también la entidad busca garantizar la calidad del servicio y su útil aprovechamiento. (24)

2.2.8.3 Empresa pública del agua:

Tiene el propósito de controlar y manejar todos los proyectos relacionados con planes de infraestructura hídrica con competencia del Gobierno Nacional (25).

2.2.8.4 Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE)

El Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica (MAATE), es la autoridad que dirige el funcionamiento de la política ambiental y actúa como Autoridad Única del Agua, su gestión se basa en la solidaridad, corresponsabilidad, y cooperación entre todos los habitantes del Ecuador, está dirigida a garantizar el desarrollo sostenible y sustentable de los recursos ambientales e hídricos, en equilibrio y armonía entre lo social, económico y ambiental (26).

2.2.8.5 Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

Es el Servicio Meteorológico e Hidrológico Nacional del Ecuador fue creado por Ley, como una necesidad y también un derecho fundamental de la comunidad, con capacidad y la obligación de brindar información acerca del tiempo, clima y recursos hídricos del pasado, presente y futuro, que la población necesita conocer para la protección de la vida y de los bienes materiales (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología). Este es un organismo técnico que en el contexto nacional está adscrito a la secretaria de Gestión de Riesgos; con personal técnico y profesional especializado en Meteorología e Hidrología, que contribuye al desarrollo económico y social del país (6).

2.2.9 Mecanismos de evaluación de la huella hídrica en una cuenca

La cuantificación de la huella hídrica consta de las siguientes etapas: la recolección de los datos y la cuantificación de la huella en sí, la metodología por utilizar para la cuantificación es indispensable tomar en cuenta ya que será eje primordial para determinar cada una de las huellas en los sectores (27). Una de las primeras medidas para la determinación de la huella hídrica es la interpretación clara

de los objetivos a lograr, el alcance de aplicación como ubicación geográfica, etapas y procesos, tipos de productos, cadenas de suministro incluidas y sus límites de estudio (28).

El siguiente paso es el análisis de la sostenibilidad de la huella en cada una de sus etapas relacionado dentro de un contexto ambiental, económico y social esta cuantificación viene de la mano con las características geográficas y datos del estudio para su posible determinación (4). Finalmente se establece estrategias de respuesta en favor a la comunidad que son orientadas a propuestas de política pública esperando convertirse en una herramienta favorable de gestión en el área ambiental optimizando la concientización del ambiente como base de inclusión multisectorial dentro de las acciones de la política de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) en cuencas relacionadas al estudio realizado (4).

2.2.10 Normativas y mecanismos aplicables a nivel internacional y regional respecto a la evaluación de la huella hídrica

2.2.10.1 Norma ISO 14046

Esta Norma Internacional especifica los principios, los requisitos y las directrices en relación con la evaluación de la huella hídrica de actividades productivas basada en el análisis del ciclo de vida (ACV) (29).

La ISO 14046 es de suma importancia, ya que proporciona de manera eficaz los mecanismos para realizar una evaluación ambiental más integral en conjunto con el análisis de la huella hídrica, siendo un análisis individual de los resultados del indicador o del impacto (29).

La norma ratifica el compromiso con el cambio y la gestión del agua puesto que es considerada como un recurso esencial para el desarrollo de la vida, es así, que la norma ISO proporciona información con sustento científico obteniendo resultados fiables en torno a la Huella Hídrica (29).

2.3 Marco Legal

2.3.1 Política pública para la gestión de recursos hídricos en el Ecuador

2.3.1.1 Constitución De La República Del Ecuador

Art. 12.- El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida (30).

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, “Sumak Kawsay”. **Art. 15.-** El estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua (30).

Título V, Organización Territorial del Estado

Art.263.- Los gobiernos provinciales tendrán las siguientes competencias exclusivas, sin perjuicio de las otras que determine la Ley:

- Ejecutar, en coordinación con el gobierno regional, obras en cuencas y microcuencas (30).
- Fomentar las actividades productivas provinciales (30).

Art.264.- Los gobiernos municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley:

- Ejercer el control sobre el uso y ocupación del suelo en el cantón (30)
- Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley (30)
- Regular, autorizar y controlar la explotación de materiales áridos y pétreos que se encuentren en los lechos de los ríos, lagos, playas de mar y canteras (30)

Art. 282.- El Estado normará el uso y acceso a la tierra que deberá cumplir la función social y ambiental. Un fondo nacional de tierra, establecido por ley, regulará el acceso equitativo de campesinos a la tierra (30):

- Se prohíbe el latifundio y la concentración de la tierra, así como el acaparamiento o privatización del agua y sus fuentes (30).
- El Estado regulará el uso y manejo del agua de riego para la producción de alimentos, bajo los principios de equidad, eficiencia y sostenibilidad ambiental

Art. 314.- El Estado será responsable de la provisión de los servicios públicos de agua potable y de riego, saneamiento, energía eléctrica, telecomunicaciones, vialidad, infraestructuras portuarias y aeroportuarias, y los demás que determine la ley (30):

- El Estado garantizará que los servicios públicos y su provisión respondan a los principios de obligatoriedad, generalidad, uniformidad, eficiencia, responsabilidad, universalidad, accesibilidad, regularidad, continuidad y calidad (30).
- El Estado dispondrá que los precios y tarifas de los servicios públicos sean equitativos, y establecerá su control y regulación (30).

Art. 318.- El agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable e imprescriptible del Estado, y constituye un elemento vital para la naturaleza y para la existencia de los seres humanos (30).

- Se prohíbe toda forma de privatización del (30).

- La gestión del agua será exclusivamente pública o comunitaria. (30).
- El servicio público de saneamiento, el abastecimiento de agua potable y el riego serán prestados únicamente por personas jurídicas estatales o comunitarias (30).
- El Estado fortalecerá la gestión y funcionamiento de las iniciativas comunitarias en torno a la gestión del agua y la prestación de los servicios públicos, mediante el incentivo de alianzas entre lo público y comunitario para la prestación de servicios (30).
- El Estado, a través de la autoridad única del agua, será el responsable directo de la planificación y gestión de los recursos hídricos que se destinarán a consumo humano, riego que garantice la soberanía alimentaria, caudal ecológico y actividades productivas, en este orden de prelación (30).

Art. 411.- El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua (30).

2.3.1.2 Código Orgánico De Organización Territorial, Autonomía Y Descentralización (COOTAD)

Art. 99.- Competencias. - Las circunscripciones territoriales de las nacionalidades y pueblos indígenas, afroecuatorianos y montubios ejercerán las competencias del gobierno territorial autónomo correspondiente a fin de garantizar la aplicación de los derechos colectivos señalados en la Constitución; y, se regirán por el principio del Sumak Kawsay o buen vivir (31).

En el caso en que asuman las competencias de las juntas parroquiales, de los municipios o de los consejos provinciales, estos niveles de gobierno dejarán de existir en la circunscripción correspondiente (31).

Art. 132.- Ejercicio de la competencia de gestión de cuencas hidrográficas. - La gestión del ordenamiento de cuencas hidrográficas que de acuerdo con la Constitución corresponde a los gobiernos autónomos descentralizados regionales, comprende la ejecución de políticas, normativa, la planificación hídrica con participación de la ciudadanía, especialmente de las juntas de agua potable y de regantes, así como la ejecución subsidiaria y recurrente con los otros gobiernos autónomos descentralizados, de programas y proyectos, en coordinación con la autoridad única del agua en su circunscripción territorial, de conformidad con la planificación, regulaciones técnicas y control que esta autoridad establezca (31).

Capítulo IV

Parroquias Rurales

Art. 24.- Parroquias rurales. - Las parroquias rurales constituyen circunscripciones territoriales integradas a un cantón a través de ordenanza expedida por el respectivo concejo municipal o metropolitano (31).

Art. 137.- Ejercicio de las competencias de prestación de servicios públicos. - Las competencias de prestación de servicios públicos de agua potable, en todas sus fases, las ejecutarán los gobiernos autónomos descentralizados municipales con sus respectivas normativas y dando cumplimiento a las regulaciones y políticas nacionales establecidas por las autoridades correspondientes (31). Los servicios que se presten en las parroquias rurales se deberán coordinar con los gobiernos autónomos descentralizados de estas jurisdicciones territoriales y las organizaciones comunitarias del agua existentes en el cantón. Los gobiernos autónomos descentralizados municipales planificarán y operarán la gestión integral del servicio público de agua potable en sus respectivos territorios, y coordinarán con los gobiernos autónomos descentralizados regional y provincial el mantenimiento de las cuencas hidrográficas que proveen el agua para consumo humano. Además, podrán establecer convenios de mancomunidad con las autoridades de otros cantones y provincias en cuyos territorios se encuentren las cuencas hidrográficas que proveen el líquido vital para consumo de su población (31). Los servicios públicos de saneamiento y abastecimiento de agua potable serán prestados en la forma prevista en la Constitución y la ley. Se fortalecerá la gestión y funcionamiento de las iniciativas comunitarias en torno a la gestión del agua y la prestación de los servicios públicos, mediante el incentivo de alianzas entre lo público y lo comunitario (31).

Las competencias de prestación de servicios públicos de alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, y actividades de saneamiento ambiental, en todas sus fases, las ejecutarán los gobiernos autónomos descentralizados municipales con sus respectivas normativas. Cuando estos servicios se presten en las parroquias rurales se deberá coordinar con los gobiernos autónomos descentralizados parroquiales rurales (31).

2.3.1.3 Ley Orgánica De Recursos Hídricos, Usos Y Aprovechamiento Del Agua

Título I

DISPOSICIONES PRELIMINARES

Artículo 8.- Gestión integrada de los recursos hídricos. La Autoridad Única del Agua es responsable de la gestión integrada e integral de los recursos hídricos con un enfoque ecosistémico y por cuenca o sistemas de cuencas hidrográficas, la misma que se coordinará con los diferentes niveles de gobierno según sus ámbitos de competencia. Cuando los límites de las aguas subterráneas no coinciden con la línea divisoria de aguas superficiales, dicha delimitación incluirá la proyección de las aguas de recarga subterráneas que fluyen hacia la cuenca delimitada superficialmente (24).

Título II

RECURSOS HÍDRICOS

Artículo 12.- Protección, recuperación y conservación de fuentes. El Estado, los sistemas comunitarios, juntas de agua potable y juntas de riego, los consumidores y usuarios, son corresponsables en la protección, recuperación y conservación de las fuentes de agua y del manejo de páramos, así como la participación en el uso y administración de las fuentes de aguas que se hallen en sus tierras, sin perjuicio de las competencias generales de la Autoridad Única del Agua de acuerdo con lo previsto en la Constitución y en esta ley (24).

Art.13.- Formas de conservación y protección de fuentes de agua. Constituyen formas de conservación y protección de fuentes de agua: las servidumbres de uso público, zonas de protección hídrica y las zonas de restricción (24).

Art. 28.- Planificación de los Recursos Hídricos. Corresponde a la Autoridad Única del Agua la ejecución de la planificación hídrica, sobre la base del Plan Nacional de Recursos Hídricos y Planes de Gestión Integral de Recursos Hídricos por cuenca hidrográfica. El Estado y los Gobiernos Autónomos Descentralizados deberán sujetarse a la planificación hídrica en lo que respecta al ejercicio de sus competencias. Igualmente, los planes de gestión integral de recursos hídricos por cuenca vincularán a las entidades dedicadas a la prestación de servicios comunitarios relacionados con el agua (24).

Artículo 34.- Gestión integrada e integral de los recursos hídricos. La Autoridad Única del Agua es responsable de la gestión integrada e integral de los recursos hídricos con un enfoque

ecosistémico y por cuenca o sistemas de cuencas hidrográficas, la misma que se coordinará con los diferentes niveles de gobierno según sus ámbitos de competencia (24).

Título III

DERECHOS, GARANTÍAS Y OBLIGACIONES

Artículo 59.- Cantidad vital y tarifa mínima. La Autoridad Única del Agua establecerá de conformidad con las normas y directrices nacionales e internacionales, la cantidad vital de agua por persona, para satisfacer sus necesidades básicas y de uso doméstico, cuyo acceso configura el contenido esencial del derecho humano al agua. (Asamblea Nacional, 2015).

Artículo 60.- Libre acceso y uso del agua. El derecho humano al agua implica el libre acceso y usar agua superficial o subterránea para consumo humano, siempre que no se desvíen de su cauce ni se descarguen vertidos ni se altere en su calidad o disminuya significativamente ni se afecte a derechos de terceros y de conformidad con los límites y parámetros establecidos por la Autoridad Ambiental Nacional y la Autoridad Única del Agua (24).

Artículo 74.- Conservación de las prácticas de manejo del agua. Se garantiza la aplicación de las formas tradicionales de gestión y manejo del ciclo hidrológico, practicado por comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades indígenas, afroecuatorianas y montubio y se respetan sus propias formas, usos y costumbres para el reparto interno y distribución de caudales autorizados sobre el agua (24).

Título IV

APROVECHAMIENTO DEL AGUA

Artículo 140.- Tarifa por suministro de agua cruda para consumo humano y doméstico. La entrega de la cantidad mínima vital de agua cruda establecida por la Autoridad Única del Agua para la provisión de servicios de agua potable no estará sujeta a tarifa alguna. Cuando el volumen que se entregue a los prestadores del servicio exceda de la cantidad mínima vital determinada, se aplicará la tarifa que corresponda, conforme con lo estipulado en esta Ley y su Reglamento (24).

2.3.1.4 Código Orgánico Del Ambiente (COA)

Art. 30.- Objetivos del Estado. Los objetivos del Estado relativos a la biodiversidad son: Adoptar un enfoque integral y sistémico que considere los aspectos sociales, económicos, y ambientales para la conservación y el uso sostenible de cuencas hidrográficas y de recursos hídricos, en coordinación con la Autoridad Única del Agua Incorporar criterios de sostenibilidad del patrimonio natural en la planificación y ejecución de los planes de ordenamiento territorial, en los planes de uso del suelo y en los modelos de desarrollo, en todos los niveles de gobierno (32).

CAPITULO IV

GESTIÓN SOSTENIBLE DE PAISAJES NATURALES Y SEMINATURALES

Art. 62.- Gestión sostenible de paisajes naturales y seminaturales. La gestión sostenible de paisajes naturales y seminaturales procurará la consolidación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas, el Patrimonio Forestal Nacional y las áreas especiales para la conservación de la biodiversidad, bajo criterios de representatividad ecosistémica, bioseguridad, conectividad biológica e integridad de paisajes terrestres, marinos y marino-costeros (32).

CAPITULO VI

RESTAURACION ECOLOGICA, PLANTACIONES FORESTALES Y SISTEMAS AGROFORESTALES

Art. 122.- Prohibiciones para el establecimiento de plantaciones forestales. En ningún caso las plantaciones forestales con fines de conservación y producción afectarán o reemplazarán las áreas cubiertas con bosques naturales, vegetación nativa y arbustiva, ecosistemas frágiles, servidumbres ecológicas o zonas de protección permanente de agua, áreas bajo un esquema de incentivos para la conservación y áreas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (32).

CAPITULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

El presente trabajo es de tipo descriptivo y fue desarrollado con el propósito de cuantificar y comprender el alcance de la huella hídrica de la microcuenca del río Alao, esto se realizó en época de sequía y con base en los sectores presentes en el área de estudio entre los cuales cabe mencionar el sector agrícola, doméstico y pecuario.

Sustentándose en la que se encuentra bajo una Licencia Creative Commons se estimó la huella hídrica tomando en cuenta las 4 fases descritas en la guía y además se desarrolló el procedimiento más adecuado para el cálculo de las tres huellas hídricas respectivamente, basándose en las actividades que se desarrollan en dicho lugar (4).

Esto fue complementado mediante la utilización de los programas de ArcGis que será útil para la delimitación de la zona y el software Cropwat 8.0

3.1 Área de estudio

3.1.1 Localización

El presente trabajo se realizó en el río Alao, en la parroquia Pungalá perteneciente al cantón Riobamba, provincia de Chimborazo.

3.1.2 Ubicación geográfica

La microcuenca del río Alao (M.R.A) se encuentra al Nor-Oeste de la provincia de Chimborazo, en la parroquia Pungalá del cantón Riobamba, la cual pertenece a la subcuenca del río Chambo y cuenca del Pastaza con una extensión total de 186,61 km², además las dos microcuencas se encuentran colindantes con la provincia de Morona Santiago, por lo que existen con mayor frecuencia los fenómenos hidrológicos (eventos de precipitación) y se mantenga con características de paramo que es la predomina en la zona (33)

La parroquia Pungalá se encuentra ubicada en el extremo sureste del cantón Riobamba, Provincia Chimborazo, con una extensión de 28.133,06 hectáreas de superficie que representa el 28,2% del territorio cantonal, además de los datos adicionales mostrados en la tabla 3-1. La microcuenca del río Alao se encuentra en la zona 17 América del sur además de estar delimitada en UTM (1).

Tabla 3-1: Ubicación geográfica del Rio Alao

UBICACIÓN GEOGRÁFICA	UTM
Longitud	778546.41
Latitud	9796687.44
Altitud (msnm)	2720-4200

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

En la figura 3-1 se indicó el mapa de ubicación de la microcuenca del rio Alao, esto a su vez fue realizado con el software ArcGis.

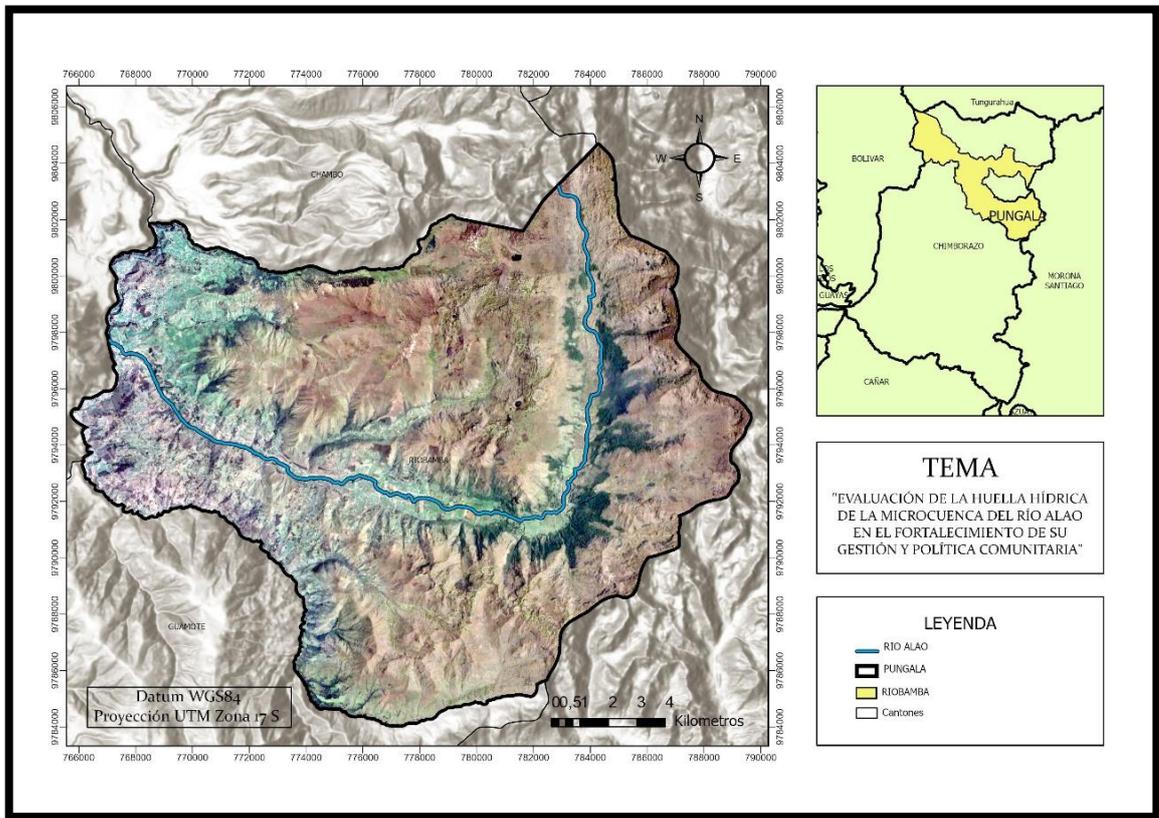


Figura 3-1: Mapa de Ubicación de la microcuenca

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

La microcuenca del río Alao se encuentra ubicada en la parroquia Pungalá, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo. Originalmente, las tierras de la zona alta de la microcuenca pertenecían a las haciendas Alao Maguazo. Actualmente la mayor parte son propiedad de las comunidades de San Antonio de Alao, Alao Llactapamba, Shullidís, Pelteteg y Melán. Su topografía es irregular,

con variaciones climáticas y edáficas (34). En las partes media y baja están asentadas las comunidades de: Playas Manglul, Puninguaico, Pungalapamba, Purguaypamba, Chuzga, Quishcahuan, Agua Santa, Purguay, San Gerardo, Purguay Llactapamba, Anguiñay, Calquis, Rayoloma, y la cabecera parroquial de Pungalá. La población de la microcuenca es de 6 960 habitantes distribuidos en 995 familias (35).

3.1.3 Características climáticas

En la parroquia Pungalá el 90% de su extensión tiene el clima Ecuatorial Frío de Alta montaña y el 10% Ecuatorial Frío Semihúmedo, comprende temperaturas que oscilan entre los 6 y 18 °C, con una media de 12 °C, lo que permite la existencia de climas templados en las partes bajas y fríos en las zonas altas, las precipitaciones anuales fluctúan desde 500 hasta 1000 mm de lluvia; los meses más secos son Julio y agosto (1).

3.1.4 Rango altitudinal

El rango altitudinal de Pungalá va desde 2680 a 4440 m.s.n.m.

3.1.5 Límites de Pungalá

- Norte: con el Cantón Chambo
- Sur: con el Cantón Guamote, parroquia Cebadas
- Este: con la provincia de Morona Santiago
- Oeste: con la parroquia Licto.

3.2 Definición del Alcance de la Huella Hídrica

3.2.1 Selección de la muestra

Al momento que se seleccionó la muestra se debió definir el marco muestral, que es la lista completa de todas las unidades o elementos que pertenecen a la población de interés, a partir de este marco se pudo seleccionar una muestra adecuada y representativa que contemple la variabilidad de la población, además se seleccionó una técnica de muestreo adecuada que fue en base al objetivo de la investigación y las características de la población, finalmente se definió el

tamaño de la muestra, del nivel de confianza deseado, la probabilidad y error. Se aplicará la siguiente fórmula de poblaciones finitas para saber el tamaño de la muestra:

Ecuación 3-1: Selección de la muestra

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

Fuente: (36)

Donde:

- N=Total de la población
- $Z_{\alpha}=1,96$ al cuadrado (si la seguridad es del 95%)
- p= proporción esperada (en este caso 5%=0,05)
- q=1-p (en este caso 1-0,05=0,95)
- d= precisión (5%)

3.2.2 Levantamiento de información base

El levantamiento de información base para el desarrollo de este trabajo de integración curricular considero dos etapas, la primera corresponde a la recaudación de información de fuentes primarias como las visitas de campo directamente en la microcuenca del río Alao, las cuales se llevarán a cabo en conjunto con las autoridades pertinentes de la parroquia Pungalá, con la intención de tener una relación directa con los habitantes de los alrededores para poder ser partícipes de las actividades antropogénicas que se realizan en el lugar mediante el levantamiento de encuestas.

Cabe recalcar que el levantamiento de información solo se realizó en el sector de Alao, donde dentro de dicho sector encontramos a las siguientes comunidades: San Antonio de Alao, Melán, Peltete, Pucará, Lactapamba de Alao, Shullidis, Asociación Alao Maguazo y Asociación Salpi; debido a que en estos sectores se considero más actividad antropogénica influyente a la microcuenca.

La segunda etapa que se llevó a cabo fue la recopilación de información de fuentes secundarias, es decir de fuentes documentadas como la Guía metodológica para la evaluación de la huella hídrica en una cuenca hidrográfica por IICA, 2017 (4); Plan de desarrollo y ordenamiento territorial (2019-2023) (1) PDTO Pungalá; Valoración económica y ambiental de la microcuenca del río Alao de la parroquia Pungalá, cantón Riobamba (33) y la tesis “Determinación de parámetros hidráulicos en las microcuencas de Alao y Cebadas de la provincia de Chimborazo (2023)” (37).

Selección de los puntos de monitoreo

Para seleccionar e identificar los puntos de monitoreo y reconocimiento se consideró la variabilidad de la población y accesibilidad para seleccionar un número suficiente de puntos de muestreo para garantizar una muestra representativa; la ubicación dependió del objetivo de la investigación, del tipo de muestra requerida y de los parámetros a medir o evaluar.

Cabe recordar que las fuentes de información primarias pueden ser valiosas para seleccionar los puntos correctos de monitoreo y muestreo, ya que ofrecen información original y precisa para la selección.

3.2.2.1 Puntos de muestreo

Previo a un análisis y visitas del lugar de estudios se procedió a determinar los puntos de muestreos más adecuados llegándose a tener así los siguientes (tabla 3-2).

Tabla 3-2: Ubicación de los puntos de monitoreo

UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MONITOREO	
PUNTO	LUGAR
1	Curso Alto
2	Curso Medio
3	Sector poblado Alao
4	Central Hidroeléctrica “Alao”
5	Desembocadura

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

Luego de haber realizado un reconocimiento de la zona de estudio de la microcuenca del río Alao, iniciando desde la parte alta y recorriendo hasta el punto donde se encuentra la desembocadura de este, se procedió a seleccionar los 5 puntos de interés para el muestreo teniendo en cuenta su accesibilidad, los cuales se encuentran ubicados entre las zonas altas, medias y bajas del río. Para la obtención de las coordenadas de los puntos de muestreo en nuestra tesis nos ayudamos de un GPS además de herramientas como Google Earth y ArcGIS los cuales nos permitieron seleccionar de manera oportuna cuales serían las ubicaciones más adecuadas considerando su accesibilidad.

En la figura 3-2 se puede apreciar los puntos ubicados en el río Alao, donde fueron tomadas las muestras, esto a su vez fue realizado con la ayuda del software ArcGis.

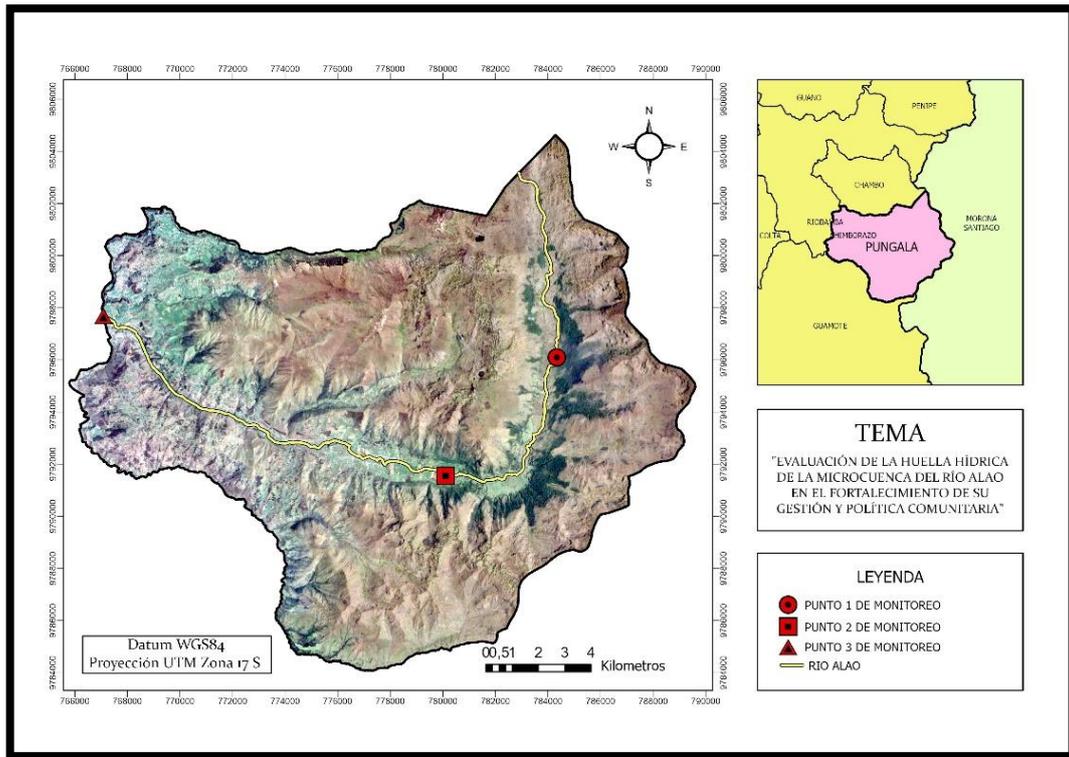


Figura 3-2: Ubicación de los puntos principales de muestreo

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

Bajo el software ArcGis se pudo obtener las siguientes coordenadas de cada uno de los puntos escogidos:

3.2.2.2 Curso alto

Tabla 4-3: Coordenadas del punto alto

CURSO ALTO		
COORDENADAS	780866,4	9803830,4
ALTITUD	4252 msnm	

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

3.2.2.3 Curso medio

Tabla 4-4: Coordenadas del punto medio

CURSO MEDIO		
COORDENADAS	780108,8	9791528,1

ALTITUD	3199 msnm
---------	-----------

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

3.2.2.4 Sector poblado

Tabla 4-5:Coordenadas del sector poblado

SECTOR POBLADO		
COORDENADAS	776690,8	9792329,3
ALTITUD	3144 msnm	

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

3.2.2.5 Central hidroeléctrica

Tabla 4-6: Coordenadas de la central hidroeléctrica

CENTRAL HIDROELECTRICA		
COORDENADAS	767311,3	9799585,8
ALTITUD	2735 msnm	

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

3.2.2.6 Desembocadura

Tabla 4-7: Coordenadas del punto de desembocadura

DESEMBOCADURA		
COORDENADAS	767136,2	9797408,8
ALTITUD	2763 msnm	

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

3.2.3 Muestreos de Agua

3.2.3.1 Parámetros insitu

- **Espuma:**

Es un conjunto de burbujas gaseosas separadas por una laminilla delgada de líquido. Son producidas por contaminación por detergentes u otros vertidos de actividades humanas y su olor es perfumado o jabonoso, o bien de aguas fecales. Estas espumas de origen antrópico se forman cerca o en torno al lugar donde se ha originado un posible vertido o foco de contaminación (38).

- **Material flotante:**

Cualquier objeto visible, sin importar su composición o forma, que se mantenga flotando libremente en la superficie del agua y que se pueda retener en una malla de 3 mm. Son originados por fuentes antrópicas porque va apareciendo a medida que el ser humano comienza a interactuar con el medio ambiente y surge con la inadecuada aglomeración de las poblaciones, y como consecuencia del aumento desmesurado y sin control alguno, de industrias, desarrollo y progreso (39).

3.2.3.2 Parámetros fisicoquímicos

Los parámetros fisicoquímicos que se evaluaron en las muestras de agua fueron útiles para la determinación de la composición del agua de la microcuenca del río Alao, además de la cantidad de la carga de contaminantes que se encuentra en ella como consecuencia de las actividades antropogénicas de la zona, estos parámetros mostrados en la tabla 3-3 se realizó para el punto 3 debido a que en este punto es donde existe más actividad antropogénica, sin embargo, se hizo un análisis básico para los puntos restantes.

Tabla 3-8: Parámetros fisicoquímicos

PARÁMETROS FISCOQUÍMICOS	UNIDAD	TIPO DE ANÁLISIS
Nitratos	mg/l	Laboratorio
pH	-	Laboratorio
Temperatura	°C	In situ
Conductividad		Laboratorio
Fosfatos	mg/l	Laboratorio
DBO5	mg O2/l	Laboratorio
Nitrato-N	mg/l	Laboratorio
Turbidez	NTU	Laboratorio

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

3.2.3.3 Medición del caudal

La medición del caudal se llevó cabo por la estimación del caudal por el método de flotadores, este método de aforo por flotadores es un método de campo, sencillo y rápido para estimar el caudal de agua que pasa en una sección transversal del río. Con este método se calcula las

velocidades superficiales de la corriente de un canal o río, utilizando materiales sencillos (flotadores) que se puedan visualizar y cuya recuperación no sea necesaria (40).

Procedimiento:

- a) Selección del tramo recto
- b) Obtención del caudal en metros cúbicos por segundo: Q (m³ /s)

- **Cálculo del tiempo promedio en segundos (tp)**

El tiempo promedio es igual, a la suma del tiempo que se demora cada flotador, y se divide entre el número de los flotadores. (40)

Ecuación 3-2: Tiempo promedio

$$tp = \frac{t1 + t2 + t3 + t4 \dots + tn}{n}$$

Fuente: (40)

Donde:

- tp: Tiempo promedio
- t1,t2...tn: Tiempo que se demora cada flotador

- **Cálculo de la velocidad en metros sobre segundo: V (m/s)**

Ecuación 3-3: Velocidad

$$V = \frac{d}{t}$$

Fuente: (40)

Donde:

V: velocidad es expresada en metros sobre segundos (m/s).

d: distancia recorrida del flotador desde A hasta B, está expresado en metros (m).

tp: es el tiempo promedio que recorre los flotadores desde A hasta B, está expresado en segundos (s)

- **Cálculo de la velocidad media en la vertical: (Vm)**

Este valor es la velocidad corregida del flujo de agua en cada sección y es igual a la velocidad del flotador o superficial (Vs) multiplicada por un coeficiente que

existe entre la velocidad media de la sección y la superficial, para los diferentes tipos de cauces. (40).

Según los hidrólogos esta velocidad media suele variar entre 0'75 y 0'90 veces la velocidad en la superficie según se trate de cauces naturales pequeños o grandes, respectivamente. (40).

- **Cálculo del área de la sección, expresado en metros cuadrados: A (m²)**

Ecuación 3-4: Área de la sección

$$A = hp * a$$

Fuente: (40)

Donde:

A: área de la sección, expresada en metros cuadrados (m²).

hp: profundidad promedio (m).

a: ancho del río, expresado en metros (m)

Ancho del río: (a) se mide con una cinta métrica

- **Cálculo de la profundidad media: (hp)**

Dividir como mínimo el río en 3 partes, sondear el ancho del río para medir las diferentes profundidades y se obtiene el promedio (40).

Ecuación 3.5: Profundidad media

$$hp = \frac{h1 + h2 + h3}{3}$$

Fuente: (40)

- **Cálculo del caudal: (Q) (m³ /s)**

Ecuación 3-6: Caudal

$$Q = A x Vm$$

Fuente: (40)

Donde:

Q: caudal de agua, expresada en metros cúbicos sobre segundos (m³ /s).

A: área de la sección, expresada en metros cuadrados (m²)

Vm: velocidad media del agua, expresado en metros sobre segundos (m/s).

3.2.4 Requerimiento del Software CROPWAT AT 8.0

En este trabajo se aplicó el software CRPWAT AR 8.0, el cual fue de gran ayuda e importancia al momento de cuantificar la huella hídrica de la microcuenca del río Alao, en otras palabras, este programa permitió ingresar datos meteorológicos, los cultivos representativos del sector, datos de los suelos, y para finalmente tener un análisis de la cantidad de agua evapotranspirada requerida por un cultivo mediante las necesidades hídricas y de riego (41).

- **Datos climáticos de microcuenca Alao**

Para la obtención de los datos climatológicos del área de estudio se utilizaron los datos que proporciona el software ClimWat que es un programa que proporciona una base de datos climáticos que se utiliza en combinación con el programa para diversos cultivos para una variedad de estaciones climatológicas en todo el mundo (42).

Tabla 3-9: Parámetros climáticos de la microcuenca Alao

DATOS CLIMATICOS	UNIDADES
Temperatura	°C
Humedad	%
Viento	Km/día
Radiación	Horas
Precipitación	mm

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

- **Suelo**

Para la recaudación de la información, cuyos datos obtenidos fueron requeridos para la aplicación del software CropWat se realizó mediante una revisión bibliográfica.

Además, para la determinación de la humedad y textura del suelo de la microcuenca del río Alao del punto 3 correspondiente a la zona con más actividad antropogénica se trabajó con los datos obtenidos del software Soil Water.

- **Cultivo**

El cultivo con mayor incidencia es la papa, luego el maíz, los dos forman parte de los alimentos básicos de la familia, el excedente de la producción se la destina al mercado, donde la papa mantiene un precio inestable tendiendo constantemente a la baja, mientras que el maíz tiene un precio bajo (1).

3.3 Cuantificación de la Huella Hídrica de la Microcuenca del Río Alao

3.3.1 Huella Hídrica Verde

La determinación de la huella hídrica verde nos permitió conocer cuál es el manejo que se le da al recurso hídrico Alao, es decir mediante la determinación de esta podremos identificar el volumen de agua presente en el suelo en épocas de sequía.

3.3.1.1 Huella Hídrica Verde Agrícola

La huella hídrica verde indica el uso de los humanos de la llamada agua verde, que se refiere a las precipitaciones terrestres que no se transforman en escorrentía ni en aguas subterráneas, sino que se almacenan en el suelo o se quedan temporalmente en la superficie del suelo o de la vegetación, con el tiempo, esta parte de la precipitación se evapora o transpira a través de las plantas. El agua verde puede ser productiva para el crecimiento de los cultivos, aunque no toda el agua verde puede ser asimilada por ellos porque siempre habrá evaporación del suelo y porque no todos los períodos del año o zonas son adecuados para el cultivo (43).

Mediante la aplicación de la siguiente ecuación se podrá determinar:

Ecuación 3-7: Evapotranspiración Verde

$$Evap_{verde} = \min (Req_{HidrC}, Pre_{Efec})$$

Fuente: (4)

Donde:

- *Evapverde*: Evapotranspiración del componente verde
- *min*: mínimo
- *ReqHidrC*: Requerimiento hídrico del cultivo
- *PreEfec*: Precipitación efectiva

Entonces, para la determinación de la huella hídrica verde del sector agrícola se calculó mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 3-8: HHV Agrícola

$$HH_{VERDESA} = \frac{H_2O Util_{cult v}}{RendC}$$

Fuente: (27)

Donde:

- $HH_{VERDESA}$ = Huella Hídrica verde del sector agrícola (m³/t)
- $H_2O Util_{cult v}$ = agua utilizada por el cultivo (m³/año)
- RendC = rendimiento del cultivo (t/ha)

3.3.1.2 Huella Hídrica Verde Pecuaria

La Huella Hídrica Verde Pecuaria se determinó calculando la cantidad de agua que consumen los animales durante su vida, incluyendo el agua utilizada para el cultivo de alimentos y bebida. Este cálculo incluye la huella hídrica azul y verde de los productos animales.

Para calcular la huella hídrica verde de los animales, se tomó en cuenta la cantidad de agua que necesitan los animales para funcionar fisiológicamente y la cantidad de alimento que necesitan. Para los cultivos que sirven de alimento, se utilizó el CROPWAT 8., así como la cantidad promedio de alimento requerida por ejemplar al año.

Ecuación 3-9: HHV Pecuaria

$$HH Verde P = \sum(HH Verde cultivos * ConsFVerde)$$

Fuente: (44)

Donde:

- HH Verde P: Huella hídrica verde pecuario (m³/año)
- HH Verde cultivos: Huella hídrica verde calculada para los cultivos con los que alimentan a los animales (m³/t)
- ConsFVerde: Consumo de forraje verde (t/año)

3.3.2 Huella Hídrica Azul

3.3.2.1 Huella Hídrica Azul Agrícola

Se consideró la cantidad de agua utilizada para riego, necesaria para cada cultivo presente en la zona, a partir de la siguiente ecuación:

Ecuación 3-10: HHA Agrícola

$$Evapt_{azul} = \min (Riego_{NetoTotal}, Req \text{ Riego})$$

Fuente: (4)

Donde:

- $Evapt_{azul}$ = Evapotranspiración del componente Azul.
- Min = mínimo.
- R_{NT} = Riego neto total.
- Req Riego = Requerimiento de Riego

Una vez obtenido el valor de $Evapt_{azul}$ se calculó la evapotranspiración de huella hídrica azul para el sector agrícola de la microcuenca del río Alao, mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

Ecuación 3-11: HHA Agrícola

$$HH_{AZULSA} = \frac{Uso \ H2O_{CultivoV}}{Rend \ Cultivo}$$

Fuente: (27)

Donde:

- HH_{AZULSA} = Huella Hídrica azul del sector agrícola (m³/año)
- $Uso \ H2O_{CultivoV}$ = Uso del agua por el cultivo
- Rend Cultivo = rendimiento del cultivo

3.3.2.2 Huella Hídrica Azul Pecuaria

En cuanto a la determinación de la huella hídrica azul del sector pecuario fue necesario la utilización de información referente al volumen diario de agua que se requiere para el consumo del ganado más representativos de la zona de estudio.

Ecuación 3-11: HHA Pecuaria

$$HH_{AZULSP} = Req \ H_2O_{GANADO} * \#Cabezas_{GANADO}$$

Fuente: (44)

Donde:

- $HH_{AZUL.SP}$ = Huella Hídrica azul pecuaria (m³/año).
- $Req H_2O_{GANADO}$ = Requerimiento de agua del ganado (m³/día).
- $\#Cabezas_{GANADO}$ = Número de cabezas de ganado

3.3.2.3 Huella Hídrica Azul Domestica

El consumo directo del agua correspondientes a las distintas actividades antropogénicas de la zona por los diferentes abastecimientos hace referencia a la huella hídrica azul del sector doméstico, es decir el volumen de agua que se utiliza para el uso doméstico, lo cual se determina mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

Ecuación 3-12: HHA Domestica

$$HH_{AZULSD} = V_{H2O \text{ Activ Domes}} - V_{H2O \text{ Calculada}}$$

Fuente: (44)

Donde:

- HH_{AZULSD} = Huella Hídrica Azul del sector Doméstica (m³/año).
- $V_{H2O \text{ Activ Domes}}$ = Volumen de agua destinada a la actividad doméstica. (m³/año)
- $V_{H2O \text{ Calculada}}$ = Volumen de agua calculada (m³/año)

3.3.3 Huella Hídrica Gris

3.3.3.1 Huella Hídrica Gris Agrícola

Para determinar la huella hídrica gris correspondiente al sector agrícola, fue necesario utilizar información sobre el fertilizante mayormente aplicado por cada cultivo, además de tomar los valores establecidos en el TULSMA libro VI anexo 1 sobre los límites permisibles de cierto compuesto (nitrogeno amoniacal).

Ecuación 3-13: HHG Agrícola

$$HH_{GRIS.SA} = \frac{(CantFert_{ha})(Fracc_{LEXIVIADO})}{\left[\begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} \right]_{MAX.H2O} - \left[\begin{matrix} \text{---} \\ \text{---} \\ \text{---} \end{matrix} \right]_{NAT.CONT.H2O}}$$

Rend Cultivo

Fuente: (44)

Donde:

- $HH_{GRIS.SA}$ = Huella hídrica gris agrícola (m³/año).
- $CantFert_{ha}$ = Cantidad aplicada de fertilizante por hectárea. (kg/ha)
- $Fracc_{LEXIVIADO}$ = Fracción de lixiviación (0.1).
- $[C]_{MAX.H2O}$ = Concentración máxima permisible del contaminante en el agua. (kg/m³)
- $[C]_{NAT.CONT.H2O}$ = Concentración natural del contaminante en el agua. (kg/m³)
- Rend Cultivo: rendimiento del cultivo (t/ha)

3.3.3.2 Huella Hídrica Gris Pecuaria

En la determinación de la huella hídrica gris del sector pecuario fue necesario información referente a la cantidad de excretas fecales y de orina de cada animal presente en la zona y a su vez fue indispensable tomar en cuenta la concentración de nitrógeno amoniacal máxima permisible por la norma.

Ecuación 3-14: HHG Pecuaria

$$HH_{GRIS.SP} = \frac{(EXC_{FECAL})(V_{LIXIVIADO})}{[C]_{MAX.} - [C]_{NAT.}}$$

Fuente: (44)

Donde:

- $HH_{GRIS.SP}$ = Huella Hídrica Gris del sector pecuario (m³ /año).
- EXC_{FECAL} = Excreta fecal. (kg/año)
- $V_{LIXIVIADO}$ = Valor de lixiviación (0,1).
- $[C]_{NAT.}$ = Concentración de nitrógeno amoniacal natural. (kg/m³)
- $[C]_{MAX.}$ = Concentración de nitrógeno amoniacal máximo expresado por la Normativa. (kg/m³)

3.3.3.3 Huella Hídrica Gris Domestica

Para la estimación de la huella hídrica gris correspondiente al sector doméstico se consideró las concentraciones de los contaminantes como DBO5 y las concentraciones naturales de los mismos aplicando la siguiente formula:

Ecuación 3-15: HHG Domestica

$$HH_{GRIS.SD} = \frac{(Q_{salida_{DOMESTICO}})([C]_{DBO5})}{[C]_{MAX.DBO5} - [C]_{NAT-H2O}}$$

Fuente: (44)

Donde:

- $HH_{GRIS.SD}$ = Huella Hídrica Gris Doméstica (m³ /año).
- $Q_{salida_{DOMESTICO}}$ = Caudal de salida del sector Doméstico (l/s).
- $[C]_{DBO5}$ = Concentración DBO5 (mg/l).
- $[C]_{MAX.DBO5}$ = Concentración máxima DBO5 (mg/l)
- $[C]_{NAT-H2O}$ = Concentración natural de un cuerpo de agua DBO5 (mg/l)

3.3.4 Determinación de la Huella hídrica total de la Microcuenca Río Alao

La huella hídrica total de una microcuenca del Rio Alao fue determinada mediante la sumatoria de todas las huellas hídricas obtenidas.

Ecuación 3-16: HH Total

$$HH_{total} = HH \text{ Agrícola} + HH \text{ Pecuaria} + HH \text{ Domestica}$$

Fuente: (4)

3.4 Análisis de Sostenibilidad de la Huella Hídrica de la microcuenca del río Alao

Una vez finalizado la fase II del trabajo de investigación, se procedió a realizar la siguiente fase que consiste en el análisis de sostenibilidad de la huella hídrica en una cuenca evaluando qué tan “sostenible” es la apropiación del recurso hídrico en esa cuenca, con el propósito último de informar sobre cuál es la mejor asignación posible del recurso en la cuenca, para las personas, los ecosistemas y las actividades económicas, en este análisis consideró dos aspectos fundamentales como es el cumplimiento de los requerimientos de agua del medio ambiente: Según el Manual de evaluación de huella hídrica y no excedencia de la capacidad de asimilación de contaminantes (4)

3.4.1 Sostenibilidad de la Huella Hídrica

3.4.1.1 Sostenibilidad de la Huella Hídrica Azul

El análisis de sostenibilidad ambiental de la huella hídrica azul buscó cuantificar la apropiación de agua azul total, es decir, mediante este análisis de sostenibilidad se identificaron puntos críticos cuya huella hídrica azul presenta una situación de insostenibilidad ambiental, tras este análisis se pudo conocer si se excede la disponibilidad del agua azul para el uso humano mediante la oferta natural y el caudal ecológico (4).

Mediante la ecuación presentada a continuación se estimó la sostenibilidad de la HH azul (**Disponibilidad de agua azul**):

Ecuación 3-17: Disponibilidad de agua azul

$$DA_{AZUL} = Oferta - Caudal_{ECOLOGICO}$$

Fuente: (4)

Donde:

- DA_{AZUL} = Disponibilidad del agua Azul
- Oferta = esorrentía natural, antes de la intervención humana
- $Caudal_{ECOLOGICO}$ = Caudal mínimo ecológico

El caudal ecológico se refiere a la cantidad de agua necesaria para abastecer necesidades de los ecosistemas, y de los humanos para mantenerlos.

Para conocer escasez de agua se utilizará la ecuación siguiente:

Ecuación 3-18: Escasez del agua azul

$$EA_{AZUL} = \frac{\sum HH_{AZUL}}{DA_{AZUL}}$$

Fuente: (4) **Donde:**

- EA_{AZUL} = Escasez de agua azul
- DA_{AZUL} = Disponibilidad del agua Azul
- $\sum HH_{AZUL}$ = huella hídrica azul total de la microcuenca

3.4.1.2 Sostenibilidad de la Huella Hídrica Verde

De la misma manera que el punto anterior, en esta sección se pretendió conocer si la disponibilidad de agua es la adecuada para el uso humano de los habitantes de la zona.

Y se la llevó a cabo mediante la siguiente **(Disponibilidad de agua Verde)**:

Ecuación 3-19: Disponibilidad del agua verde

$$DA_{VERDE} = Evap_{VERDE} - Evap_{ZONASPROTEGIDAD} - Evap_{NOPRODUCTIVAS}$$

Fuente: (4)

Donde:

- DA_{VERDE} = Disponibilidad de agua verde
- $Evap_{VERDE}$ = Evapotranspiración total
- $Evap_{ZONASPROTEGIDAD}$ = Evapotranspiración de la vegetación en ecosistemas designados como protegidos
- $Evap_{NOPRODUCTIVAS}$ = Evapotranspiración en zonas no productivas

La $Evap_{ZONASPROTEGIDAD}$ corresponde al flujo evaporativo mínimo ecológico designado por microcuencia, que depende como ya se mencionó del uso del suelo existente, más exactamente de las zonas designadas como protegidas, por ejemplo, parques naturales, páramos, ecosistemas que deben conservarse, etc., según la ley del lugar. (4)

La $Evap_{NOPRODUCTIVAS}$ corresponde a una evapotranspiración que ocurre de todas formas, pero que no puede hacerse productiva, porque ocurre en zonas que han sido intervenidas para otros usos del suelo (ejemplo ciudades, zonas abandonadas, zonas que topográficamente no se pueden hacer productivas. (4)

Para conocer escasez de agua se utilizará la ecuación siguiente:

Ecuación 3-20: Escasez del agua verde

$$EA_{VERDE} = \frac{\sum HH_{VERDE}}{DA_{VERDE}}$$

Fuente: (4)

Donde:

- EA_{VERDE} = Escasez de agua Verde
- DA_{VERDE} = Disponibilidad del agua Verde

- $\sum HH_{VERDE}$ = huella hídrica Verde total de la microcuenca

Es importante mencionar que el valor de HH_{VERDE} corresponder al flujo evaporativo fue apropiado en usos productivos, principalmente en la agricultura (Zárate, Fernandez y Kuiper, 2017 pag. 37).

3.4.1.3 Sostenibilidad de la Huella Hídrica Gris

En base a la ecuación proporcionada en la guía metodológica para la evaluación de la huella hídrica en una cuenca hidrográfica (2017) se determinó la sostenibilidad de la HH gris.

Ecuación 3-21: Índice de contaminación del agua

$$NCA = \frac{\sum HH_{GRIS}}{ESC_{REAL}}$$

Fuente: (4)

Donde:

- NCA = Índice de contaminación del agua
- ESC_{REAL} = Escorrentía real
- $\sum HH_{GRIS}$ = huella hídrica Gris total de la microcuenca

Es importante recordar que al obtener un valor mayor que 1 de NCA en los resultados, esto nos indicara que la situación es insostenible y que la capacidad asimilativa de la microcuenca del río Alao que está siendo estudiada ha sido completamente consumida y aún sobrepasada.

3.4.2 Sostenibilidad Económica de la Huella Hídrica

3.4.2.1 Sostenibilidad Económica de la Huella Hídrica en el Sector Agrícola

Para calcular la sostenibilidad económica de la huella hídrica en el sector agrícola, fue necesario analizar el impacto económico de las prácticas de uso y gestión del agua en la producción agrícola. La evaluación se pudo hacer a través del cálculo de la huella hídrica y su impacto en el costo de producción, así como la evaluación de la rentabilidad del sector agrícola, la huella hídrica es una medida del volumen de agua utilizada para producir un producto o servicio, y se puede calcular para diferentes productos agrícolas, como cultivos, frutas y verduras.

El siguiente método se utilizó para estimar la producción aparente de agua azul (APW Blue).

Ecuación 3-22: Producción aparente de agua del cultivo

$$APW \text{ azul} = \frac{\text{precio del mercado del cultivo}}{\text{Huella Hidrica Azul del Cultivo}}$$

Fuente: (4)

Para esta sección, la liberación de tierra o producción aparente (APL) también se calculó en base a las hectáreas plantadas.

Ecuación 3-23: Producción aparente, Agrícola

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

Fuente: (4)

Donde:

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

3.4.2.2 Sostenibilidad Económica de la Huella Hídrica en el Sector Pecuario

La sostenibilidad económica de la huella hídrica en el sector pecuario se pudo definir mediante el análisis de la huella hídrica del sector, considerando la información de pastos y el subsector bovino. La evaluación se realizó mediante el cálculo de la huella hídrica y su impacto en el costo de producción, así como la evaluación de la rentabilidad del sector ganadero (44).

Para calcular la productividad aparente del agua azul (APW Azul) del sector pecuario se realizó con base en la siguiente ecuación:

Ecuación 3-24: Producción aparente de agua, Pecuario

$$APW \text{ azul} (\$/m^3) = \frac{\text{Valor producción de carne} (\$/\text{año})}{\text{Huella Hidrica Azul Pecuaría del animal} (m^3/\text{año})}$$

Fuente: (4)

El valor de la producción de carne se pudo calcular considerando factores como el número de animales criados, el costo del alimento y otros insumos, y el peso y precio de la carne producida, en nuestro caso se usó el valor de producción de la carne en el mercado (45).

3.4.3 Sostenibilidad Social

La sostenibilidad social de una microcuenca se refiere a la capacidad de la comunidad local para mantener una buena calidad de vida y bienestar social, y la sostenibilidad social se convirtió en un componente fundamental de la sostenibilidad integral, mientras protege y conserva la cuenca hidrográfica donde se encuentra (46). Al aplicar el análisis social a una microcuenca, existen tres niveles de priorización en la asignación del recurso hídrico:

- El primer nivel se refiere a la asignación del agua para las necesidades y funciones de los ecosistemas (47).
- El segundo nivel se refiere a la asignación del agua a la población en pobreza (47).
- El tercer nivel se refiere a las amenazas del recurso hídrico en la zona (47).

Esto se determinó en base a la información que se proporciona en el PDOT Pungalá, en donde se definió el porcentaje de agua designada para cada actividad.

El uso de este método en el análisis de la huella hídrica permitió la toma de decisiones sobre cómo asignar el recurso hídrico a la microcuenca e identificar áreas importantes en términos de calidad de vida directamente relacionadas con los recursos hídricos (47).

3.5 Formulación de Estrategias para la Gestión y Política Comunitaria en Respuesta a la Huella Hídrica

La formulación de estrategias estuvo formada por diversas herramientas y medidas que buscaron impulsar la mejora referente a la gestión sostenible y reducir el impacto ambiental de las actividades antropogénicas relacionadas con el uso del agua de la microcuenca, esto se dio una vez calculado la huella hídrica del río, es por ello por lo que la tabla 3-5 estuvo formada por las siguientes columnas principales:

- **Estrategias:** Especifica brevemente las estrategias
- **Propósito:** Denota el objetivo o resultados que conllevó las estrategias
- **Responsable:** Entidades o personas quienes fueron responsables de ejecutar y supervisar el desarrollo de estas
- **Recursos necesarios:** Utilización de tecnologías, equipos o recursos humanos
- **Indicador de aprobación:** Pauta para apreciar si la estrategia ha tenido éxito

Tabla 3-10: Estrategias para la gestión y política comunitaria (Río Alao)

SECTOR				
HUELLA HIDRICA				
ESTRATEGIAS	OBJETIVO	RESPONSABLE	RECURSOS NECESARIOS	INDICADOR DE APROBACIÓN

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

CAPITULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Alcance de la Huella Hídrica

4.1.1 Tamaño de la muestra

Conforme a los asentamientos humanos que integran el territorio parroquial indicados en el plan de desarrollo y ordenamiento territorial de Pungalá (2019-2023) donde indicó que el sector de Alao cuenta con los siguientes habitantes en cada una de sus comunidades respectivamente.

Tabla 4-11: Población total Sector Alao

COMUNIDAD	HABITANTES	SUPERFICIE COMUNAL (ha)
Alao Llactapamba	720	5546,97
Melán	248	396,51
Peltetec	272	1935,93
Pucará	114	97,48
San Antonio de Alo	1500	7527,85
Shullidis	304	1846,57
TOTAL	3158	17351.31

Fuente: (ALLAICA, GAD y PUNGALÁ, 2023 pag. 153)

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

Los datos de la tabla 4-11 se utilizó para la obtención del tamaño de la muestra, estas comunidades que fueron sujetas de estudio, se consideró debido a que estas son las que más actividad antropogénica generan con respecto a la microcuenca por su cercanía con el mismo.

Se aplicó la siguiente fórmula de poblaciones finitas con los datos de la población total del sector de Alao:

$$n = \frac{(3158) * (1,96)_{\alpha}^2 * 0,05 * 0,95}{0,05^2 * (3258 - 1) + 1,96_{\alpha}^2 * 0,05 * 0,95}$$

$n = 71$ encuestas

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

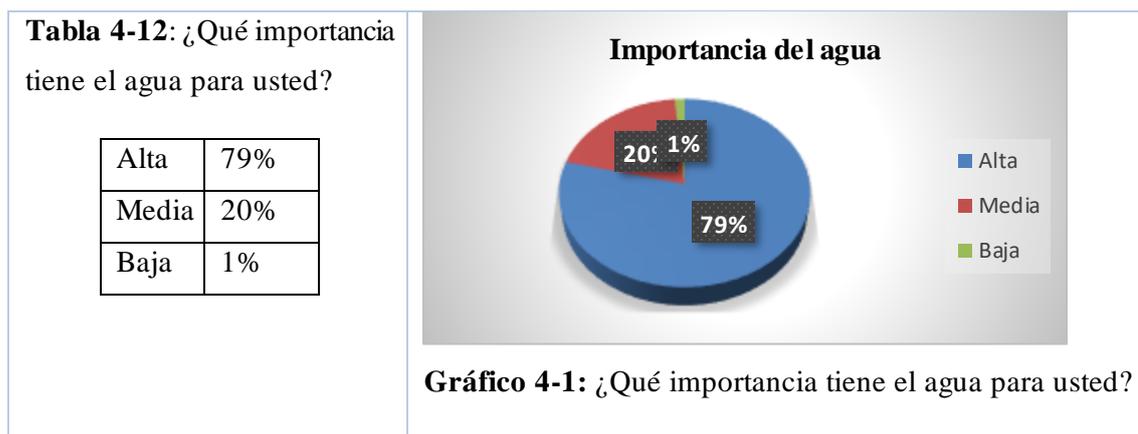
Finalmente se obtuvo un tamaño de muestra de 71 encuestas para las seis comunidades pertenecientes al sector de estudio.

4.1.2 Interpretación de datos de fuentes primarias de información

El levantamiento de información de fuentes primarias mediante la aplicación de 71 encuestas en total en las respectivas comunidades en donde existe mayor actividad antropogénica referente a la microcuenca del río Alao, quienes serán parte del estudio, arrojó la siguiente información.

4.1.2.1 Consumo de Agua

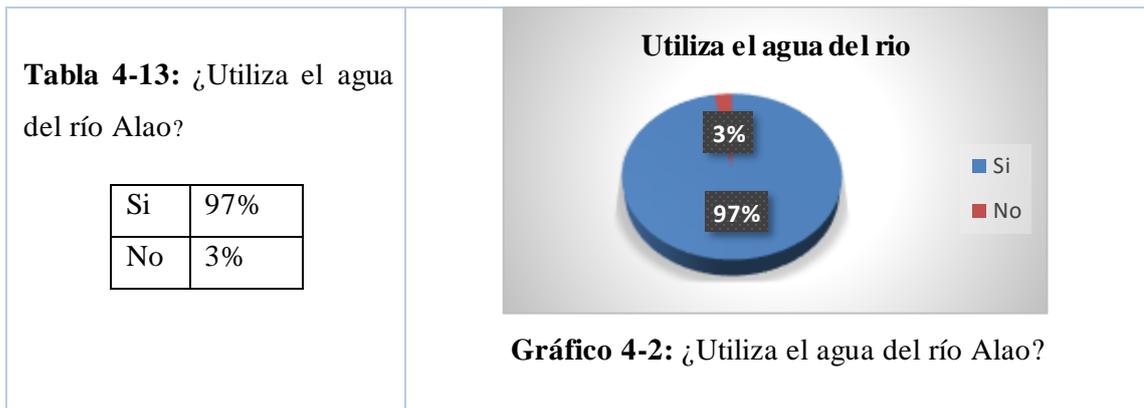
a) ¿Qué importancia tiene el agua para usted?



Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

Del 100% de los comuneros que fueron encuestados de las comunidades el 79% aseguran que la importancia del agua es alta, mientras que tan solo 1% lo considera como baja la importancia de este recurso

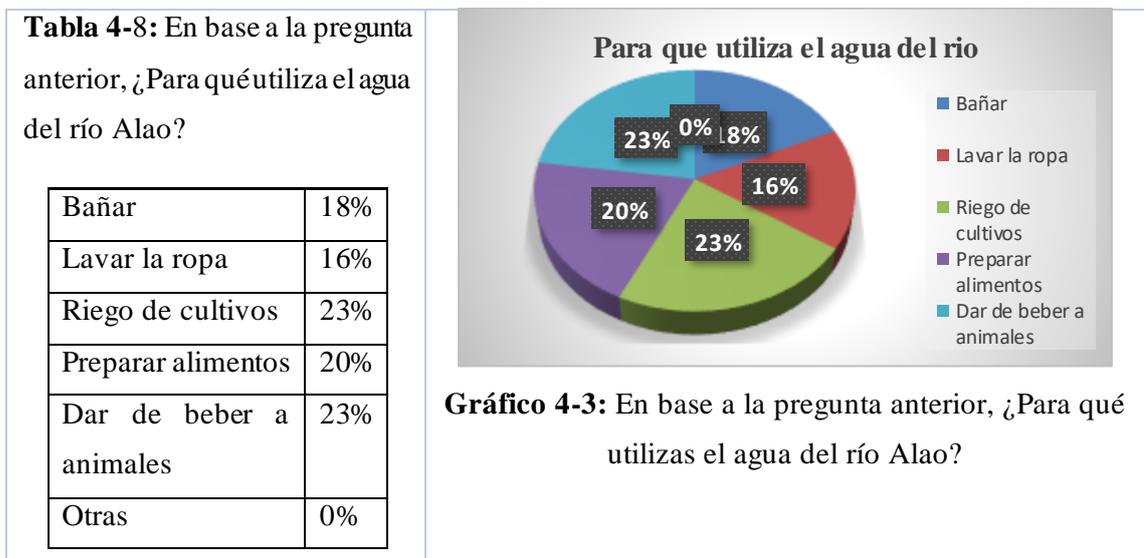
b) ¿Utiliza el agua del río Alao?



Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

El 97% de los encuestados aseguran que si utilizan el agua del río Alao y el restante no lo hacen

c) En base a la pregunta anterior, ¿Para qué utiliza el agua del río Alao?



Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán 2023

El 23 % de las personas de las comunidades encuestadas manifestaron que el agua del rio lo usan para riego de cultivos y para beber animales, y un 18 % y 16 % lo usan para bañar y lavar ropa respectivamente.

d) ¿Con que frecuencia realiza el riego de cultivos?

Tabla 4-14: ¿Con que frecuencia realiza el riego de cultivos?

Todos los días	18%
Pasando un día	16%
Dos veces por semana	23%



Gráfico 4-4: ¿Con que frecuencia realiza el riego de cultivos?

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

El 100 % de las personas encuestadas, un 23 % nos respondieron que la frecuencia de riego de cultivos es dos veces por semana y un 16 % lo hacen pasando un día.

e) ¿Conoces la cantidad aproximada de agua que utilizas diariamente?

Si conoces la cantidad aproximada, indícala en litros: _____

Tabla 4-15: ¿Conoces la cantidad aproximada de agua que utilizas diariamente?

Si	69%
No	31%



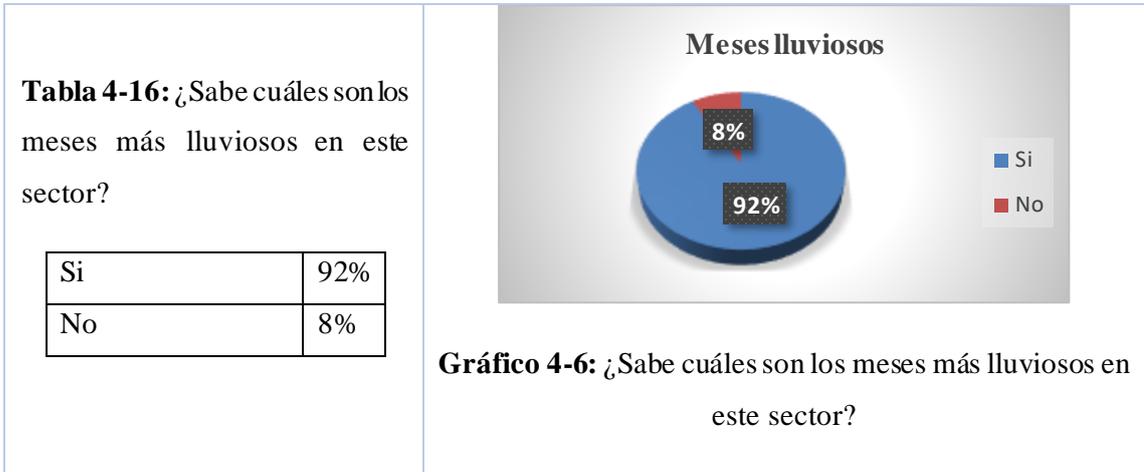
Gráfico 4-5: ¿Conoces la cantidad aproximada de agua que utilizas diariamente?

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

En cuanto a la cantidad estimada que una persona utiliza el agua diariamente las personas encuestadas supieron manifestar que si la conocen con un total del 69% y el 31% lo desconocen. Entre el aproximado que supieron responder tenemos 100 litros

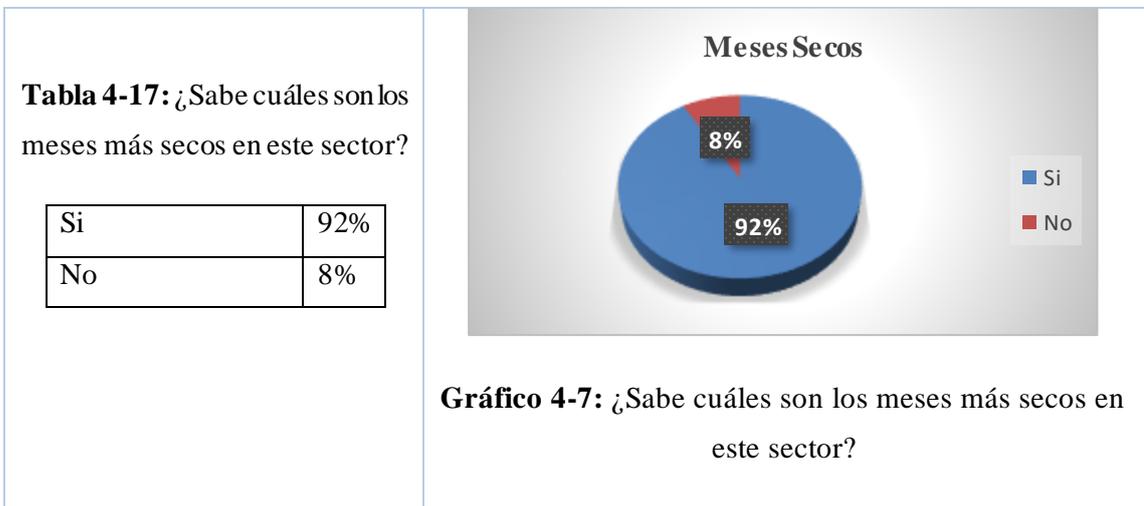
4.1.2.2 Información del sector

a) ¿Sabe cuáles son los meses más lluviosos en este sector? Indique cuales



El 92% de las personas encuestadas nos supieron responder que si conocen o saben los meses que son más lluviosos en su sector, teniendo así mencionaron que las lluvias suelen empezar desde el mes de octubre hasta mayo por lo general, pero sin embargo “como el tiempo esta cambiante esto puede variar” fue un comentario de un encuestado.

b) ¿Sabe cuáles son los meses más secos en este sector? Indique cuales

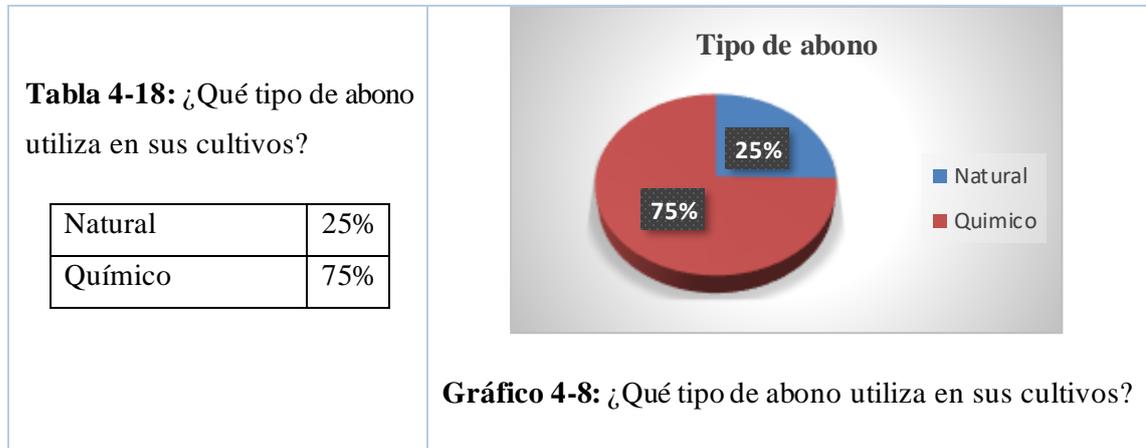


Igual que la pregunta anterior, con un 92% del total, nos manifiestan que los meses más secos del sector son entre julio y agosto que pueden prolongarse hasta septiembre, que dependerá mucho del tiempo.

c) ¿Qué tipo de cultivo suele cosechar con mayor frecuencia?

Esta pregunta fue realizada de manera abierta donde cada una de las personas encuestadas podrían responder cual era el cultivo que sembraban en sus tierras con mayor frecuencia, teniendo así entre los más mencionados las papas, habas, oca, melloco, ajo y cebollas

d) ¿Qué tipo de abono utiliza en sus cultivos?



Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

En las comunidades encuestadas, el 75% nos respondieron a abono químico en sus tierras y para sus cultivos, mientras que el restante, el 25%, suele usar abono orgánico o natural.

e) ¿Qué tipo de ganado es representativo del sector?

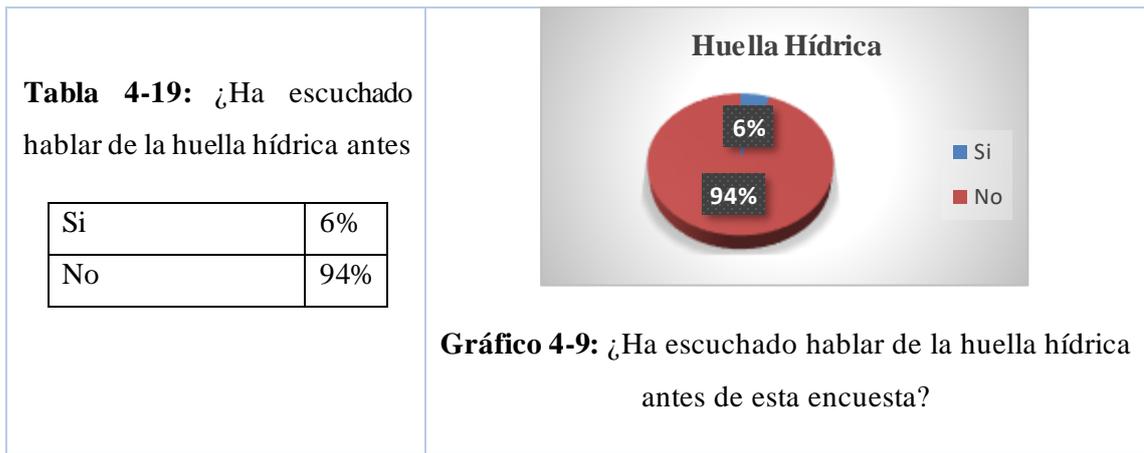
En las comunidades del sector de Alao las personas encuestadas contestan a esta pregunta que el ganado representativo en el área de estudio es el ganado vacuno.

4.1.2.3 Conciencia Ambiental

a) ¿Qué conoce sobre el río Alao?

En cuanto a esta pregunta abierta que se planteó con el fin de conocer el grado de conocimiento de los habitantes de las comunidades se pudo deducir que los comuneros no se encuentran informados de manera correcta sobre la microcuenca.

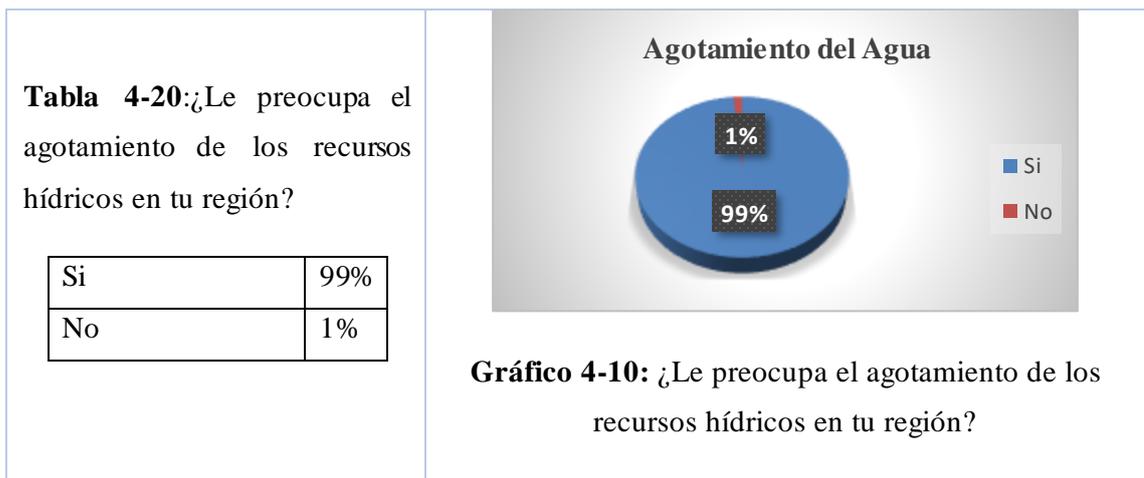
b) ¿Ha escuchado hablar de la huella hídrica antes de esta encuesta?



Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

El 94% de las personas encuestadas respondieron que desconocen el concepto de la huella hídrica y tan solo un 6% tenían una idea de lo que se refiere huella hídrica.

c) ¿Le preocupa el agotamiento de los recursos hídricos en tu región?



Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

Tras el planteamiento de la pregunta de que si les importa o no el agotamiento de los recursos hídricos en su comunidad o parroquia un 99% de las personas encuestadas nos dijeron que sí y mientras tan solo una persona supo responder que no.

d) ¿Está dispuesto a realizar cambios en su estilo de vida para reducir su huella hídrica?

Tabla 4-21: Está dispuesto a realizar cambios en su estilo de vida para reducir su huella hídrica?

Si	89%
No	1%
No estoy seguro/a	10%



Gráfico 4-11: Está dispuesto a realizar cambios en su estilo de vida para reducir su huella hídrica?

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

El 89 % de las personas encuestadas nos respondieron que si están dispuestas a presentar un cambio en el estilo de vida que llevan para reducir su huella hídrica y el 10 % están indecisos.

e) ¿Qué tipo de cambios estaría dispuesto a hacer para reducir su huella hídrica? (Seleccione todas las que correspondan)

Tabla 4-22: Qué tipo de cambios estaría dispuesto a hacer para reducir su huella hídrica?

Reducir el uso de agua en el riego	34%
Reducir el uso de agua en el hogar	30%
Usar productos de limpieza ecológicos	25%
Reutilización y reciclaje	11%

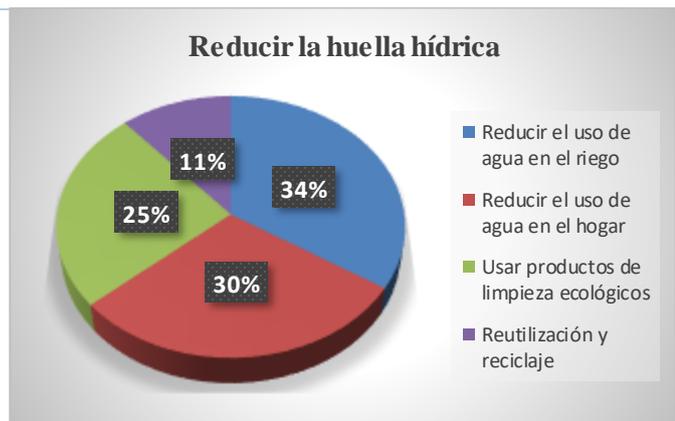


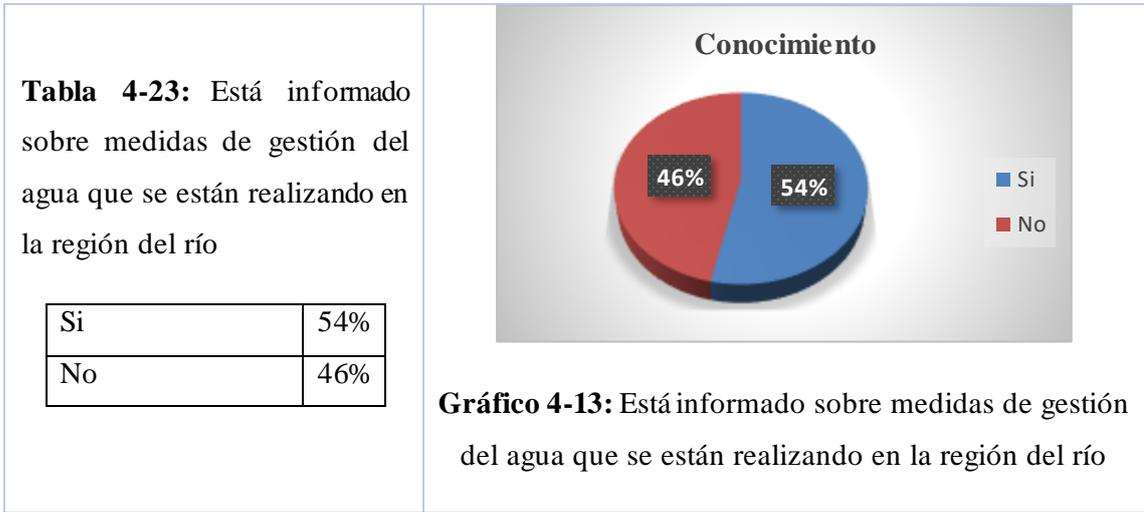
Gráfico 4-12: Qué tipo de cambios estaría dispuesto a hacer para reducir su huella hídrica?

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

Con respecto al tipo de cambios que se aplicará a su diario vivir, tenemos que entre un 30% y un 34% reducirían el uso del agua en el riego de sus cultivos y en su hogar respectivamente, mientras que el 25% y 11% usarían productos de limpieza ecológicos y la reutilización y reciclaje.

4.1.2.4 Gestión del Agua

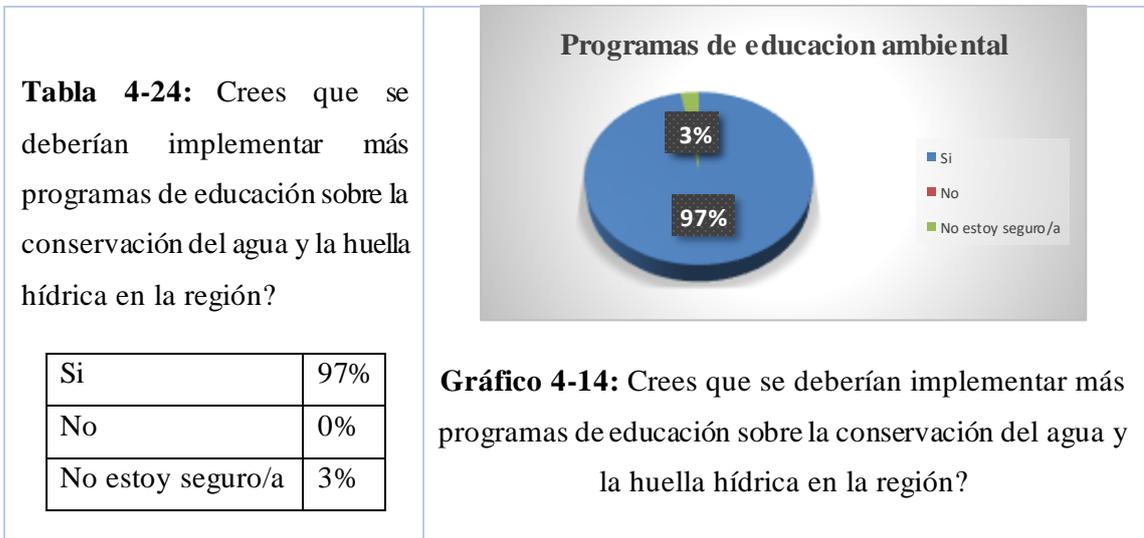
- a) ¿Está informado sobre medidas de gestión del agua que se están realizando en la región para el cuidado del río? (ejemplo: programas de conservación, legislación sobre el uso del agua, etc.)



Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

El 54% de las personas que fueron parte de esta encuesta nos manifestaron que si están informados sobre medidas de gestión del agua que se están realizando en la región para el cuidado del río por parte de las autoridades pertinentes y el restante correspondiente al 46% lo desconocen .

- b) ¿Crees que se deberían implementar más programas de educación sobre la conservación del agua y la huella hídrica en la región?



Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

El 97% de los encuestados están de acuerdo con que se deberían implementar más programas de educación sobre la conservación del agua y la huella hídrica en la región y un 3% están en una posición de no encontrarse seguros.

4.1.3 Muestreo de agua

4.1.3.1 Parámetros insitu

El parámetro que se pudo medir de manera insitu mientras se realizaba la toma de agua en los puntos establecidos en la microcuenca se puede apreciar en la tabla 4.24

Tabla 4-25: Resultados de Parámetros insitu

PARÁMETROS	P1 (Nacimiento del río)	P2 (Curso medio)	P3 (Sector poblado)	P4 (Central hidroeléctrica)	P5 (Desembocadura del río Alao)	PROMEDIO
Caudal	1.67 m ³ /s	2.08 m ³ /s	3.45 m ³ /s	5.08 m ³ /s	4.34 m ³ /s	3.692 m³/s
Espuma de origen antrópico	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	
Material Flotante	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Presencia	Ausencia	

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

- **Caudal:**

En cuanto a los valores obtenidos del caudal tenemos un valor más bajo de 1.67 m³/s correspondiente al punto 1 y con un caudal de 5.08 m³/s perteneciente a la central hidroeléctrica y con un promedio final de 3,69 m³/s.

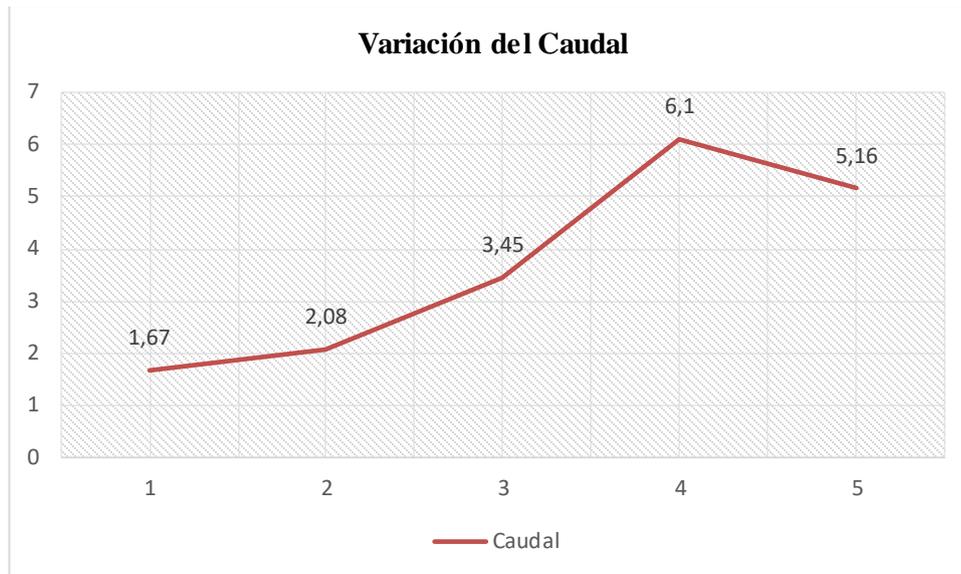


Gráfico 4-15: Variación del caudal

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

En la gráfica 4-15 se visualiza como el caudal de la microcuenca aumenta progresiva mente mientras el rio sigue su recorrido, sin embargo, al llegar al punto cinco este disminuye.

- **Espuma de origen antrópico y Material Flotante:**

En cuanto a la espuma antrópico se realizó por observación directa, teniendo ausencia de esta en los 5 puntos, pero el material flotante se pudo presenciar en mínima cantidad en el punto 4 de la central hidroeléctrica, a diferencia de los otros puntos.

4.1.3.2 Parámetros medidos en el laboratorio

Los resultados de los parámetros que fueron a ser medidos en un laboratorio se pueden apreciar en la tabla 4-25, además de su constancia en el Anexo 8 al final del documento.

Tabla 4-26: Resultados del laboratorio

PARÁMETROS	P1 (Nacimiento del río)	P2 (Curso medio)	P3 (Sector poblado)	P4 (Central hidroeléctrica)	P5 (Desembocadura del río Alao)	PROMEDIO
Temperatura	7 °C	7 °C	11 °C	13 °C	13 °C	10.2 °C

Nitritos	-	-	4.8 mg/l	-	-	
Fosfatos	-	-	0.17 mg/l	-	-	
DBO5	-	-	2,6 mgO2/l	-	-	
Turbidez	-	-	2.48 NTU	-	-	
pH	8.32 Alc	8.01 Alc	8.08 Alc	8.48 Alc	8.70 Alc	8.31 Alc
Conductividad Eléctrica	108.9 μS/cm	132.3 μS/cm	174.6 μS/cm	300.0 μS/cm	428.0 μS/cm	228.76 μS/cm

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

- **Temperatura**

El promedio de la temperatura en los cinco puntos donde se muestreo el agua fue de 10.2, siendo así el valor más bajo de 7 °C que corresponde al punto 1 (nacimiento del río Alao) y punto 2 (curso medio), mientras que aquellos valores altos de temperatura se dieron en el punto 4 (central hidroeléctrica Alao) y 5 (desembocadura del rio) llegando a tener 13 °C.

- **Nitritos, Turbidez y Fosfatos:**

La determinación de los nitritos, turbidez y fosfatos solamente se realizó en el punto tres correspondiente al lugar con mayor actividad antropogénica, los valores que arrojaron el análisis fueron de 4.8 mg/l; 0.17 mg/l y 2.48 NTU respectivamente.

- **pH:**

El pH promedio obtenido de los 5 puntos de muestreo de agua del río fue de 8,31, lo que corresponde a que se obtuvo un pH alcalino siendo el más alto en el punto 5 (desembocadura del río) con un valor de 8,70 y de 8,01 del valor más bajo obtenido en el punto 2 (curso medio).

- **Conductividad eléctrica:**

Una de las propiedades fundamentales del agua que se toma con regularidad como un indicador del grado de mineralización es la conductividad eléctrica, además de que esta nos provee una

evaluación de la concentración total de iones disueltos en el agua, de esta manera en la microcuenca del río Alao se obtuvo un valor promedio de 228.76 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (micro Siemens) teniendo como valor más alto de 428.0 correspondiente a la desembocadura del río y como el valor mínimo de 108.9 para el agua tomada en el nacimiento del río.

4.1.4 Aplicación del software CROPWAT 8.0

Los datos de algunos parámetros que dio este software son de clima, precipitación, cultivo, suelo y requerimiento de agua.

4.1.4.1 Clima

En la tabla 4-26 referente al clima que presenta el área de estudio durante todo el año, teniendo esta como una temperatura min de 8 grados y una max de 19,7 siendo los meses más fríos entre julio y agosto, de la misma manera resulto una humedad promedio de todo el año de 69% y un viento de 226 km/día y finalmente teniendo una evapotranspiración promedio de 3,44 mm/día.

Tabla 4-27: Datos de clima

MES	TEMP MIN °C	TEMP MAX °C	HUMEDAD %	VIENTO KM/DÍA	INSOLACIÓN HORAS	RAD MJ/M ² /DÍA	ETO MM/DÍA
Enero	8.6	20.2	69	259	5.4	17.5	3.63
Febrero	8.8	20.2	66	225	5.1	17.4	3.68
Marzo	8.8	19.6	71	207	4.4	16.5	3.36
Abril	8.9	19.6	70	164	5.1	16.9	3.30
Mayo	8.8	19.3	70	199	5.4	16.3	3.24
Junio	7.8	18.4	72	216	5.4	15.6	3.02
Julio	6.8	18.6	68	259	5.1	15.5	3.19
Agosto	6.3	19.2	67	268	6.0	17.7	3.58
Septiembre	6.7	19.5	69	259	5.1	17.1	3.50
Octubre	8.1	20.3	68	233	5.4	17.8	3.65
Noviembre	7.9	20.8	68	199	4.8	16.5	3.48
Diciembre	8.2	20.8	68	225	5.5	17.3	3.62
PROMEDIO	8.0	19.7	69	226	5.2	16.9	3.44

Fuente: CROPWAT 8.0

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

4.1.4.2 Precipitación

En cuanto a la precipitación presente en la parroquia arroja un valor de 0mm en el mes de julio y agosto para la precipitación efectiva y teniendo un valor total de este parámetro de 424 mm y 135,2 mm para la precipitación y precipitación efectiva.

Tabla 4-28: Precipitación

MES	PRECIPIT. (MM)	PREC. EFEC (MM)
Enero	25.0	5.0
Febrero	45.0	17.0
Marzo	52.0	21.2
Abril	51.0	20.6
Mayo	30.0	8.0
Junio	38.0	12.8
Julio	16.0	0.0
Agosto	16.0	0.0
Septiembre	29.0	7.4
Octubre	48.0	18.8
Noviembre	46.0	17.6
Diciembre	28.0	6.8
Total	424.0	135.2

Fuente: CROPWAT 8.0

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

4.1.4.3 Cultivo

Para obtener los datos sobre el cultivo se realizó con los valores dados por la FAO que es la Guía para determinar los requerimientos de agua de los cultivos, así se destacó a tres productos más representativos de la zona como el maíz, haba y papa obteniendo los siguientes datos.

- **Coefficiente Kcb**

Los valores inicial, medio y final para cada uno de los cultivos más peculiares de la parroquia Pungalá fueron extraídos de la Evapotranspiración del Cultivo de la pág. 158 que corresponde al coeficiente basal del cultivo (Kcb) para cultivos no estresados y bien manejados en climas sub-húmedos.

Tabla 4-29: Coeficiente kbc

	FAO: Pag. 158
--	----------------------

CULTIVO	MES DE SIEMBRA	Kcb		
		INICIAL	MEDIO	FINAL
Maiz	Octubre	0.15	1.15	0.5
Papa	Febrero	0.15	1.1	0.65
Pasto	-	0.30	0.7	0.7

Fuente: FAO

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

- **Etapas de crecimiento**

En cuanto a las etapas de crecimiento de los cultivos de maíz, papa y haba se obtuvieron valores totales de las mismas haciendo referencia a la Evapotranspiración del cultivo en donde nos especifican en la página 125 la duración de las etapas de crecimiento del cultivo para distintos períodos de siembra y regiones climáticas (días).

Tabla 4-30: Etapas de crecimiento del cultivo

FAO: Pag. 125				
Etapas (días)				
INICIAL	DESARROLLO	MEDIA	FIN DE TEMPORADA	TOTAL
20	35	40	30	125.00
25	30	45	30	130.00
10	20	4	3	37.00

Fuente: FAO

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

- **Profundidad radicular**

Para la profundidad radicular de los tres tipos de cultivo de esta zona se tomó de la misma manera de la Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos de la página 184, donde nos proporcionó datos del rango de profundidad máxima efectiva de las raíces (Z_r) y fracción de agotamiento de la humedad en el suelo (p) para condiciones sin estrés hídrico, para cultivos comunes.

Tabla 4-31: Profundidad radicular del cultivo

FAO: Pag 184	
Prof. Radicular (m)	
INICIAL	FINAL
0.05	1.7
0.05	0.6
0.05	0.7

Fuente: FAO

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

- **Factor de agotamiento**

En el caso del factor de agotamiento se consideró la página 187 de la Evapotranspiración del cultivo, en donde detalla sobre los valores inicial, medio y final en cuanto al factor de agotamiento (p) para diferentes niveles de evapotranspiración del cultivo.

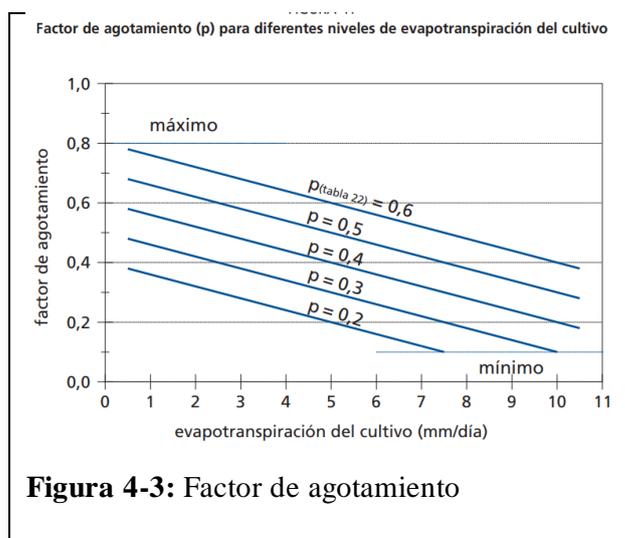


Figura 4-3: Factor de agotamiento

Fuente: FAO

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

- **Factor de respuesta**

Para este tipo de factor que es el de respuesta se contempló la página 202 sobre coeficientes estacionales de respuesta de la productividad del documento de Evapotranspiración de cultivo, de la misma guía utilizada para los anteriores factores.

Tabla 4-32: Factor de agotamiento

FAO: Pág. 187		
Factor Agotamiento		
INICIAL	MEDIO	FINAL
0.05	0.6	0.6
0.05	0.35	0.53
0.05	0.44	0.42

Tabla 4-33: Factor de respuesta del cultivo

FAO: Pag. 202					
Factor Respuesta					
F1	F2	F3	F4	F5	FPROMEDIO
1.05	1.2	1.45	1.35	1.2	1.25
0.90	1.00	1.30	1.30	1.00	1.1
0.90	1.00	1.30	1.30	1.00	1.1

Fuente: FAO

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

- **Altura del cultivo**

En la tabla 4-33 se aprecia los valores del coeficiente único (promedio temporal) del cultivo, Kc y alturas medias máximas de las plantas para cultivos no estresados y bien manejados en climas subhúmedos considerados de la página 131 de la Evapotranspiración del cultivo para cada uno de los productos a estudiar (Villegas y Torres, 1977 pag. 32).

Tabla 4-34: Altura del cultivo

FAO: Pag. 131
ALTURA DE CULTIVO (M)
2.00
0.60
0.30

Fuente: FAO

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

4.1.4.4 Suelo

Para la obtención de datos sobre suelo se utilizó además el software Soil Water y se consideró el tipo de suelo en la zona poblada de la parroquia, en este caso de las comunidades del sector de Alao teniendo así un suelo molisol tipo franco arcilloso, esto se determinó gracias al shp de unidades geo pedológicas obtenidos del geoportal del agro ecuatoriano.

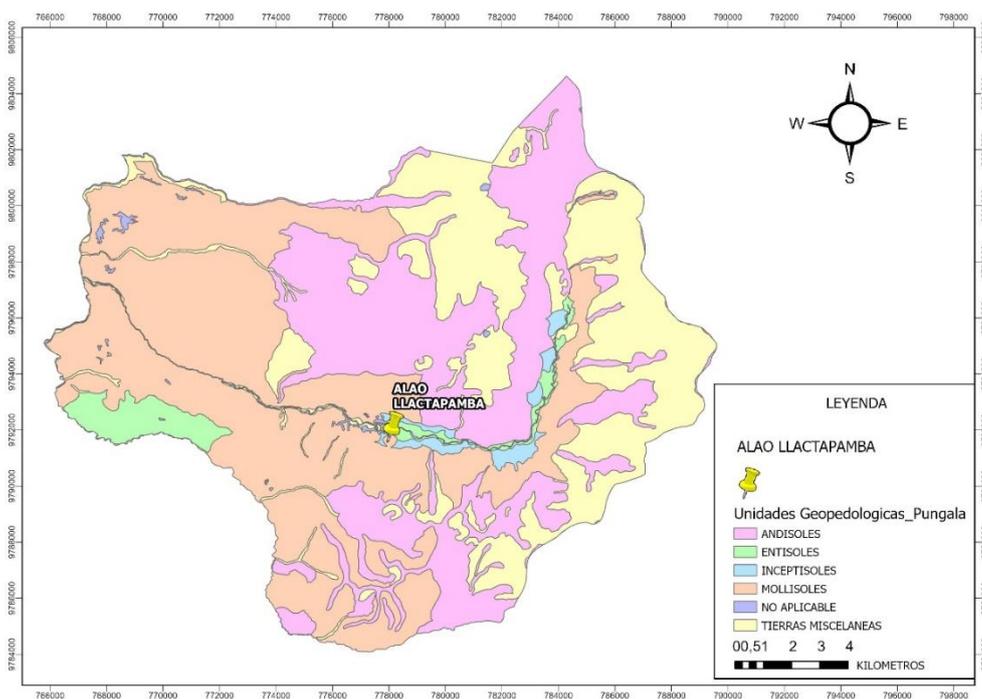


Figura 4- 1:Mapa de tipo de suelo

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

Fuente: Geoportal Agro ecuatoriano

Tabla 4-35: Humedad del suelo

Humedad del suelo disponible	0.14cm/cm	=	140.00mm/m
Saturación hidráulica	4.56mm/h	=	109.44mm/d

Fuente: CROPWAT

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

Tabla 4-36: Agotamiento inicial de humedad de suelo

Agotamiento inicial de humedad de suelo(%ADT)	
Punto de marchitez	21.30%
Capacidad de campo	35.00%
Agotamiento inicial de humedad	13.70%

Fuente: CROPWAT

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

4.1.4.5 Requerimiento de agua

Las tres tablas siguientes representan el requerimiento de agua para el maíz, haba y papa que son los cultivos más representativos de la zona, así como los números de días de riego para cada mes para los tres tipos de cultivo que se está estudiando.

- **Maíz**

Para el cultivo del maíz en la tabla 4-36 nos muestra el valor más alto de 4,26 mm/día para el mes de diciembre con una precipitación efectiva total de 310 mm/dec y finalmente teniendo un número de riego de 91.

Tabla 4-37: Requerimiento de agua para el maíz

Mes	Década	Etapa	Kc	ETc	ETc	Prec, efec	Req, Riego	NUMERO DE DIAS DE RIEGO
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec	
Oct	1	Inic	0.15	0.54	1.1	1.1	1.1	2
Oct	2	Inic	0.15	0.55	5.5	6.8	0	0
Oct	3	Des	0.17	0.6	6.6	6.5	0.1	0
Nov	1	Des	0.4	1.41	14.1	6.3	7.8	6
Nov	2	Des	0.69	2.41	24.1	6.3	17.8	7
Nov	3	Des	0.98	3.47	34.7	4.9	29.8	9
Dic	1	Med	1.17	4.19	41.9	3.2	38.7	9
Dic	2	Med	1.17	4.26	42.6	1.9	40.7	10
Dic	3	Med	1.17	4.26	46.9	1.8	45.1	11
Ene	1	Med	1.17	4.27	42.7	1.5	41.2	10
Ene	2	Fin	1.08	3.91	39.1	1.1	38.1	10
Ene	3	Fin	0.85	3.1	34.1	2.6	31.5	10
Feb	1	Fin	0.62	2.27	22.7	4.6	18.2	8
					356	48.4	310	91

Fuente: CROPWAT

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

- **Papa**

Finalmente, para este último cultivo representativo de la zona se menciona que el número de riego requerido para la papa es de 92 días a comparación de los cultivos anteriores, además de una evapotranspiración total de 361 mm/dec y de la misma manera en cuanto al requerimiento del agua en la etapa de inicio será mínima a comparación de la etapa media que llega a tener un valor de 38,6 mm/dec en el mes de noviembre.

Tabla 4-38: Requerimiento de agua para papa

Mes	Década	Etapa	Kc	ETc	ETc	Prec, efec	Req, Riego	NUMERO DE DIAS DE RIEGO
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec	
Oct	1	Inic	0.15	0.54	1.1	1.1	1.1	2
Oct	2	Inic	0.15	0.55	5.5	6.8	0	0
Oct	3	Inic	0.15	0.54	5.9	6.5	0	0
Nov	1	Des	0.27	0.94	9.4	6.3	3.1	3
Nov	2	Des	0.59	2.04	20.4	6.3	14.1	7
Nov	3	Des	0.91	3.2	32	4.9	27.1	8
Dic	1	Med	1.11	3.99	39.9	3.2	36.7	9
Dic	2	Med	1.12	4.05	40.5	1.9	38.6	10
Dic	3	Med	1.12	4.05	44.6	1.8	42.8	11
Ene	1	Med	1.12	4.06	40.6	1.5	39.1	10
Ene	2	Fin	1.1	4.01	40.1	1.1	39	10
Ene	3	Fin	0.97	3.53	38.8	2.6	36.2	10
Feb	1	Fin	0.81	2.96	29.6	4.6	25	8
Feb	2	Fin	0.69	2.55	12.8	3	9.8	4
					361	51.4	312.6	92

Fuente: CROPWAT

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

4.2 Cuantificación de la Huella Hídrica de la Microcuenca del Río Alao

4.2.1 Huella Hídrica Verde

4.2.1.1 Huella Hídrica Verde Agrícola

Para la determinación de la huella hídrica verde del sector agrícola se obtuvo el siguiente resultado mediante la aplicación de la ecuación 3-7 y 3-8:

$$Evap_{verde-maiz} = \min (215,3;140,5)$$

$$Evap_{verde-maiz} = 140,5mm/año$$

$$Evap_{verde-papa} = \min (239,5;120,03)$$

$$Evap_{verde-papa} = 120,03mm/año$$

$$Evap_{verde-pasto} = \min (11,4; 42,3)$$

$$Evap_{verde-pasto} = 42,3mm/año$$

$$HHV_{Agrícola-maiz} = \frac{1405,00 m3/ha}{2,14 T/ha}$$

$$HHV_{Agrícola-maiz} = 656,54m3/T$$

$$HHV_{Agrícola-papa} = \frac{1203,00 m3/ha}{22.5 T/ha}$$

$$HHV_{Agrícola-papa} = 53,47 m3/T$$

$$HHV_{Agrícola-pasto} = \frac{423,00 m3/ha}{0,03209 T/ha}$$

$$HHV_{Agrícola-pasto} = 13182,49 m3/T$$

$$HHV_{Agrícola-Total} = 13892,50 m3/T$$

Los datos necesarios para calcular el agua usada por el cultivo se obtuvieron a partir del requerimiento hídrico de cada uno de los cultivos y el número de días de riego, el dato del rendimiento de los cultivos se obtuvo a partir del PDOT de la parroquia, a continuación, se presenta una gráfica donde se detalla el valor obtenido para cada uno de los productos agrícolas:

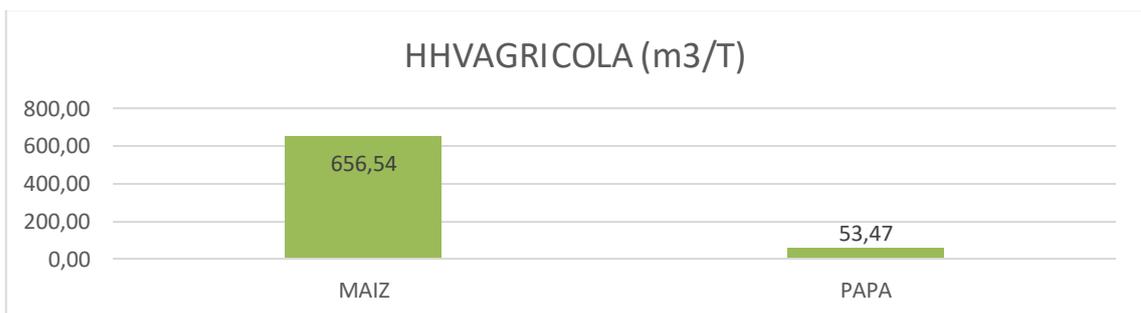


Gráfico 4-16: Cuantificación HHV, Agrícola

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

Se pudo observar que la HHV Agrícola de maíz tiene el valor más alto con 656.54 m³ /año de tonelada producida y la papa obtuvo un valor de 53.47 m³ /T, esto se debe principalmente a que

este cultivo tuvo un mayor requerimiento de agua y un rendimiento inferior a la papa teniendo valores de 2.14 y 22.5 respectivamente.

4.2.1.2 Huella Hídrica Verde Pecuaria

En la determinación de la HHV Pecuaria se consideró el consumo de cada uno de los distintos ganados que se presentan en la zona de estudio, para este cálculo se tomó en cuenta lo mencionado por Arnold (1981): “las vacas suelen pastar unas 9 horas cada día, aunque el intervalo puede ir de 7 a 12 horas” teniendo en cuenta esto se asumió que una vaca pasta durante 600 minutos al día, a un ritmo de 60 bocados por minuto y con un tamaño medio de bocado de 0,4 gramos de materia seca, consume aproximadamente 14,4 kilogramos de pasto al día, en cuanto al ganado ovino se refiere se tomó en cuenta lo mencionado por Romero y Bravo (2019) “Una oveja puede consumir entre 3 a 6 Kilos de forraje verde al día”, y por último se tomó en consideración que un cerdo consume alrededor de 3,5 kg al día. Otro dato importante para tener en cuenta es el número de cabezas de ganado que existen en el área de estudio, para esto se tomó en cuenta los datos proporcionados por el PDOT en el cual menciona que existen 5212 cabezas de ganado bovino, 6134 cabezas de ganado ovino y 1315 de ganado porcino.

Con esto se calculó el consumo de forraje verde del ganado en el año con la ecuación 3-9, dato que es esencial para el cálculo de la HHV Pecuaria de tal manera que se obtuvo lo siguiente:

$$HHV Pecuaria_{bovino} = \sum(13182,49 m^3/T * 5,26 T/año)$$

$$HHV Pecuaria_{bovino} = 69287,19m^3/año$$

$$HHV Pecuaria_{ovino} = \sum(13182,49 m^3/T * 1,92 T/año)$$

$$HHV Pecuaria_{ovino} = 25260,95m^3/año$$

$$HHV Pecuaria_{porcino} = \sum(13182,49 m^3/T * 1,28 T/año)$$

$$HHV Pecuaria_{porcino} = 16840,63m^3/año$$

$$HHV Pecuaria_{Total} = 111388,77, m^3/año$$

En la siguiente grafica se muestran los valores que corresponde de la huella hídrica verde para cada uno de los tipos de ganado por separado:

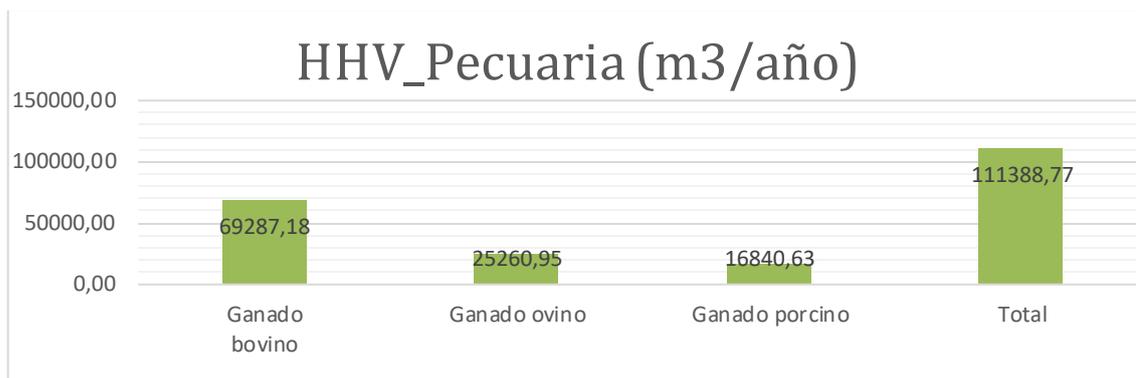


Gráfico 4-17: Cuantificación HHV, Pecuaria

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

En los resultados para la huella verde agrícola es notorio que el ganado bovino es el que más genera con un valor de 69287,18 m3 de agua al año en comparación con los 25260,95 m3/años necesarios para el ganado ovino seguido del ganado porcino con 16840,63 m3/año, esto se dio por que el ganado bovino necesita mayor cantidad de pasto que otros animales por varias razones, primero, los bovinos son herbívoros, su dieta se basa en plantas, y pasto es una fuente importante de alimento para los bovinos, ya que le proporciona los nutrientes necesarios para crecer y desarrollarse, a esto se suma el hecho de que son animales grandes, su cuerpo tiene más volumen que el de otros animales y necesitan más alimento para satisfacer sus necesidades nutricionales.

4.2.2 Huella Hídrica Azul

4.2.2.1 Huella Hídrica Azul Agrícola

La huella hídrica azul agrícola es una medida de la cantidad de agua dulce que es necesaria para producir una tonelada de un cultivo determinado. Para calcular esta huella, se utilizó el programa CropWat y a partir de este se obtuvo el requerimiento de agua por parte del cultivo teniendo así la sumatoria entre el requerimiento dividido para la sumatoria del rendimiento y se procedió a calcular la huella hídrica, mediante la aplicación de la ecuación 3-10 y 3-12:

$$Evapt_{azul-maiz} = \min (145,4; 215,3)$$

$$Evapt_{azul-maiz} = 145,4mm/año$$

$$Evapt_{azul-papa} = \min (227,9; 239,5)$$

$$Evapt_{azul-papa} = 227,9mm/año$$

$$Evapt_{azul-pasto} = \min (33,9; 11,14)$$

$$Evapt_{azul-pasto} = 11,14 \text{ mm/año}$$

$$HHA_{Agrícola-maiz} = \frac{1454,00 \text{ m}^3/\text{ha}}{2,14 \text{ T/ha}}$$

$$HHA_{Agrícola-maiz} = 679,44 \text{ m}^3/\text{T}$$

$$HHA_{Agrícola-papa} = \frac{2279,00 \text{ m}^3/\text{ha}}{22.5 \text{ T/ha}}$$

$$HHA_{Agrícola-papa} = 101,29 \text{ m}^3/\text{T}$$

$$HHA_{Agrícola-pasto} = \frac{114,00 \text{ m}^3/\text{ha}}{0,03209 \text{ T/ha}}$$

$$HHA_{Agrícola-pasto} = 3552,73 \text{ m}^3/\text{T}$$

$$HHA_{Agrícola-Total} = 4333,46 \text{ m}^3/\text{T}$$

A continuación, se presenta una gráfica en la cual se detalla por separado el valor de la huella hídrica azul agrícola para cada uno de los cultivos:

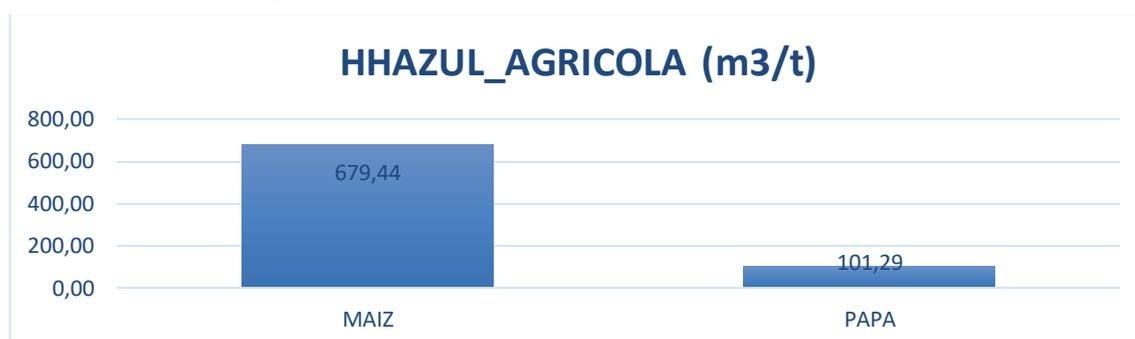


Gráfico 4-18: Cuantificación HHA, Agrícola

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

La huella hídrica azul del maíz genero un mayor aporte con 679.44 m³/T, en gran medida este valor se debe a l rendimiento del producto puesto que, a comparación con la papa, la producción del maíz no equipara las toneladas producidas por hectáreas, por otro tenemos la papa con 101.29

m³ de agua por tonelada producida, estos productos son los más representativos porque constituyen la base alimenticia de la población.

4.2.2.2 Huella Hídrica Azul Pecuaria

En la determinación de la HH azul del sector pecuario se consideró lo descrito por (Duarte, 2011 pag. 45), el cual menciona que un bovino adulto consume entre un 8-10% de su peso en agua. Una vaca lechera puede consumir entre 38 y 110 litros de agua por día (l/d), un bovino para carne de 26 a 70 l/d, y una oveja de 4 a 15 l/d, también se tuvo en cuenta lo mencionado por Palma (2023) “los cerdos adultos requieren aún más agua, con un consumo diario que puede variar entre 20 y 40 litros o más, dependiendo de su tamaño y las condiciones ambientales”, una vez establecido esto se procedió a calcular la HH azul del sector pecuario, para esto se obtuvieron el número de cabezas de ganado a partir del PDOT en el cual menciona que existen en promedio 5212 cabezas de ganado bovino, 6134 de ovino y 1315 de porcino con la ayuda de la ecuación 3-13:

$$HHA_{Pecuaria} = 52,93 \frac{m^3}{año} * 12661 \text{cabezas}$$

$$HHA_{Pecuaria} = 252444,95 \text{ m}^3./\text{año}$$

A continuación, se muestra una tabla detallada de huella hídrica azul pecuario para cada uno de los tipos de ganado que se estudiaron:

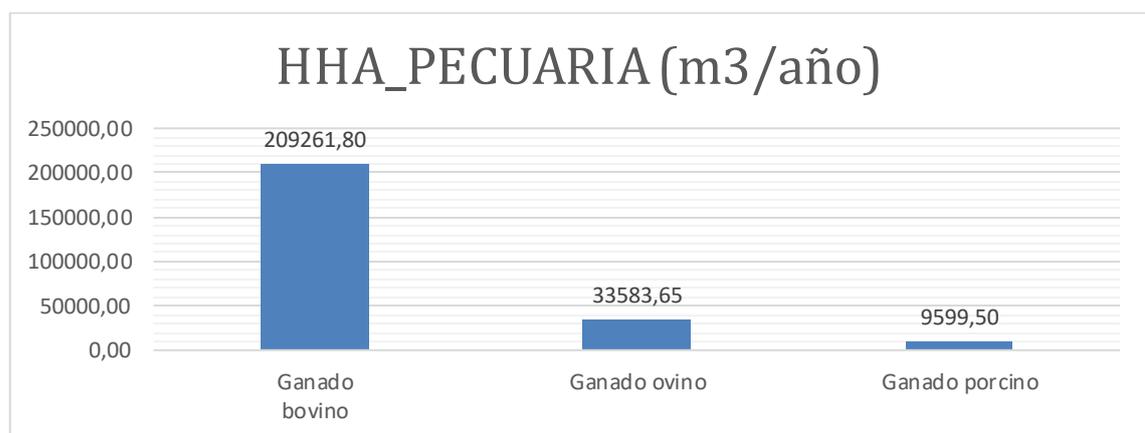


Gráfico 4-19: Cuantificación HHA, Pecuaria

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

En los resultados se puede evidenciar que el ganado bovino genera mayor demanda de agua con 209261,80 m³ al año, seguido de este encontramos el ganado ovino con 33583,65 m³ de agua consumido al año y por último tenemos el ganado porcino con 9599,50 m³/año.

4.2.2.3 Huella Hídrica Azul Domestica

Para la obtención de esta huella se tomó la ecuación 3-14, y se consideró datos proporcionados en el PDOT entre los cuales tenemos el resumen de autorizaciones de uso del agua en la parroquia (59.93l/s), también se tomó en cuenta el promedio de habitantes de la parroquia (7686) sumado a estos datos se tomó en cuenta lo mencionado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) (2023) “una persona requiere de 100 litros de agua al día (5 o 6 cubetas grandes) para satisfacer sus necesidades, tanto de consumo como de higiene”. Con estos datos se calculó la huella hídrica azul domestica:

$$HHA_{Domestica} = 1858416,48 \frac{m^3}{año} - 280539 m^3/año$$

$$HHA_{Domestica} = 1577877,48 m^3/año$$

En la siguiente grafica se muestran el comparativo ente la HHA Domestica de cada uno de los sectores de la parroquia.

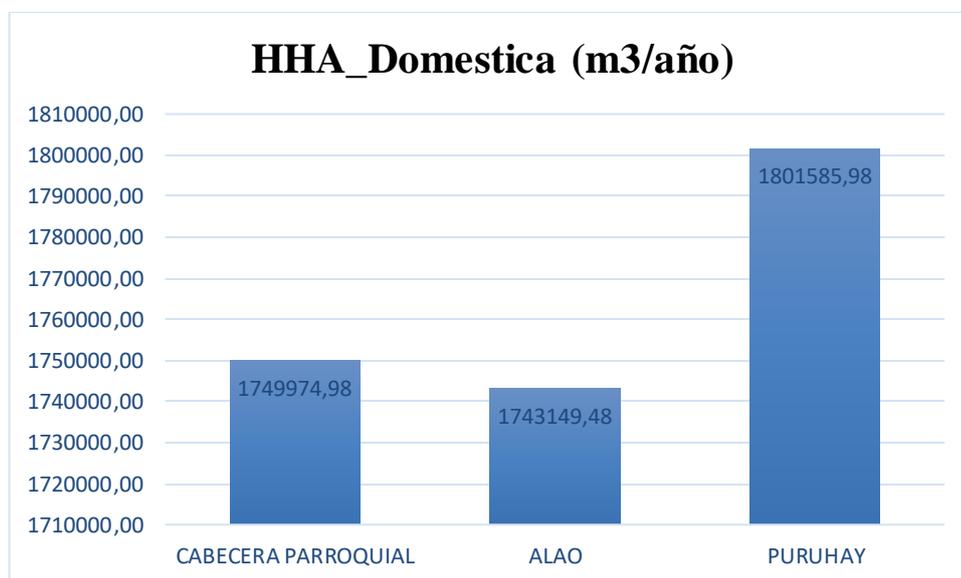


Gráfico 4-20: Cuantificación HHA, Doméstica

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

Como resultado se obtuvo que anualmente se genera una HH Azul de 1577877,48 m³ a nivel parroquial, en cuanto al sector de Puruhay se observa un valor elevado, esto se debe a la cantidad de habitantes (1557) que es inferior a los sectores Alao y Cabecera parroquia con 3158 y 2971 habitantes respectivamente.

4.2.3 Huella Hídrica Gris

4.2.3.1 Huella Hídrica Gris Agrícola

Para determinar la huella hídrica gris agrícola se tomó en cuenta la cantidad promedio de fertilizante que se aplica por hectárea a cada uno de los cultivos principales que se desarrollan en la zona. Izaguirre Vázquez (2019) menciona que “la fertilización de maíz se realice mediante la aplicación de 300 a 350 kg de nitrógeno/ha, que corresponden a 650 a 750 kg de urea.”, para el caso de la papa Quintana y Valenzuela (2010) mencionan que “Un buen desarrollo foliar y máximo rendimiento de la papa se da aplicando urea (224 Kg/Ha)”, también se debe tener en cuenta lo mencionado por Roda (2019) y Cardenas y Garzon (2011) para el caso del pasto en el cual se debe aplicar 100 kg/ha.

Con estos datos y la ecuación 3-20, además de la revisión de la norma TULSMA libro VI anexo para la concentración máxima permisible en agua y la concentración natural 15mg/L y 1mg/L respectivamente, se procedió a realizar el cálculo:

$$HHG_{Agrícola-Maiz} = \frac{\left(650 \frac{kg}{ha}\right) (0.1)}{\left[0.010 \frac{kg}{m^3}\right]_{MAX.H2O} - \left[0.0048 \frac{kg}{m^3}\right]_{NAT.CONT.H2O}}$$

$$HHG_{Agrícola-Maiz} = 5841,12 \text{ m}^3/T$$

$$HHG_{Agrícola-Papa} = \frac{\left(224 \frac{kg}{ha}\right) (0.1)}{\left[\frac{0.010 \frac{kg}{m^3}}{m^3}\right]_{MAX.H2O} - \left[\frac{0.0048 \frac{kg}{m^3}}{m^3}\right]_{NAT.CONT.H2O}}$$

$$HHG_{Agrícola-Papa} = 191,45 \text{ m}^3/T$$

$$HHG_{Agrícola-Pasto} = \frac{\left(100 \frac{kg}{ha}\right) (0.1)}{\left[0.010 \frac{kg}{m^3}\right]_{MAX.H2O} - \left[0.0048 \frac{kg}{m^3}\right]_{NAT.CONT.H2O}}$$

$$HHG_{Agrícola-Pasto} = 0.032$$

$$HHG_{Agricultura-Pasto} = 59931,32 \text{ m}^3/\text{T}$$

$$HHG_{Agricultura-TOTAL} = 65963,89 \text{ m}^3/\text{T}$$

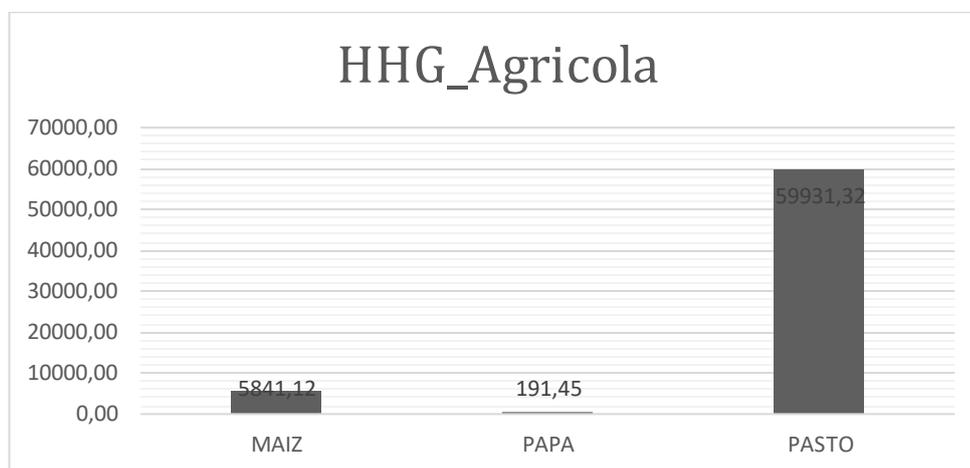


Gráfico 4-21: Cuantificación HHG, Agrícola

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

Como resultado se obtuvo que la huella hídrica gris agrícola que refleja la mayor cantidad es la generada por el cultivo pasto destinado como alimento para ganado con un valor de 59931,32 m³/T, esto se debe principalmente a las 2181,50 ha que han sido destinadas para este propósito, también tenemos el caso del maíz con un valor de 5841,12 m³/T, en estos dos casos se ve reflejado un valor mayor al de la papa 191,45 m³/T debido al bajo rendimiento que presentan el maíz y el pasto.

4.2.3.2 Huella Hídrica Gris Pecuaria

El cálculo de la HH Gris Pecuaria (ecuación 3-21) que consiste en el volumen de agua dulce necesario para diluir los contaminantes producidos por la ganadería, para este se calculó tomando en cuenta lo mencionado en ContextoGanadero(2022) “en promedio un animal bien alimentado excreta entre un 8 y 8,5 % de su peso al día, esto corresponde a 40 kilos diarios de un animal adulto” en cuanto al ganado ovino y porcino se tiene un promedio de excreta de 3.5 y 6.17 kg/día respectivamente; para la concentración de nitrógeno amoniacal máxima permisible de descarga en un cuerpo de agua dulce se realizó la revisión en el Acuerdo Ministerial 097-A siendo este valor 30 mg/L, con estos datos se procedió a calcular:

$$HHG_{Pecuaria-Bovino} = \frac{(14600 \text{ kg/año})(0.1)}{[0.003 \text{ kg/m}^3]_{MAX.} - [0,00013 \text{ kg/m}^3]_{NAT.}}$$

$$HHG_{Pecuaria-Bovino} = 488878,47 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$HHG_{Pecuaria-Ovino} = \frac{(1277.50 \text{ kg/año})(0.1)}{[0.003 \text{ kg/m}^3]_{MAX.} - [0,00013 \text{ kg/m}^3]_{NAT.}}$$

$$HHG_{Pecuaria-Ovino} = 4276,87 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$HHG_{Pecuaria-Porcino} = \frac{(2252.05 \text{ kg/año})(0.1)}{[0.003 \text{ kg/m}^3]_{MAX.} - [0,00013 \text{ kg/m}^3]_{NAT.}}$$

$$HHG_{Pecuaria-Porcino} = 7539,50 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$HHG_{Pecuaria-TOTAL} = 60694,84 \text{ m}^3/\text{año}$$

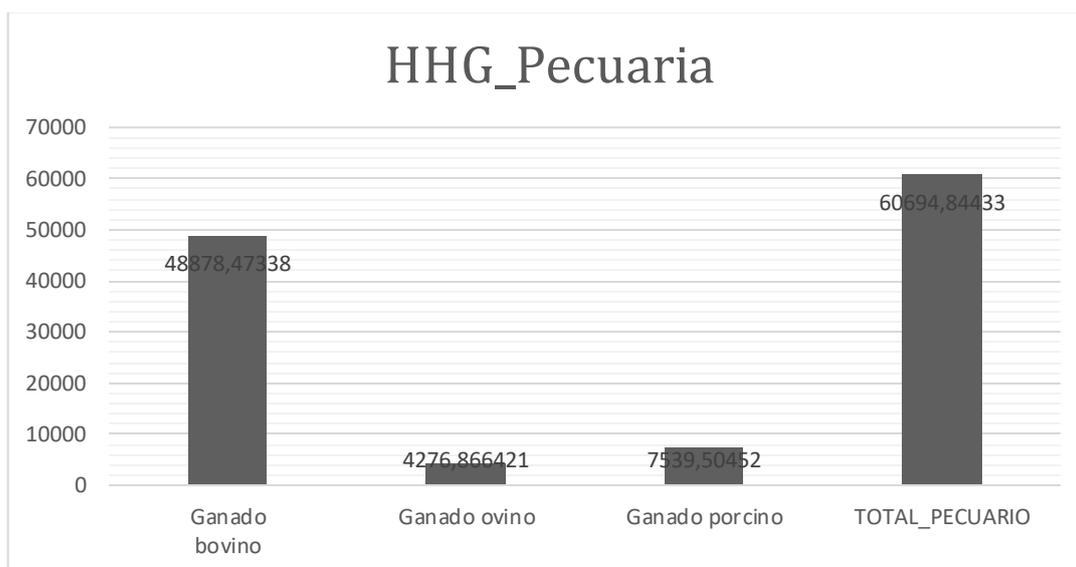


Gráfico 4-22: Cuantificación HHG, Pecuaria

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

Como resultado de la HH Gris Pecuaria se observa que el tipo de ganado que obtuvo un valor superior al resto es el ganado bovino con 48878,47 m³/año, seguido de este se encuentra el ganado ovino con 4276,86 m³/año y por último tenemos el ganado porcino con 7539,50 m³/año; tal como reflejan estos valores el ganado bovino es el que más HH Gris genera, esto se debe principalmente a que se genera una cantidad mayor de excretas además de constituir la principal actividad agropecuaria que se lleva a cabo por los habitantes presentes en la microcuenca el Río Alao.

4.2.3.3 Huella Hídrica Gris Domestica

Para el cálculo de la huella hídrica gris domestica fue necesario realizar análisis de laboratorio para la obtención del dato de DBO5 que tiene una concentración de 2.6 mg/L, esto resulta fundamental al momento de realizar los cálculos pertinentes, dichos análisis se encuentra en el Anexo 8 de esta investigación, también fue necesario realizar una revisión de la normativa TULSMA libro VI anexo 1 para conocer las concentraciones máxima y naturales de DBO5 en un cuerpo de agua, adicional a esto se realizó el cálculo del caudal con la dotación o consumo de agua diario sugerido por la OMS y el número de habitantes anteriormente descritos teniendo así lo siguiente la aplicación de la ecuación 3-22.

$$HHG_{Domestica} = \frac{(768600 \text{ L/dia})([2.6 \text{ mg/L}]_{DBO5})}{[100 \text{ mg/L}]_{MAX.DBO5} - [1,4 \text{ mg/L}]_{NAT-H2O}}$$

$$HHG_{Domestica} = 20267,34 \frac{\text{L}}{\text{dia}} * \frac{1\text{m}^3}{1000\text{L}} * \frac{365\text{días}}{1\text{año}}$$

$$HHG_{Domestica} = 7442,87 \text{ m}^3/\text{año}$$

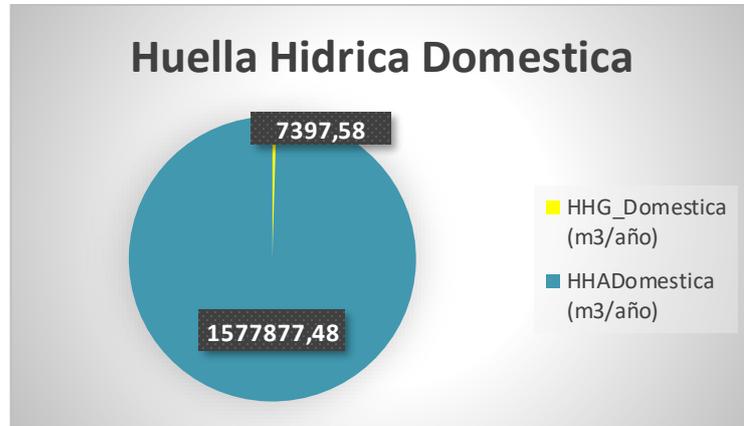


Gráfico 4-23: Cuantificación HHG, Doméstica

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

Como resultado de la huella hídrica gris domestica se obtuvo un valor de 1577877,48 m³/año, este valor obtenido contrasta con el valor de la huella hídrica azul domestica debido a que es inferior a los 1577877,48 m³/años obtenidos para dicho análisis.

4.2.4 Determinación de la Huella hídrica total de la Microcuenca Río Alao

Tabla 4.39: HH Total, MRA

SECTOR	HH VERDE	HH AZUL	HH GRIS
Agrícola	13892,50	4333,46	65963,89
Pecuario	111388,8	252444,95	60694,84433
Domestico	-	1577877,48	7442,87
TOTAL	125281,27	1834655,89	134101,61

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

En la tabla 4-39 podemos observar la sumatoria total de las Huellas Hídricas por cada sector, la más significativa es la huella hídrica azul con 1834655,89 m³/T al año, seguido tenemos la huella hídrica gris con un valor de 134056,32 m³/T año y la huella hídrica verde fue de 125281,27 m³/T año, la huella hídrica gris representa al volumen de agua que llega a contaminarse durante los distintos procesos productivos, la Huella Hídrica Total la azul representa el volumen de agua dulce consumida de las aguas superficiales y subterráneas, por ultimo tenemos la huella hídrica verde proveniente de precipitaciones terrestres que no se transforma en escorrentía ni en aguas subterráneas, sino que se almacena en el suelo o permanece temporalmente en la superficie del suelo o la vegetación.

Para este caso no se consideró la cuantificación de la huella hídrica gris del sector eléctrico debido a que en esta central el agua utilizada para la generación de electricidad no es desechada directamente el río, lo cual no genera ningún tipo de contaminación.

4.3 Análisis de Sostenibilidad de la Huella Hídrica de la microcuenca del río Alao

4.3.1 Sostenibilidad de la Huella Hídrica

Para realizar el análisis de sostenibilidad de la huella hídrica del río Alao fue necesario medir la huella hídrica total de la microcuenca. Se tuvieron en cuenta evaluaciones ecológicas y socioeconómicas para conocer cómo se realiza la producción sostenible de agua en las microcuencas fluviales de la microcuenca.

4.3.1.1 Sostenibilidad de la Huella Hídrica Azul

Para determinar la sostenibilidad de la huella hídrica azul fue necesario tener en cuenta factores como la oferta natural de agua por año y el dato del caudal ecológico el cual corresponde al 20% del caudal medio anual del río, el dato de la oferta se obtuvo a partir del PDOT de la parroquia, todo esto con el fin de obtener la disponibilidad de agua y los escases que se produce en la microcuenca, esto nos permitió realizar los siguientes cálculos junto con las ecuaciones 3-24; 3-25.

$$DA_{AZUL} = 298070072,64 \frac{m^3}{año} - 59614077,60 m^3/año$$

$$DA_{AZUL} = 23845599,04 m^3/año$$

$$EA_{AZUL} = \frac{1834655,89 m^3/año}{2345599,04 m^3/año}$$

$$EA_{AZUL} = 0,008$$

Tabla 4-40: Sostenibilidad, HH Azul

ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD HUELLA HÍDRICA AZUL			
OFERTA (m³/año)	CAUDAL ECOLOGICO (m³ /año)	DISPONIBILIDAD DE AGUA AZUL (m³ /año)	ESCASEZ
298070072,64	59614077,60	238455995,04	0,008

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

Una vez establecidos los datos necesarios se procedió a calcular la disponibilidad del agua azul obteniendo un valor de 238455995,04 m³/año, este dato salió a partir de la autorización del uso de agua (7561.39 L/s) aplicando una regla de tres teniendo en cuenta el 20% del caudal mínimo ecológico para conocer cuál es la oferta real antes de la intervención humana. En cuanto al cálculo del índice de escasez se dividió la HH Azul total para la disponibilidad de agua Azul, esto nos dio un resultado de 0,008, este valor, según la guía proporcionada reflejan que la HH Azul es sostenible y que no se presentan inconvenientes respecto a la disponibilidad de agua en la microcuenca del río Alao.

4.3.1.2 Sostenibilidad de la Huella Hídrica Verde

La sostenibilidad de la HH Verde se determinó a partir de la resta entre la evapotranspiración de zonas protegidas, la total y de zonas no productivas, esto nos dio el valor de la disponibilidad de agua de la microcuenca.

Para el cálculo de estas variables fue necesario la utilización de las ecuaciones 3,26; 3,27 y el valor de Evapotranspiración obtenido de CropWat (3,44 mm/día) a partir de este se obtuvo la evapotranspiración correspondiente para zonas de interés multiplicando por la extensión que le correspondía a cada una, este valor lo obtenemos del PDOT del área de estudio donde tenemos 1433,23 ha para zonas no productivas; 21 107,48 ha para zonas protegidas y 27931,12 ha que es la extensión total del territorio, esto nos permitió realizar los siguientes cálculos:

$$DA_{VERDE} = 350703142,72 \frac{m^3}{año} - \frac{265025518,88 m^3}{año} - 17995635,88 m^3/año$$

$$DA_{VERDE} = 67681987,96 m^3/año$$

$$EA_{VERDE} = \frac{125281,27 m^3/año}{67681987,96 m^3/año}$$

$$EA_{VERDE} = 0,002$$

Tabla 4-41: Sostenibilidad, HH Verde

ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD HUELLA HÍDRICA VERDE		
DA Verde (m ³ /año)	ΣHH Verde (m ³ /año)	Escasez
67681987,96	125281,27	0,002

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

Con el dato de disponibilidad de agua verde (DA Verde) se procedió a la obtención de la escasez, para esto se dividió la DA Verde para la sumatoria de la HH Verde obtenida en la microcuenca, esto nos da un índice de escasez de 0.002 lo cual nos indica que el agua verde en la microcuenca es sostenible y favorable para la demanda de los ecosistemas presentes en la microcuenca.

4.3.1.3 Sostenibilidad de la Huella Hídrica Gris

La sostenibilidad de la huella hídrica gris se determinó a partir de la sumatoria de la huella hídrica gris total, también se necesitó el dato de escorrentía real para cual nos ayudamos de revisión bibliográfica, Aucancela Guanolema, y otros (2022) realizó una investigación en la cual obtuvo un valor de escorrentía real de 32,59 mm/año, este dato se dividió con la extensión territorial de

la zona de estudio obteniendo así la escorrentía real en unidades de m³/año, mediante la aplicación de la ecuación 3-28 se obtuvo el índice de contaminación del agua.

$$NCA = \frac{134056,32 \text{ m}^3/\text{año}}{9102752,008 \text{ m}^3/\text{año}}$$

$$NCA = 0,015$$

Tabla 4-42: Sostenibilidad, HH Gris

ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD HUELLA HÍDRICA GRIS		
ΣHH Gris (m ³ /año)	ESCORRENTÍA REAL (m ³ /año)	Nivel de Contaminación Ambiental (NCA)
134056,32	9102752,01	0,015

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

El agua de la microcuenca está contaminada en un nivel sostenible debido a que se obtuvo un valor de NCA de 0,015. Un nivel de contaminación mayor a 1 indicaría que la microcuenca del Río Alao ya no puede absorber los contaminantes y que la situación es insostenible.

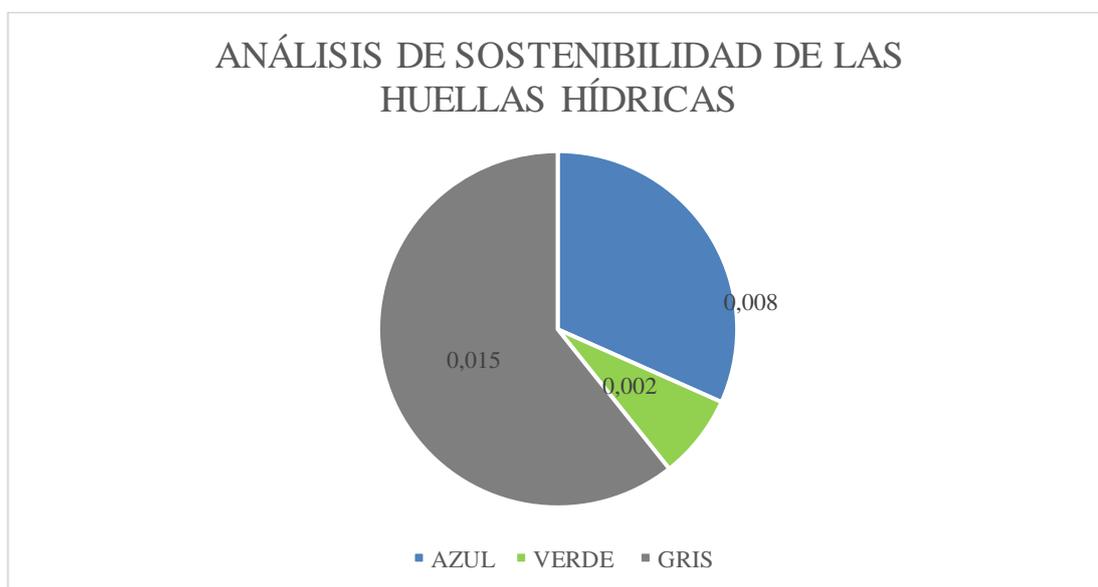


Gráfico 4-24: Sostenibilidad de la Huella Hídrica

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

Los resultados obtenidos para la determinación de la sostenibilidad de las huellas hídricas son los siguientes: sostenibilidad de la HH Azul con un valor de 0,008; la sostenibilidad de la HH Verde es de 0,002 y la sostenibilidad de la HH Gris tiene un valor de 0,015; estos valores se encuentran por debajo del límite esto nos indica que los valores de escasez obtenidos son sostenibles para la microcuenca del río Alao.

4.3.2 Sostenibilidad Económica de la Huella Hídrica

4.3.2.1 Sostenibilidad Económica de la Huella Hídrica en el Sector Agrícola

Para la determinación de la sostenibilidad económica referente al sector agrícola se basó en los datos de cada uno de los precios de los cultivos más representativos de la zona que fueron utilizados en este estudio, los cuales se obtuvieron del Sistema de Información de Organizaciones del Sector del Agro y el valor de la huella hídrica azul de cada cultivo, los precios referenciales para la papa son de 0,70 \$/kg y en el caso del maíz se tiene un valor de 0,56 \$/kg, con la ecuación 3-29; 3-30.

$$APW \text{ azul} - \text{maiz} = \frac{560 \text{ \$/T}}{679,44 \text{ m}^3/\text{T}}$$

$$APW \text{ azul} - \text{maiz} = 0,82 \text{ \$/m}^3$$

$$APW \text{ azul} - \text{papa} = \frac{700 \text{ \$/T}}{101,29 \text{ m}^3/\text{T}}$$

$$APW \text{ azul} - \text{papa} = 6,91 \text{ \$/m}^3$$

$$APL - \text{maiz} = 560 \frac{\$}{T} * 2,14 \text{ T/ha}$$

$$APL - \text{maiz} = 1198,40 \text{ \$/ha}$$

$$APL - \text{papa} = 700 \text{ \$/T} * 22,5 \text{ T/ha}$$

$$APL - \text{papa} = 15750 \text{ \$/ha}$$

Tabla 4-43: Sostenibilidad económica, Agrícola

PRODUCTO	PRECIO	Productividad aparente del agua azul (APW) (\$/m3)	Productividad aparente de la tierra (APL) (\$/ha)
Maíz	560	0,82	1198,40
Papa	700	6,91	15750,00
TOTAL		7,74	16948,40

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

En el cálculo de la productividad aparente del agua es un indicador que permitió estimar los ingresos económicos por metro cúbico de agua consumida en la producción de estos cultivos, se puede observar que la papa es la que presento un valor superior que el maíz.

En cuanto a la producción aparente de la tierra, los resultados obtenidos demuestran que de la misma manera que en la APW la plantación de papa tuvo un valor superior al maíz, esto se determinó mediante los valores de rendimiento de cada cultivo proporcionado en el PDOT de la parroquia.

4.3.2.2 Sostenibilidad Económica de la Huella Hídrica en el Sector Pecuario

Para la obtención de la productividad aparente en el sector pecuario del agua fue la utilización de la ecuación 3-31 y acceder a datos como el peso promedio de los diferentes tipos de ganado además del precio estos a través del Sistema de Información de Organizaciones del Sector del Agro:

$$APW \text{ azul} - \text{bovino} (\$/m3) = \frac{23735448 (\$/año)}{209261,80 (m3/año)}$$

$$APW \text{ azul} - \text{bovino} = 113,425 \$/m3$$

$$APW \text{ azul} - \text{ovino} (\$/m3) = \frac{1881175,12 (\$/año)}{33583,65 (m3/año)}$$

$$APW \text{ azul} - \text{ovino} = 56,015 \$/m3$$

$$APW \text{ azul} - \text{porcino} (\$/m3) = \frac{361625 (\$/año)}{9599,50 (m3/año)}$$

$$APW \text{ azul} - \text{porcino} = 37,671 \$/m3$$

Tabla 4-44: Sostenibilidad Económica, Pecuario

PRODUCTIVIDAD APARENTE DEL AGUA DEL SECTOR PECUARIO				
	Peso vivo del animal (kg)	Precio (\$/año)	HHA Pecuario (m3/año)	APW Azul(\$/m3)
Ganado bovino	900	5,06	209261,80	113,425
Ganado ovino	82	3,74	33583,65	56,015
Ganado porcino	100	2,75	9599,50	37,671
Total				207,111

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

Como resultado se obtuvo que el ganado bovino tuvo una mayor productividad aparente con 6680,91 \$/m3, eso se dio debido a que este tipo de ganado constituye una de las principales actividades pecuarias que se llevan a cabo en la microcuenca.

4.3.2.3 Sostenibilidad Económica de la Huella Hídrica en el Sector Domestico

Para la sostenibilidad económica del sector doméstico no se consideró ya que en la zona de estudio solo se presenta agua entubada y no en si agua potable.

Para evaluar la sostenibilidad económica del sector doméstico en relación con el agua entubada, es necesario considerar una combinación de factores económicos, ambientales y sociales. Los costos reales y los beneficios del agua entubada a menudo no se reflejan plenamente en las tarifas pagadas por los usuarios, lo que dificulta una evaluación precisa de la sostenibilidad económica. Un enfoque holístico que incluya el análisis de costos indirectos, la estructura de tarifas, el comportamiento del consumidor, y las políticas y regulaciones es esencial para lograr una verdadera sostenibilidad.

La sostenibilidad económica del sector doméstico en relación con el uso de agua entubada puede no ser tan directa de evaluar debido a varios factores:

- **Costo del Agua Entubada:** Las tarifas del agua entubada suelen ser establecidas por entidades gubernamentales o empresas de servicios públicos. Estas tarifas pueden no reflejar el verdadero costo de extracción, tratamiento, distribución y mantenimiento de la infraestructura. En muchos casos, el agua está subsidiada, lo que oculta el costo real y dificulta la evaluación de la sostenibilidad económica.

- **Consumo y Comportamiento del Usuario:** Cuando el agua es entubada y fácilmente accesible, los usuarios pueden no percibir su valor real y pueden desperdiciarla, lo que afecta la sostenibilidad económica y ambiental.
- **Políticas y Regulaciones:** En muchos casos, las políticas y regulaciones no están diseñadas para promover la sostenibilidad económica del uso del agua en el sector doméstico, las regulaciones pueden no incentivar suficientemente el uso eficiente del agua o la inversión en infraestructuras sostenibles.

4.3.3 Sostenibilidad Social

En la parroquia de Pungalá el acceso a servicios de saneamiento básico es limitado ya que tan solo dos comunidades de la misma cuentan con este servicio (Pungalapamba y Cabecera parroquial de Pungalá) sin tratamiento previo a la descarga sobre cauces naturales, sin embargo, todas las comunidades tienen acceso a agua entubada para consumo humano y uso doméstico y tan solo en 2 comunidades se realiza tratamiento de la misma (1).

- **Primer Nivel:**

Para la determinación de este primer nivel que se encuentra dentro de la sostenibilidad social se utilizó varias directrices a consideras como es la disponibilidad del agua, las necesidades y conservación de los ecosistemas, la participación de cada uno de los habitantes de las comunas y un frecuente monitoreo de este.

El total de volumen de agua concesionado en la parroquia, alrededor del 18,6% se destinan a la producción agropecuaria (industrial, piscícola, riego y abrevadero); mientras que el 21,9% se destina a satisfacer las necesidades de agua para el consumo humano y uso doméstico. Se destacan las grandes autorizaciones de uso que tienen la Empresa Eléctrica Riobamba EERSA para generación hidroeléctrica 59,5% y la Municipalidad de Riobamba para consumo humano (1).

Además que el 81% del total de agua autorizada para uso en la parroquia Pungalá, es utilizada por la Empresa Eléctrica y la Municipalidad de Riobamba, quienes deberían contribuir en similar proporción al cuidado de páramos, bosques nativos y zonas de recarga hídrica, para asegurar la permanencia del recurso en cantidad y calidad (1).

- **Segundo Nivel**

En este segundo nivel referente a la asignación de agua apto para el consumo humano se considera de suma importancia ya que si este no se encuentra bajo los controles de calidad y saneamiento

podrían causar enfermedades catastróficas a quien lo consuman, sin embargo, la falta de servicios básicos en las comunidades que es un tema de interés político y social.

Las comunidades y la cabecera parroquial presentan varios problemas entre los cuales se evidencian el déficit de la vivienda, la mala calidad del agua de consumo humano, la falta de servicio de alcantarillado, y el insuficiente manejo de residuos sólidos. Esto se traduce en una disminución de la calidad de vida de sus habitantes, quienes distan en mucho del disfrute y goce de sus derechos (1).

- **Tercer Nivel**

Finalmente, en este nivel se consideró los impactos que amenazan el recurso hídrico, teniendo así la quema de bosques, deforestación y cantidad de basura inorgánica que mediante la implementación de programas en conjunto con los representantes de las comunidades esto se podrá llevar a cabo con el propósito de minimizar todas estas variables.

Sostenibilidad social destaca el garantizar un equilibrio entre el desarrollo económico, el bienestar social y conservación del medio ambiente, fortaleciendo la cohesión y estabilidad de las poblaciones y mejorando la inclusión y las oportunidades de las comunidades desprotegidas, es por ello que este hace referencia a la cantidad de agua que cada habitante necesita con el fin de cubrir cada una de sus necesidades básicas con el único propósito de tener una calidad de vida adecuada. Por lo tanto, mediante la realización del análisis de la huella hídrica se consideró algunos criterios fundamentales para realizarse un análisis en laboratorio a fin de examinar el grado de contaminación que se encuentra principalmente en la zona poblada, teniendo así que los valores de contaminación no son altamente graves, sin embargo, este tipo de agua no es apto para el consumo humano sin un previo tratamiento.

4.4 Formulación de Estrategias para la Gestión y Política Comunitaria en Respuesta a la Huella Hídrica

En la formulación de las diferentes estrategias para la gestión y política comunitaria en respuesta a la determinación de la huella hídrica de la microcuenca del río Alao se consideró los diferentes puntos establecidos en el plan de desarrollo y ordenamiento territorial de Pungalá (PDOT) referente al tema, así como del Plan de Creación de Oportunidades que se encuentra vigente hasta el 2025.

Basándose en las directrices del Plan de Creación de Oportunidades encontradas en el eje económico, el cual en el objetivo 3 mencionan el fomentar la productividad y competitividad en los sectores agrícolas, industriales, acuícola y pesquero, bajo el enfoque de la economía circular;

por otro lado, en el eje de transición ecológica se consideró los objetivos 11, 12 y 13 donde se destaca el conservar, fomentar y promover la gestión integral de recursos hídricos (48).

Por otra parte, también estas estrategias están basadas en las diferentes disposiciones encontradas en el PDOT Pungalá, es decir sobre el uso y cuidado del agua y suelo, además de las diversas amenazas naturales presentes en la zona.

4.4.1 Sector Agrícola

Tabla 4-45: Formulación de estrategias

SECTOR		Agrícola		
HUELLA HIDRICA		Azul	A pesar de que el resultado obtenido del cálculo de las distintas huellas hídricas cuantificadas para el sector agrícola. donde se mostró valores menores a 1 lo que significa que la microcuenca del río Alao es sostenible, sin embargo, es necesario realizar la formulación e implementación de diferentes estrategias para su conservación en el transcurso del tiempo.	
		Verde		
		Gris		
ESTRATEGIAS	PROPÓSITO	RECURSOS NECESARIOS	RESPONSABLES	INDICADOR DE APROBACIÓN
Educación ambiental	Desarrollar interés por la conservación de los recursos naturales e incluir a las comunidades de la zona en la toma de decisiones para remediar los problemas ambientales.	Ingenieros Ambientales y expertos en el tema Materiales informativos	Presidente de la parroquia Pungalá en conjunto con los representantes de cada	Reducción en un cierto porcentaje del consumo del agua en el sector agrícola. Aumento progresivo de los habitantes en unirse a este programa
Implementación de directrices	Desarrollar políticas y directrices que conlleven a la conservación del	Recurso financiero		

	recurso hídrico en el sector agrícola.	Recursos humanos	comunidad	Mejora de la calidad del agua de la microcuenca
Prácticas agrícolas	Implementar el desarrollo de terrazas con el fin de minimizar la escorrentía, además de prácticas que aumenten la retención de agua en el suelo.	Recursos tangibles		Minimización de la contaminación de la microcuenca en las zonas pobladas
Riego Amigable	Implementar el riego por goteo o localizado para minimizar el consumo de agua en este sector.			Mejor en la calidad de agua para el consumo

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

4.4.2 Sector Pecuario

Tabla 4-46: Formulación de estrategias, Sector Pecuario

SECTOR		Pecuario		
HUELLA HIDRICA		Azul	A pesar de que el resultado obtenido del cálculo de las distintas huellas hídricas cuantificadas para el sector pecuario. donde se mostró valores menores a 1 lo que significa que la microcuenca del rio Alao es sostenible, sin embargo, es necesario realizar la formulación e implementación de diferentes estrategias para su conservación en el transcurso del tiempo.	
		Verde		
		Gris		
ESTRATEGIAS	PROPÓSITO	RECURSOS NECESARIOS	RESPONSABLE	INDICADOR DE APROBACIÓN
Educación ambiental	Desarrollar interés por la conservación de los recursos naturales e incluir a las comunidades de la zona	Ingenieros Ambientales y expertos en el tema	Presidente de la parroquia Pungalá en con	Reducción en un cierto porcentaje del consumo del agua en el sector pecuario.

	en la toma de decisiones para remediar los problemas ambientales	Materiales informativos	junto con los representantes de cada comunidad	Aumento progresivo de la participación ciudadana en los diferentes programas
Implementación de directrices	Desarrollar políticas y directrices que conlleven a la conservación del recurso hídrico en el sector pecuario.	Recurso financiero		Mejora de la calidad del agua de la microcuenca
Desarrollar abono orgánico	Designar espacio donde se realicen abono orgánico con el fin de reciclar los estiércoles para mejorar el suelo	Recursos humanos		Minimización de la contaminación de la microcuenca en las zonas pobladas
Suministro de agua eficiente	Implementar fuentes de suministro de agua al ganado que no desperdicien	Recursos tangibles		Mejor en la calidad de agua para el consumo
Prácticas de pastoreo eficiente	Reducir la erosión del suelo mediante un pastoreo más activo para mejorar la infiltración del agua al suelo mediante la mejora de los suelos.			

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

4.4.3 Sector Doméstico

Tabla 4-47: Formulación de estrategias, Sector Doméstico

SECTOR		Domestico		
HUELLA HIDRICA		Azul	A pesar de que el resultado obtenido del cálculo de las distintas huellas hídricas cuantificadas para el sector doméstico. donde se mostró valores menores a 1 lo que significa que la microcuenca del rio Alao es sostenible, sin embargo, es necesario realizar la formulación e implementación de diferentes estrategias para su conservación en el transcurso del tiempo.	
		Gris		
ESTRATEGIAS	OBJETIVO	RECURSOS NECESARIOS	RESPONSABLE	INDICADOR DE APROBACIÓN
Educación ambiental	Desarrollar interés por la conservación de los recursos naturales e incluir a las comunidades de la zona en la toma de decisiones para remediar los problemas ambientales	Ingenieros Ambientales y expertos en el tema	Presidente de la parroquia Pungalá en conjunto con los representantes de cada comunidad	Reducción en un cierto porcentaje del consumo del agua en el sector doméstico.
Reutilización del agua	Implementación de sistemas de recolección de agua domestica para su reutilización en diferentes campos	Materiales informativos		Aumento progresivo de los habitantes en unirse a este programa
Implementación de directrices	Desarrollar políticas y directrices que conlleven a la conservación del recurso hídrico en el sector doméstico.	Recurso financiero		Mejora de la calidad del agua de la microcuenca
		Recursos humanos		Minimización de la contaminación de la microcuenca en las zonas pobladas
		Recursos tangibles		

Empleo amigable del agua	Conocer de medidas de conservación del agua de consumo humano			Mejor en la calidad de agua para el consumo
--------------------------	---	--	--	---

Realizado por: Joselyn Armas; Joel Barragán, 2023

Fue importante tener en cuenta que estas estrategias deberán adaptarse a las necesidades específicas de la comunidad estudiada, ya que su implementación requerirá de la colaboración y el compromiso de diversos actores y recursos necesarios.

CONCLUSIONES

Se contabilizó la huella hídrica de la Microcuenca del río Alao obteniendo un valor total para la Huella Hídrica Verde de 125281,27 m³/año, para la Huella Hídrica Azul se obtuvo un valor de 1834655,89 m³/año y para la Huella Hídrica Gris 134101,61 m³/año teniendo así una Huella Hídrica Total de 2094038,77 m³/año cuya distribución corresponde a 88% a la Huella Hídrica Azul y 6% para la Huella Hídrica Verde y Gris respectivamente.

En cuanto al análisis de sostenibilidad realizado para la microcuenca del río Alao se evidenció que los tres tipos de huellas son sostenibles debido a que se obtuvieron valores inferiores a uno en el índice de escasez para cada una de ellas, para la sostenibilidad económica de la microcuenca del río Alao se concluyó que el sector más productivo fue el pecuario con 113,43 \$/m³.

Se formularon estrategias para realizar una adecuada gestión y políticas comunitarias enfocadas al manejo sostenible y eficiente en el sector agrícola, pecuario y doméstico teniendo en cuenta que estas son las principales actividades que generan impacto sobre la microcuenca del río Alao, la ejecución de estas estrategias implica el trabajo participativo de todos los actores involucrados, constituyendo así una herramienta idónea para la mejora en la gestión del recurso hídrico y que permita a su vez mantener la sostenibilidad de la microcuenca.

RECOMENDACIONES

Tras finalizar este estudio se recomienda seguir con el análisis de la huella hídrica en la microcuenca Alao en un futuro con el fin de determinar si existe o no una significativa disminución de esta.

Se recomienda fomentar la educación ambiental en cada uno de los habitantes de los alrededores de la microcuenca debido a que muchas personas no comprenden la finitud de los recursos hídricos y su conexión directa con la salud de los ecosistemas acuáticos y que esta podría contribuir a la contaminación del agua con sus acciones diarias.

A nivel global, la falta de educación ambiental sobre el agua también se refleja en la falta de participación ciudadana en la formulación de políticas y prácticas sostenibles, es por ello por lo que se debe hacer partícipe de cada una de las actividades que respectan al uso y consumo de este recurso para que en un futuro no exista escases del mismo.

Reforzar los medios de investigación y conocimiento de la HH con el fin de que este tipo de estudios relacionados con la sostenibilidad ambiental se sigan realizando en cada una de las microcuencas de Chimborazo, estos resultados serán indispensables para la toma de decisiones sobre este recurso, sin embargo, deberán basarse y apoyándose en fuentes de información certificada para reducir errores al momento de obtener resultados.

Se recomienda la implementación de la planta de tratamiento en la zona de estudio de esta investigación, no obstante poner en marcha de una planta de tratamiento requiere una evaluación cuidadosa de las necesidades, un diseño adecuado del sistema, la obtención de permisos, la construcción de la planta, la capacitación del personal y el monitoreo continuo del sistema. Estos parámetros ayudarán a garantizar que la planta de tratamiento funcione de manera efectiva y contribuya a la protección del agua y el medio ambiente

GLOSARIO

m.s.n.m = Metros sobre el nivel del mar

°C = Grados centígrados

ml = Mililitros

L = Litros

L/s = Litros por segundo

M = Metro

s = Segundos

m² = Metros cuadrados

m³/s = Metros cúbicos por segundo

m³ = Metros cúbicos

m³/año = Metros cúbicos por año

T = Tonelada

ha = Hectárea

Kg = Kilogramo

DBO₅ = Demanda Bioquímica de Oxígeno

HH = Huella Hídrica

HH Verde = Huella Hídrica Verde

HH Azul = Huella Hídrica Azul

HH Gris = Huella Hídrica Gris

MRA = Microcuenca del Río Alao

Evap = Evapotranspiración

DA = Disponibilidad de agua

EA = Escases de agua

\sum **HH** = Sumatoria de la huella hídrica

NCA = Índice de contaminación del agua

APW = Producción aparente de agua

APL = liberación de tierra o producción aparente

Kc = Coeficiente de cultivo

FAO = Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

GAD = Gobierno Autónomo descentralizado

BIBLIOGRAFÍA

1. **GAD Pungala.** PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL 2019 - 2023. [En línea] 24 de Marzo de 2023. [Citado el: 03 de Septiembre de 2023.] https://www.edicioneslegales-informacionadicional.com/webmaster/directorio/EE_230324-0808.pdf.
2. **Sánchez, Eliana.** Valoración ambiental del recurso hídrico de la parroquia de Cubijíes, cantón Riobamba provincia de Chimborazo. [En línea] 2018. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/10539/1/236T0398.pdf>.
3. **Tolón , Alfredo , Lastra, Xavier y Fernández, Víctor .** HUELLA HÍDRICA Y SOSTENIBILIDAD DEL USO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS. [En línea] 13 de Mayo de 2013. [Citado el: 09 de Septiembre de 2023.] <https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-41205/61articulo.pdf>.
4. **Zárate, Érika , Fernández, Alex y Kuiper, Derk .** GUÍA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA EN UNA CUENCA HIDROGRÁFICA. [En línea] 2017. [Citado el: 01 de Septiembre de 2023.] <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/2996/BVE17068913e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
5. **Cámara de Comercio de Valencia.** HUELLA HIDRICA. *CUADERNO DE COMERCIO Y SOSTENIBILIDAD*. [En línea] 2018. [Citado el: 10 de Octubre de 2023.] <http://www.fao.org/land-water/overview/es/>.
6. **OTCA.** ANÁLISIS DE LAS DEMANDAS DE FORTALECIMIENTO DE LAS INSTITUCIONES RESPONSABLES POR LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA CUENCA DEL RÍO AMAZONAS. [En línea] 2014. [Citado el: 10 de OCTUBRE de 2023.] <https://iwlearn.net/resolveuid/e6523dc7a59310169eb2bbe2ebafe260>.
7. **Gualli Guaman, Luz Elena.** VALORACIÓN ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE LAS MICROCUENCAS DE LOS RÍOS ALAO Y MAGUAZO DE LA PARROQUIA PUNGALÁ, CANTÓN RIOBAMBA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO. *Repositorio Digital UNACH*. [En línea] 2022. [Citado el: 15 de Noviembre de 2023.] <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/9313/1/Gualli%20Guamán%2C%20L%282022%29%20Valoración%20económica%20y%20ambiental%20de%20las%20Microcuencas%20de%20los%20Ríos%20Alao%20y%20Maguazo%20de%20la%20Parroquia%20Pungalá%2C%20Cantón%20Riobamba%2C%20Provin>.
8. **Gutierrez Torres, Mónica Gisela .** Análisis del impacto y costos de los volúmenes de producción de agua en tres campos de la Gerencia Operativa para la implementación de mejores prácticas en el marco de los compromisos de sostenibilidad. [En línea] 27 de Junio de 2023.

[Citado el: 03 de Noviembre de 2023.]
[/https://repository.urosario.edu.co/server/api/core/bitstreams/90dc9483-abe7-4672-9305-920c35856b9c/content](https://repository.urosario.edu.co/server/api/core/bitstreams/90dc9483-abe7-4672-9305-920c35856b9c/content).

9. **Hoyos Chaverra, Melissa Andrea.** Assessment of the Hydraulic Footprint of the Cold River Hydrographic Sub-Basin in the Department of Cundinamarca As a Tool for Environmental Sustainability. [En línea] 23 de Junio de 2020. [Citado el: 06 de Octubre de 2023.]
[/https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/36203/HoyosChaverraMelissaAndr ea2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/36203/HoyosChaverraMelissaAndr ea2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

10. **Yalta, Juan , y otros.** Huella hídrica de la producción lechera en la cuenca ganadera Pomacochas, Perú. [En línea] 19 de Abril de 2022. [Citado el: 19 de Septiembre de 2023.]

11. **Fuerte Velázquez, Diana Janeth.** Evaluación de la huella hídrica en la producción de aguacate y fresa en municipios de la Subcuenca de Cointzio. Un análisis de vulnerabilidad hídrica. [En línea] Enero de 2022. [Citado el: 12 de Noviembre de 2023.]
http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/6785.

12. **González, Karen.** Cuantificación de la huella hídrica de la microcuenca del Río Sunuba en el municipio de Guayatá Boyacá. *RIUCaC*. [En línea] Noviembre de 2018. [Citado el: 28 de Septiembre de 2023.] <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/65bd5ffd-be57-4f8f-bc14-58a04b43e2e6/content>.

13. **Guamán Eras , Juan Pablo.** Sostenibilidad ambiental de la huella hídrica azul y gris directa para la ciudad de Loja, Ecuador. *BAN*. [En línea] 2022. [Citado el: 20 de Octubre de 2023.]

14. **Fernández Guayasamín, Aldaír Vicente.** Evaluación de la Huella Hídrica del Banano en la Provincia de Los Ríos, 2018. *UTEQ*. [En línea] 2018. [Citado el: 15 de Octubre de 2023.]
<https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/3939>.

15. **Berrones Paca, Jhenny Monserrath y Moreta Espin, Jorge Christian.** Evaluación de la huella hídrica de la microcuenca del Río Chimborazo en el fortalecimiento de su gestión y política comunitaria. [En línea] Julio de 2018. [Citado el: 12 de Octubre de 2023.]
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/10409>.

16. **Álvarez Salan, Paulina Alexandra y Andrade Ávila,, Lisbeth Elizabeth.** Evaluación De La Huella Hídrica De La Microcuenca Del Río Cebadas En El Fortalecimiento De Su Gestión Y Política Comunitaria. [En línea] 26 de Abril de 2021. [Citado el: 11 de Octubre de 2023.]
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/14640>.

17. **Cevallos Gaibor, Cinthia Fernanda.** Evaluación de la huella hídrica azul de la ciudad de Riobamba, cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo, Ecuador. [En línea] Febrero de 2021. [Citado el: 9 de Octubre de 2023.] <http://hdl.handle.net/2117/340353>.

18. **Ordoñez, Juan.** Balance Hídrico Superficial. [En línea] 2021. [Citado el: 02 de Noviembre de 2023.] https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/balance_hidrico.pdf.
19. —. ¿QUÉ ES CUENCA HIDROLÓGICA? [En línea] 2020. [Citado el: 12 de Noviembre de 2023.] http://www.gwp.org/Global/GWP-SAm_Files/Publicaciones/Varios/Cuenca_hidrologica.pdf.
20. **Ambuludí Pardo, Paola Karina y Cueva Villalta, Ana Ayde .** “ZONIFICACIÓN AMBIENTAL DE LA MICROCUENCA LA CAPILLA, ORIENTADA AL ORDENAMIENTO DE SU TERRITORIO”. [En línea] Julio de 2019. [Citado el: 20 de Noviembre de 2023.] [https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/5770/1/Ambuludi Pardo Paola %26 Cueva Villalta Ana.pdf](https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/5770/1/Ambuludi%20Pardo%20Paola%20Cueva%20Villalta%20Ana.pdf).
21. **Hoekstra, Arjen, y otros.** Manual de evaluación de la huella hídrica. [En línea] 2021. [Citado el: 23 de Noviembre de 2023.] https://waterfootprint.org/media/downloads/Water_Footprint_Assessment_Manual_Spanish.pdf.
22. **González Peñalver, José Miguel .** Evaluación de la huella hídrica de las actividades del Banco de Alimentos de Navarra. [En línea] Junio de 2021. [Citado el: 09 de Noviembre de 2023.] <https://bancoalimentosnavarra.org/wp-content/uploads/2021/11/BAN-Estudio-huella-hidrica.pdf>.
23. **Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica.** [En línea] 2022. [Citado el: 28 de Noviembre de 2023.] <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/03/Informe-plnata-central-rendicion-de-cuentas-2017.pdf>.
24. **Asamblea Nacional.** *REGLAMENTO LEY RECURSOS HIDRICOS USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA.* 2015.
25. **Secretaría del Agua.** PLAN NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE 2019 - 2027. [En línea] Diciembre de 2019. [Citado el: 23 de Noviembre de 2023.] https://prefecturadeesmeraldas.gob.ec/docs/8_plan_nacional_de_riego_y_drenaje.pdf.
26. **MINISTERIO DEL AMBIENTE, AGUA Y TRANSICIÓN ECOLÓGICA.** Plan Estratégico Institucional. [En línea] 2021. [Citado el: 15 de Noviembre de 2023.] <http://ide.ambiente.gob.ec:8080/mapainteractivo/>.
27. **Arévalo Uribe, Diego y Campuzano, Claudia .** Evaluación de la Huella Hídrica en la cuenca del río Porce. [En línea] Mayo de 2013. [Citado el: 06 de Diciembre de 2023.] https://cta.org.co/descargables-biblionet/agua-y-medio-ambiente/Evaluacion_de_la_Huella_Hidrica_en_la_cuenca_del_rio_Porce-Mayo_2013.pdf?
28. **Lozano Chamorro, Daniela y Cortés González, Nicolás.** Evaluación de la huella hídrica del proceso productivo del arroz (*Oryza sativa*) en el municipio del Espinal – Tolima y su incidencia ambiental en el área de influencia. [En línea] Enero de 2018. [Citado el: 27 de

Noviembre de 2023.]

https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1382&context=ing_ambiental_sanitaria%0Ahttp://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/20481/41101223_2018.pdf?sequence=1.

29. **CADIS**. Huella de Agua (ISO 14046) en América Latina. [En línea] 2018. [Citado el: 15 de Diciembre de 2023.] <https://cadis.academy/e-learning/course/index.php?categoryid=4>.

30. **Constitución de la Republica del Ecuador**. *CONSTITUCION DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR 2008*. s.l. : LEXIS, 2008.

31. **Ministerio de Gobierno**. *CODIGO ORGANICO ORGANIZACION TERRITORIAL AUTONOMIA DESCENTRALIZACION*. 2019.

32. **Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica**. *CODIGO ORGANICO DEL AMBIENTE*. 2017.

33. **Duque Torres, Diana Vanessa y Guali Guamán, Luz Elena**. Valoración económica y ambiental de las Microcuencas de los Ríos Alao y Maguazo de la Parroquia Pungalá, Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo. [En línea] 30 de Junio de 2022. [Citado el: 14 de Diciembre de 2023.] <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/9313>.

34. **Alcivar, Pablo, y otros**. ANÁLISIS ECOTOXICOLÓGICO DEL MAIZ Y LECHUGAFRENTE A DIFERENTES SUSTANCIAS: DISEÑO EXPERIMENTAL. [En línea] 8 de Febrero de 2024. [Citado el: 20 de Febrero de 2024.] <https://www.collegesidekick.com/study-docs/3403506>.

35. **Alvarez Santana, Vicente Ruisdael y Cevallos Rodríguez, Eduardo Gil**. “Diagnostico Socioeconómico, Ecológico Y Elaboración De Un Plan De Manejo De La Microcuenca Del Rio Alao”. [En línea] 2018. [Citado el: 23 de Febrero de 2023.] <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4070>.

36. **Herrera Castellanos, Mario**. FORMULA PARA CÁLCULO DE LA MUESTRA POBLACIONES FINITAS. *Hospital Roosevelt*. [En línea] Julio de 2019. [Citado el: 10 de Enero de 2024.] <https://investigacionpediahr.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/01/formula-para-cc3a1lculo-de-la-muestra-poblaciones-finitas-var-categorica.pdf>.

37. **Picuña Vilema, Alexander David y Pilamunga Zabala, Lizbeth Micaela**. Determinación de parámetros hidráulicos en las microcuencas de Alao y Cebadas de la provincia de Chimborazo. [En línea] 2023. [Citado el: 26 de Enero de 2024.] <http://www.nber.org/papers/w16019>.

38. **Mathiesen**. La Espuma en el Agua. *INDUAMBIENTE*. [En línea] Diciembre de 2021. [Citado el: 26 de Enero de 2023.] <https://www.induambiente.com/informe-tecnico/aguas/la-espuma-en-el-agua>.

39. **Salinas Delgado, Génesis Mirlet.** Análisis de calidad de agua y plan de manejo para el recurso hídrico la sabana del cantón Pasaje, Provincia de El Oro. [En línea] 2022. [Citado el: 15 de Enero de 2023.] <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/12825>.
40. **Chamorro, Gladys.** ESTIMACIÓN DEL CAUDAL POR EL MÉTODO DE FLOTADORES. [En línea] SENAMHI, 2018. [Citado el: 23 de Febrero de 2023.] http://www.senamhi.gob.pe/usr/cdc/AFORO_X_FLOTADORES.pdf.
41. **Navarro Racines, Carlos .** Modelación de Cultivos/CROPWAT. [En línea] CIAT, 2019. [Citado el: 13 de Diciembre de 2023.] <https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/107445/1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
42. **FAO.** CLIMWAT. *Tierras y Aguas*. [En línea] 2024. [Citado el: 12 de Marzo de 2024.] <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/climwat-for-cropwat/es/>.
43. **ailimpo.** HUELLA HÍDRICA DEL LIMÓN EN ESPAÑA. [En línea] Water Footprint Network, 2021. [Citado el: 23 de Octubre de 2023.] <https://www.ailimpo.com/wp-content/uploads/2022/02/Huella-hídrica-del-limón-en-España.pdf>.
44. **Lala ,Henry Daniel.** PRODUCCIÓN DE AGUA EN LA MICROCUCIENCA DEL RÍO PITA MEDIANTE LA DETERMINACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA Y DISPONIBILIDAD DE AGUA”. [En línea] 02 de Junio de 2018. [Citado el: 23 de Septiembre de 2023.] <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/13246>.
45. **Arguedas Villalobos, Silvia .** ESTIMACIÓN DEL VALOR BRUTO DE LA PRODUCCIÓN PARA GANADO BOVINO. [En línea] Febrero de 2020. [Citado el: 23 de Octubre de 2023.] <https://www.bccr.fi.cr/indicadores-economicos/DocCuentasNacionales2017/Metodologia-modelo-cria-de-ganado-bovino.pdf>.
46. **Seo, Mijin, Lee, Haejin y Kim, Yongseok.** Relationship between Coliform Bacteria and Water Quality Factors at Weir Stations in the Nakdong River, South Korea. [En línea] Noviembre de 2019. [Citado el: 3 de Febrero de 2024.] <https://doi.org/10.3390/w11061171>.
47. **Saavedra, Carlos .** La sostenibilidad de la gestión de cuencas: una experiencia desde lo local. [En línea] 2019. https://www.researchgate.net/publication/332208081_La_sostenibilidad_de_la_gestion_de_cuenas_una_experiencia_desde_lo_local.
48. **SENPLADES.** Plan de creación de oportunidades 2021-2025. [En línea] 2021. [Citado el: 06 de Abril de 2024.] https://observatorioplanificacion.cepal.org/sites/default/files/plan/files/Plan-de-Creación-de-Oportunidades-2021-2025-Aprobado_compressed.pdf.
49. **Izaguirre Vázquez, Álvaro.** Fertilización de Maíz en la Ciénega de Chapala, Jalisco, México. *Intagri*. [En línea] 2019. [Citado el: 23 de Mayo de 2024.]

<https://www.intagri.com/articulos/cereales/fertilizacion-de-maiz-en-cienega-chapala-jalisco-mexico#:~:text=De%20acuerdo%20con%20los%20resultados,aplicar%20cualquier%20otro%20fertilizante%20nitrogenado..>

50. **Aucancela Guanolema, Verónica Janneth , y otros.** Cálculo de la recarga hídrica potencial en los páramos de la Parroquia Pungalá. [En línea] 13 de Mayo de 2022. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9042643.pdf>.

Total 50 referencias bibliográficas.



ANEXOS

Anexo 1: Reconocimiento del área de estudio





Anexo 2: Levantamiento de información primaria (Entrevista)





Anexo 3: Levantamiento de información primaria (Encuestas)



Anexo 4: Toma de muestras

PUNTO 1: Tramo alto





PUNTO 2: Tramo medio



PUNTO 3: Sector poblado



PUNTO 5: Desembocadura del río



Anexo 5: Medición del caudal





Anexo 6: Aval de la tesis del grupo de investigación



CERTIFICADO

A QUIEN INTERESE:

CERTIFICO QUE: Por medio de la presente, se hace constar que los estudiantes **Joselyn Anabel Armas Armas y Joel David Barragán Gallegos**, identificados con las cédulas de identidad **060553604-4** y **171876795-5**, respectivamente, pertenecientes a la carrera de Ingeniería Ambiental, llevarán a cabo el Trabajo de Integración Curricular titulado: "**EVALUACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO ALAO EN EL FORTALECIMIENTO DE SU GESTIÓN Y POLÍTICA COMUNITARIA**". Dicho trabajo forma parte del Grupo de Investigación para la Sostenibilidad de Cuencas Hidrográficas (GISOCH).

El presente Trabajo de Integración Curricular contribuirá significativamente a la consecución de los objetivos establecidos por el mencionado grupo de investigación, motivo por el cual se otorga el **AVAL** correspondiente para llevar a cabo las diferentes actividades y se brindará el apoyo técnico necesario que los estudiantes requieran.

Es importante destacar que los resultados obtenidos del Trabajo de Integración Curricular serán considerados patrimonio intelectual del Grupo de Investigación GISOCH, el cual otorga el presente **AVAL** en conjunto con la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 09 de junio de 2023.

Atentamente,



Ing. Andrés Agustín Beltrán D. MSc.
COORDINADOR DEL GRUPO GISOCH



Anexo 7: Formato de encuesta aplicada

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

"Evaluación de la huella hídrica de la microcuenca del río Alao en el fortalecimiento de su gestión y política comunitaria"

1. Información Demográfica

- a) Edad: _____
- b) Género:
- Masculino Femenino Otro
- c) Localidad:
- Llaotapamba San Antonio de Alao
- e) Ocupación: _____

2. Consumo de Agua

- a) ¿Qué importancia tiene el agua para usted?
- Alta
- Media
- Baja
- b) ¿Utiliza el agua del río Alao?
- Sí
- No
- c) En base a la pregunta anterior, ¿Para qué utilizas el agua del río Alao?
- Bañar
- Lavar la ropa
- Riego de cultivos
- Preparar alimentos
- Dar de beber a animales
- Otras actividades (especificar): _____
- d) ¿Con qué frecuencia realiza el riego de cultivos?
- Todos los días
- Pasando un día
- Dos veces por semana
- e) ¿Conoces la cantidad aproximada de agua que utilizas diariamente? Sí No
- Si conoces la cantidad aproximada, indícala en litros: _____

3. Información del sector

- a) ¿Sabe cuáles son los meses más lluviosos en este sector? Indique cuales
- Sí _____
- No
- b) ¿Sabe cuáles son los meses más secos en este sector? Indique cuales
- Sí _____
- No

c) ¿Qué tipo de cultivo suele cosechar con mayor frecuencia?

d) ¿Qué tipo de abono utiliza en sus cultivos?

- Natural
- Químico

e) ¿Tipo de ganado es representativo del sector?

4. Conciencia Ambiental

a) ¿Qué conoce sobre el río Alao?

b) ¿Ha escuchado hablar de la huella hídrica antes de esta encuesta?

- Sí
- No

c) ¿Le preocupa el agotamiento de los recursos hídricos en tu región?

- Sí
- No

d) ¿Está dispuesto a realizar cambios en su estilo de vida para reducir su huella hídrica?

- Sí
- No
- No estoy seguro/a

e) ¿Qué tipo de cambios estaría dispuesto a hacer para reducir su huella hídrica? (Seleccione todas las que correspondan)

- Reducir el uso de agua en el riego
- Reducir el uso de agua en el Hogar
- Usar productos de limpieza ecológicos
- Reutilización y reciclaje

5. Gestión del Agua

a) ¿Está informado sobre medidas de gestión del agua que se están realizando en la región del río? (ejemplo: programas de conservación, legislación sobre el uso del agua, etc.)

- Sí
- No

b) ¿Crees que se deberían implementar más programas de educación sobre la conservación del agua y la huella hídrica en la región?

- Sí
- No
- No estoy seguro/a

Anexo 8: Resultado de análisis del laboratorio, P3



LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES

Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación No. SAE LEN 17-012

N° SE 047 - 23



INFORME DE ANALISIS

NOMBRE: Joel David Barragán Gallegos¹
EMPRESA: Proyecto de Tesis ESPOCH¹
DIRECCIÓN: Sánchez de Orellana y Juan Bautista Aguirre¹
TELÉFONO: 0985954319¹

INFORME N°: 047 - 23
N° SE: 047 - 23

FECHA DE RECEPCIÓN: 22/11/2023
FECHA DE INFORME: 30/11/2023

NÚMERO DE MUESTRAS: 1, Agua natural, Río Atao¹
IDENTIFICACIÓN: MA-103-23 Río Atao¹

TIPO DE MUESTRA:

Agua natural

Condiciones Ambientales	T máx:	25 °C
	T mín:	10 °C

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de la obtención de las muestras.

RESULTADO DE ANÁLISIS

MA-103-23

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
pH	-	PE-LSA-01	7,23	+/- 0,08	22/11/2023
* Color Aparente	UPt-Co	STANDARD METHODS 2120 C	40	N/A	22/11/2023
* DBO5	mg O ₂ /l	STANDARD METHODS 5210 - B	2,6	N/A	22/11/2023
* Nitrato - N	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - NO3 - E	4,8	N/A	22/11/2023
* Fosfatos	mg/l	STANDARD METHODS 3500 Mg - 3111B	0,17	N/A	22/11/2023
* Sabor	-	STANDARD METHODS 2160 B	No objetable	N/A	22/11/2023
* Olor	-	STANDARD METHODS 2150 B	No objetable	N/A	22/11/2023
* Turbidez	NTU	STANDARD METHODS 2130 B	2,48	N/A	22/11/2023

MÉTODOS UTILIZADOS: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 23ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 23ª EDICIÓN.
REGLA DE DECISIÓN ACORDADA: No aplica

- Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).
- Los ensayos marcados con (*) no se encuentran dentro del alcance de acreditación del SAE.
- 1. Información proporcionada por el cliente. LSA no se responsabiliza de dicha información.
- Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.
- LSA libera su responsabilidad por la información proporcionada por el cliente y el uso que se le dará a los resultados.

Página 1 de 2

L.S.A. Campus Máster Edison Riera Km 1 ½ vía a Guano Bloque Administrativo.





LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES

Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación No. SAE LEM 17-012



Nº SE 047 - 23

RESPONSABLES DEL ANALISIS:

Dr. Juan Carlos Lara R., Mg.
Ing. Jose Latome S., MSc.


Dr. Juan Carlos Lara R., Mg.
TECNICO, S.A.

-
- Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizad(a)s.
 - Los ensayos marcados con (*) no se encuentran dentro del alcance de acreditación del SAE.
 - Información proporcionada por el cliente. LSA no se responsabiliza de dicha información.
 - Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.
 - LSA libera su responsabilidad por la información proporcionada por el cliente y el uso que se le dará a los resultados.

Anexo 9: Certificado CONAGOPARE



Consejo Nacional de Gobiernos Parroquiales
Rurales del Ecuador.

CERTIFICADO

Quien suscribe Ing. Marco Alvarez B. Técnico de Planificación CONAGOPARE CHIMBORAZO, tiene a bien en certificar que;

La Señorita, JOSELYN ANABEL ARMAS ARMAS con CI: 060553604-4; y el Señor JOEL DAVID BARRAGÁN GALLEGOS con CI: 171876795-5 pertenecientes a la carrera de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, desarrollaron en el marco de su investigación de tesis titulada "EVALUACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO ALAO EN EL FORTALECIMIENTO DE SU GESTIÓN Y POLÍTICA COMUNITARIA". Actividades de campo tales como: **toma de muestras, con fecha 3 de agosto del 2023** y levantamiento de encuestas en la Comunidades de Alao perteneciente a la Parroquia Pungalá.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando a los interesados hacer uso del presente documento como sea pertinente.

Riobamba, 23 de mayo del 2023

Ing. Marco Alvarez B.
UNIDAD DE PLANIFICACIÓN
CONAGOPARE CHIMBORAZO



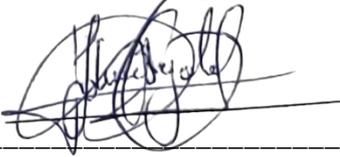
CHIMBORAZO



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega:

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: Joselyn Anabel Armas Armas Joel David Barragán Gallegos
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Ambiental
Título a optar: Ingeniera Ambiental Ingeniera Ambiental
 ----- Ing. Sofía Carolina Godoy Ponce Directora del Trabajo de Titulación  ----- Ing. Johanna Elizabeth Ayala Izurieta Asesora del Trabajo de Titulación