



1859

UNL

Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Agrícola

**Disponibilidad hídrica superficial de las microcuencas del cantón Zapotillo
perteneciente a la cuenca hidrográfica Puyango.**

**Trabajo de Integración Curricular,
previa a la obtención del título de
Ingeniero Agrícola**

AUTOR:

Brandon Rodrigo Ulloa Loja

DIRECTOR:

Ing. Edison Ramiro Vásquez Ph.D.

Loja – Ecuador

2024

Educamos para Transformar

Certificación



unl

Universidad
Nacional
de Loja

Sistema de Información Académico
Administrativo y Financiero - SIAAF

CERTIFICADO DE CULMINACIÓN Y APROBACIÓN DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo, **Vasquez Edison Ramiro**, director del Trabajo de Integración Curricular denominado **Disponibilidad hídrica superficial de las microcuencas del cantón Zapotillo pertenecientes a la cuenca hidrográfica Puyango**, perteneciente al estudiante **BRANDON RODRIGO ULLOA LOJA**, con cédula de identidad N° **1106090218**.

Certifico:

Que luego de haber dirigido el **Trabajo de Integración Curricular**, habiendo realizado una revisión exhaustiva para prevenir y eliminar cualquier forma de plagio, garantizando la debida honestidad académica, se encuentra concluido, aprobado y está en condiciones para ser presentado ante las instancias correspondientes.

Es lo que puedo certificar en honor a la verdad, a fin de que, de así considerarlo pertinente, el/la señor/a docente de la asignatura de **Integración Curricular**, proceda al registro del mismo en el Sistema de Gestión Académico como parte de los requisitos de acreditación de la Unidad de Integración Curricular del mencionado estudiante.

Loja, 29 de Febrero de 2024



F)

**DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR**



Certificado TIC/TT.: UNL-2024-000456

1/1
Educamos para **Transformar**

Autoría

Yo, **Brandon Rodrigo Ulloa Loja**, declaro ser autor del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido de la mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Integración Curricular en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.



Firma:

Cédula de identidad: 1106090218

Fecha: 18 de junio de 2024

Correo electrónico: brandon.ulloa@unl.edu.ec

Teléfono o celular: 0979666268

Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica de texto completo, del Trabajo de Integración Curricular.

Yo, **Brandon Rodrigo Ulloa Loja**, declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular titulado **Disponibilidad hídrica superficial de las microcuencas del cantón Zapotillo perteneciente a la cuenca hidrográfica Puyango**, como requisito para optar el título de **Ingeniero Agrícola**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja, a los diez y ocho días del mes de julio del año dos mil veinte y cuatro.



Firma:

Autor: Brandon Rodrigo Ulloa Loja

Cédula: 1106090218

Dirección: El Capulí

Correo electrónico: brandon.ulloa@unl.edu.ec

Teléfono: 0979666268

Celular: 0979666268

DATOS COPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Integración Curricular: Ing. Edison Ramiro Vásquez, Ph.D.

Dedicatoria

Este trabajo primeramente es dedicado a Dios, por ser el inspirador y darme la fuerza necesaria para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados que es terminar mi carrera universitaria y convertirme en una gran profesional y servir a las demás personas con todos mis conocimientos, gracias a Él he logrado concluir mi carrera.

A mis queridos padres quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no tener las adversidades porque Dios está conmigo siempre, por no dejarme solo en este proceso que es formarme como profesional, a toda mi familia que siempre me impulsaron a seguir y poder lograr esta meta su apoyo incondicional fue muy importante para mí.

A todas las personas que me ayudaron a formarme como profesional con su apoyo y conocimientos, brindándome consejos para ser mejor persona y sobre todo superarme en mi campo de formación, gracias por la paciencia, confianza que siempre me dieron. A mis docentes que me han enseñado y guiado profesionalmente en el transcurso de mi carrera, a todos mis compañeros por su colaboración y confianza brindada y a personas externas que me ayudaron de alguna manera en el proceso de mi carrera profesional.

Brandon Rodrigo Ulloa Loja

Agradecimiento

Mi agradecimiento muy especial para la Universidad Nacional de Loja y los docentes de la carrera de Ingeniería Agrícola, quienes con sus conocimientos y paciencia se convirtieron en la base fundamental de mi formación profesional.

Así también me es justo reconocer el esfuerzo y dedicación del Ing. Ramiro Vásquez por su guía, paciencia en el desarrollo de mi trabajo de integración curricular y por su enorme calidad de docencia.

A mis queridos padres, familia, a una amiga especial, compañeros y a todas las personas que contribuyeron de alguna u otra forma para el desarrollo de mi carrera y de mi trabajo de integración curricular.

Por otro lado, me es grato extender un cordial y especial agradecimiento al Ing. Fernando González, quien me permitió toda la apertura a sus conocimientos, desarrollar sus prácticas preprofesionales y fortalecimiento en el desarrollo de mi proyecto de investigación.

Brandon Rodrigo Ulloa Loja

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación.....	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de tablas:.....	ix
Índice de figuras:	x
Índice de anexos:.....	xi
1. Título	1
2. Resumen	2
Abstract.....	3
3. Introducción.....	4
4. Marco Teórico	8
4.1. Planificación y desarrollo agrícola	8
4.1.1.Planificación en una cuenca hidrográfica.....	8
4.2. Hidrología.....	9
4.2.1.Ciclo hidrológico	10
4.2.2.Disponibilidad hídrica	10
4.2.3.Calidad del agua	11
4.2.4.Estaciones meteorológicas.....	11
4.3. Cuenca hidrográfica.....	11
4.3.1.Partes de una cuenca hidrográfica	12
4.3.2.Clasificación de cuencas hidrográficas	12
4.3.3.Parámetros morfológicos de la cuenca	13
4.3.4.Sistema de información geográfica	17
4.4. Métodos de medición caudales.....	17
4.4.1.Caudales	18
4.4.1.1.Escorrentía superficial	19
4.4.2.Métodos de aforo	19
4.4.2.1.Aforos directos.....	19
4.4.2.2.Aforos indirectos.....	20

4.5. Fuentes hídricas	21
4.6. Disponibilidad de agua en Zapotillo.....	22
4.7. Estimación de la oferta hídrica	22
5. Metodología.....	25
5.1. Descripción del área de estudio.....	25
5.2. Diseño y enfoque de la investigación	26
5.3. Metodología para el primer objetivo	27
5.3.1. Objetivo 1: Descripción física y morfométrica de las microcuencas del cantón Zapotillo pertenecientes a la cuenca hidrográfica Puyango	27
5.4. Metodología para el segundo objetivo	30
5.4.1. Cuantificación de la oferta hídrica de las microcuencas del cantón Zapotillo pertenecientes a la cuenca hidrográfica Puyango.	30
6. Resultados.....	34
6.1. Descripción física y morfométrica de las microcuencas del cantón Zapotillo perteneciente a la cuenca hidrográfica Puyango.	34
6.1.1. Unidad hidrográfica Cazaderos	34
6.1.2. Unidad hidrográfica El Caucho	36
6.2. Cuantificación de la oferta hídrica de las microcuencas del cantón Zapotillo perteneciente a la cuenca hidrográfica Puyango.	38
6.2.1. Unidad Hidrográfica Cazaderos	38
6.2.2. Unidad Hidrográfica El Caucho	40
6.2.3. Oferta hídrica disponible	41
7. Discusión	42
7.1. Descripción física y morfométrica de las microcuencas del Cantón Zapotillo perteneciente a la cuenca hidrográfica Puyango.	42
7.2. Cuantificación de la oferta hídrica de las microcuencas del cantón Zapotillo perteneciente a la cuenca hidrográfica Puyango.	45
8. Conclusiones.....	48
9. Recomendaciones	49
10. Bibliografía.....	50
11. Anexos.....	59

Índice de tablas:

Tabla 1. Clasificación de las cuencas hidrográficas por la superficie	14
Tabla 2. Valoración de forma.	15
Tabla 3. Valoración coeficiente de Horton.	15
Tabla 4. Valoración del tipo de relieve.	16
Tabla 5. Características físicas de las unidades hidrológicas Cazaderos y El Caucho	34
Tabla 6. Parámetros morfométricos de Unidad Hidrográfica Cazaderos	35
Tabla 7. Parámetros generales Unidad Hidrográfica El Caucho	37
Tabla 8. Escorrentía superficial ($l/s/km^2$) en la unidad hidrográfica Cazaderos.....	39
Tabla 9. Escorrentía superficial de la unidad hidrográfica El Caucho	40

Índice de figuras:

Figura 1. Cuenca hidrográfica Puyango.....	25
Figura 2. Cuencas hidrográficas seleccionadas en el Cantón Zapotillo.....	26
Figura 3. Evaluación de oferta hídrica.....	31
Figura 4. Curva Hipsométrica Unidad Hidrográfica Cazaderos.....	36
Figura 5. Distribución espacial de cauces en la Unidad Hidrográfica Cazaderos.	36
Figura 6. Curva hipsométrica de la Unidad Hidrográfica El Caucho.	38
Figura 7. Distribución espacial de los cauces en la Unidad Hidrográfica El Caucho.	38
Figura 8. Intervalo al 95 % de confianza del caudal estimado y esorrentía observada para la unidad hidrográfica Cazaderos.	39
Figura 9. Intervalo al 95 % de confianza de esorrentía estimada y esorrentía observada para la unidad hidrográfica El Caucho.	41
Figura 10. Oferta hídrica disponible.	41

Índice de anexos:

Anexo 1. Resumen de cobertura vegetal de las unidades hidrográficas Cazaderos y El Caucho	59
Anexo 2. Resumen de uso de suelo de las unidades hidrográficas (Cazaderos y El Caucho).	59
Anexo 3. Resumen de áreas de cultivos de las unidades hidrográficas (Cazaderos y El Caucho).....	60
Anexo 4. Longitud de los cauces unidad hidrográfica Cazaderos.	60
Anexo 5. Longitud de los cauces de la Unidad hidrográfica El Caucho.	60
Anexo 6. Medición de caudales de unidad hidrográfica Cazaderos.	61
Anexo 7. Medición de caudales de unidad hidrográfica El Caucho.	62
Anexo 8. Certificado de la realización del abstract	63

1. Título

Disponibilidad hídrica superficial de las microcuencas de Zapotillo pertenecientes a la cuenca hidrográfica Puyango.

2. Resumen

El recurso hídrico disponible en una unidad hidrográfica desempeña un papel fundamental en la gestión integral de las cuencas, desarrollo agrícola, desarrollo sostenible del área de influencia y sectores vinculados al crecimiento económico, entre otros. Sin embargo, este recurso no se distribuye equitativamente debido a la falta de conocimiento de las fuentes disponibles y a una mala gestión, lo que origina el desabastecimiento de agua. Mediante la aplicación de modelos matemáticos cuantitativos y cualitativos, visitas de campo, recopilación de información y el uso de software especializados, se realizó la caracterización física y morfométrica de las unidades hidrográficas Cazaderos y El Caucho del cantón Zapotillo correspondientes a la cuenca Puyango. Con el uso del molinete hidráulico y la identificación de los afluentes con caudales permanentes se estimó la disponibilidad hídrica. Además, mediante la aplicación de métodos matemáticos cuantitativos como el uso de ecuaciones e interpolaciones se corroboraron los datos in situ con los estimados. Las unidades hidrográficas poseen pendientes poco pronunciadas, terrenos poco accidentados, formas alargadas y suelos resistentes a la erosión; lo que genera baja disponibilidad de agua para ser aprovechada en el sector agropecuario debido a la mayor parte de sequía que existe en el año. Esto se debe a la presencia de altas temperaturas y temporadas largas de sequía a lo largo del año. La presencia de lluvia en los primeros meses del año produce una oferta estacional que condiciona el desarrollo agropecuario, de esta parte del cantón Zapotillo. Entre las unidades hidrográficas estudiadas, la unidad hidrográfica Cazaderos (678,48 mm/año) es la que presenta mayor volumen que con una gestión integral y control de las aguas contaminadas que desembocan se puede aprovechar el recurso hídrico para mejorar las condiciones de vida de los pobladores de la zona.

Palabras clave: unidad hidrográfica, morfometría, caudal, disponibilidad hídrica.

Abstract

Water resources available in a hydrographic system are crucial for the integrated management of watersheds, agricultural development, sustainable growth of the surrounding areas, and various sectors associated with economic progress. However, the inequitable distribution of this resource, caused by inadequate knowledge of available sources and ineffective management, leads to water shortages. The physical and morphometric characterization of the hydrographic systems of Cazaderos and El Caucho in Zapotillo canton, part of the Puyango basin, was conducted using quantitative and quantitative mathematical models, field surveys, data collection and specialized software. Water availability was estimated using quantitative a hydraulic flow meter and identifying tributaries with permanent flows. In addition, field data was corroborated with estimates using mathematical methods such as equations and interpolation. The hydrographic units have steep slopes, little rugged terrain, elongated shapes and soils resistant to erosion, which generates low water availability to be used in the agricultural sector due to most of the drought that exists during the year. Due to the presence of high temperatures and long drought seasons throughout the year, rainfall in the early months is seasonal or minimal. This condition affects the development of agriculture in this northern part of the Zapotillo canton. The Caucho hydrographic system, identified with the highest flow among those studied with 678,48 mm/year, could enhance local living conditions through effective management and control of polluted water discharge.

Keywords: hydrographic unit, morphometrics, flow rate, water availability.

3. Introducción

El agua, como recurso natural, facilita el progreso social, promueve la equidad y combate la pobreza de los pueblos. Además, tiene un destacado papel en la economía y es un componente indispensable para la producción agrícola (Molina-Salgado, 2021). El agua es de vital importancia para nuestra sociedad, ya que es un recurso indispensable para el desarrollo y la supervivencia de la misma. Juega un papel crucial en la economía, ya que es necesaria para la producción y el funcionamiento de casi todas las industrias; sin embargo, a pesar de su importancia, este recurso vital se enfrenta a graves amenazas debido a la contaminación, el cambio climático y la gestión insostenible. Por lo tanto, es crucial que la sociedad tome medidas para proteger y conservar este recurso invaluable.

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2021) indica que el 40 % de la población mundial está fuertemente afectada por la escasez de agua y para los años venideros más de dos tercios de la población se enfrentará a problemas relacionados. Además, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2005) manifiesta, el agua debe ser un recurso eficiente y equitativo, lo cual no se cumple, dado que existe una mala distribución; al respecto, varias regiones en el mundo evidencian crisis por el agua; aunque existen reservas, solo el 2,5 % es agua dulce.

A nivel mundial, la disponibilidad de agua afronta grandes retos relacionados con la escasez, crecimiento poblacional y cambios radicales en los estilos de vida de las personas. El sector de la agricultura consume aproximadamente el 70 % del agua disponible proveniente de la precipitación, ríos, lagos y acuíferos; el sector industrial consume el 20 % y para las actividades domésticas se destina el 10 % (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, 2019).

El estudio de la demanda hídrica a nivel mundial y nacional es relevante, entre otras razones, por constituir un recurso esencial para la vida y el desarrollo humano. El agua es un recurso natural cada vez más escaso debido al efecto del cambio climático y la progresiva demanda; frente a esta realidad se pretende mejorar la gestión y las prácticas en el manejo del agua, siendo un aspecto fundamental la correcta cuantificación (BBVA, 2020).

La disponibilidad del agua depende del balance hídrico, principalmente de la relación entre la precipitación y lo que se pierde por la evaporación en los cuerpos de agua superficiales (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México, 2013). Para la Secretaría

Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2017), la disponibilidad hídrica de una cuenca hidrográfica corresponde al volumen total de agua ya precipitada sobre ella y puede ser utilizada para riego y distintas actividades agropecuarias; además, ayuda a optimizar la operación y maximizar el uso de los recursos hídricos disponibles.

Para el año 2020 América Latina disponía 13 477 km³ de recursos hídricos renovables anualmente, de ellos, 252 km³ proceden de la extracción natural y se destina el 71 % para la agricultura, 10 % en el sector industrial y 19 % al consumo de uso doméstico (CEPAL, 2005). En los últimos años, el recurso hídrico en la zona de la cordillera de los Andes está siendo afectado por el cambio climático, lo que acelera y genera procesos de impacto negativo en los glaciares andinos, da como resultado riesgo de desabastecimiento a la población y las actividades productivas.

El Ecuador cuenta con 79 cuencas hidrográficas y una gran diversidad de ecosistemas andinos, y también la presencia de bosques secos (Laraque *et al.*, 2004); con especies de flora y fauna que dependen del agua para su supervivencia; motivo más que suficiente para garantizar el uso sostenible y equitativo del recurso para proteger la biodiversidad y los servicios ambientales que brinda.

La Fundación Futuro Latinoamericano (FFLA, 2021) manifiesta, el agua es el principal recurso para la vida y el desarrollo del país, el Estado ecuatoriano enfrentará serios problemas en la gestión del recurso hídrico lo que motiva a la generación de modelos de gestión de agua que garanticen el uso y aprovechamiento, asegurar el manejo y sostenibilidad de las fuentes generadoras y receptoras de agua.

Ecuador dispone de alrededor 361 747 m³ de agua superficial que se distribuye: en la Amazonia (65,9 %), Costa (17,6 %) y Sierra (16,5 %). Este recurso se ve ya afectado por la sobreexplotación de los recursos dando como resultado que más de la mitad de las fuentes de agua no son de buena calidad para el consumo humano (Plan Nacional de Riego y Drenaje, 2019).

En la provincia de Loja uno de los factores principales que afecta al acceso del recurso hídrico es el relieve, carece de extensiones planas y existe un 86 % de relieves montañosos; así mismo el 42 % presentan problemas de erosión (Armijos-Marín, 2020). En el cantón Zapotillo los sistemas productivos son esenciales para la economía del cantón, aunque enfrentan desafíos como la escases de agua, estos periodos largos en el año se los conoce como estación seca sin

presencia de lluvia que inicia aproximadamente en el mes de mayo y termina en el mes de diciembre; se suma a ello la inadecuada gestión del agua, y finalmente la necesidad de mejorar e implementar infraestructuras de riego que en la mayoría del norte de Zapotillo no existe; cantón perteneciente a la cuenca hidrográfica binacional Puyango-Tumbes ubicada al Sur del Ecuador y Norte del Perú.

La cuenca binacional Puyango-Tumbes, tiene una importancia geopolítica, productiva, económica y social; con una extensión de 3.662,55 km², el 66.7 % se encuentra en territorio ecuatoriano; con una población de 104 299 habitantes, en la cual se desarrollan actividades que contribuyen al bienestar de los pobladores; como la producción agrícola que ejecuta más del 80% de las familias, la actividad minera, a pesar de ser una de las más contaminantes, destaca por la importancia económica (Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, 2015).

La distribución de los recursos hídricos se estudia a nivel social y de gestión, sin embargo, se debe analizar desde un enfoque multidisciplinario, es decir tomando el lado cualitativo y también cuantitativo, en otras palabras, analizando la realidad de la oferta y demanda del recurso hídrico. Este análisis sumado a la escases de datos de oferta, disponibilidad de agua, datos de caudales de los principales afluentes de la cuenca hidrográfica; demanda la necesidad del desarrollo de esta investigación.

El resultado de la disponibilidad del recurso hídrico, aportara como insumo en instituciones públicas y privadas; organizaciones relacionadas a la gestión integral del recurso hídrico, para la toma de decisiones en el territorio de las unidades hidrográficas que forman parte del estudio ubicadas al Norte del cantón Zapotillo. Los resultados tomaron como base metodología del IDEAM 2015-2020, y datos tomados *in situ*, que sirvieron para corroborar y validar datos de estimación de caudal y escorrentía dentro del balance hídrico para estimar la disponibilidad hídrica.

La investigación forma parte del proyecto “Disponibilidad del recurso hídrico en la unidad hidrográfica Puyango correspondiente a la provincia de Loja”, línea de investigación de la Universidad Nacional de Loja “Sistemas de Producción Agropecuaria para la Soberanía Alimentaria”, núcleo de conocimientos de la carrera de Ingeniería Agrícola “Los Recursos Suelo y Agua con fines de Riego y Drenaje” y contribuye al objetivo 6 del Plan Nacional de Desarrollo del Ecuador 2021-2024 “Desarrollar las capacidades productivas y del entorno para lograr la soberanía alimentaria y el Buen Vivir rural”.

Objetivo general

- Aportar a la planificación agrícola mediante la cuantificación del recurso hídrico en la zona de influencia de la cuenca hidrográfica Puyango en el cantón Zapotillo.

Objetivos específicos

- Describir física y morfométrica las microcuencas del cantón Zapotillo perteneciente a la cuenca hidrográfica Puyango.
- Cuantificar la oferta hídrica de las microcuencas en el cantón Zapotillo perteneciente a la cuenca hidrográfica Puyango.

4. Marco Teórico

4.1. Planificación y desarrollo agrícola

La Planificación según Robbins y Coulter (2005) “consiste en clasificar y ordenar las metas de una organización para establecer una estrategia general para alcanzarlas y proponer planes exhaustivos para coordinar e integrar el trabajo de organización, se ocupa tanto de los fines como de los medios” (p. 158). La planificación implica anticipar los resultados que la organización quiere lograr e identificar las acciones necesarias para alcanzar la meta final (Hill, 2016). De esta manera, estos autores coinciden en que es un proceso que relaciona la elaboración y organización de un plan para lograr un objetivo a desarrollar. En el ámbito de la administración, la planificación es fundamental para establecer metas claras e identificar los recursos necesarios y óptimos para diseñar estrategias y alcanzar los resultados deseados.

Para School (2004), la Planificación agrícola permite optimizar el uso de los recursos disponibles, como el agua, la tierra y los diferentes insumos agrícolas para lograr una producción eficiente; está direccionada a una acción de fortalecimiento de capacidad de productores, promoción de la seguridad alimentaria, diversificación de cultivos y reducir los monocultivos, mejora o incremento de la infraestructura rural y generación de oportunidades económicas en las zonas rurales.

El desarrollo es un procedimiento dinámico de transición de la sociedad hacia condiciones de óptima calidad de vida, requiere de un conjunto de sistemas de apoyo formado por estructuras sociales, económicas, ambientales, políticas y geográficas (Irausquín, C., y Colina, J, 2016). En referencia al desarrollo de un país, se refiere al objetivo primordial de generar riquezas propias y conseguir ritmos acelerados de producción (School, 2004).

El orden y planificación del territorio es un pilar fundamental de un enfoque de desarrollo integrado destinado a incrementar los ingresos de las familias en las zonas rurales y mejorar las condiciones de vida en las zonas prioritarias de desarrollo (González *et. al*, 1997).

4.1.1. *Planificación en una cuenca hidrográfica*

El Gobierno de Colombia (2022) lo define como estrategias que se encaminan a la gestión y el uso sostenible del agua que se genera y distribuye por toda la cuenca hidrográfica relacionándola con las dinámicas presentes en el territorio, de esta manera asegurando el

aprovechamiento eficiente del recurso hídrico, garantizando su conservación para las generaciones futuras debido que la existencia de los ecosistemas depende de él.

Los recursos naturales en la producción agrícola son fundamentales en el desarrollo de los cultivos, debido que asegura un máximo potencial y condiciona a recibir mejores características de un producto. Estos recursos los agricultores utilizan en el proceso de producción agrícola son: el suelo, agua, clima y vegetación natural (Fernández, 2015). Los elementos más importantes de estos recursos naturales relacionados con el desarrollo agrícola son: temperatura, vegetación natural, evaporación o radiación solar, precipitación media, recurso hídrico y disponibilidad de agua superficial. Estos recursos ayudan de gran manera en la fertilidad de las plantas, incide directamente al crecimiento o desarrollo de los cultivos, es decir, los suelos ricos en nutrientes generan un correcto desarrollo de los cultivos y por consecuente una mayor productividad.

El suelo como factor influyente en la producción según la ONU (2015) es el fundamento del sistema alimentario, es decir, son la base del medio donde crecen todas las plantas que se destinan a la producción agrícola. La disponibilidad de alimentos depende de los suelos, no se pueden producir alimentos nutritivos y de buena calidad si no son suelos sanos y vivos, entonces, la calidad de los productos está directamente relacionados a calidad de los suelos.

El agua es un recurso fundamental para la producción agrícola ya que cumple un papel importante dentro de la seguridad alimentaria, además, sirve como insumo para el regadío que representa el 20% del total de la superficie cultivada aportando al 40% de la producción total (Banco Mundial, 2023). Así mismo la mayor parte del agua que se utiliza en las granjas para el riego proviene de ríos y arroyos, debido a las demandas máximas de riego agrícola estas superan lo que puede proporcionar de la red pública es por esto que en muchas zonas existe un déficit de agua (Pérez, 2021).

4.2. Hidrología

Es una ciencia que tiene la función de estudiar todas las dinámicas de las fuentes de agua de los ríos, océanos, y acuíferos pequeños; es decir estudia todas las propiedades físicas, químicas, mecánicas, su distribución y su flujo en todo el planeta (Meléndez, 2021).

Actualmente se operan software y herramientas que analizan y monitorean datos en tiempo real las condiciones del agua para garantizar la seguridad y contribuir al crecimiento económico de la zona de estudio. El ciclo del agua es un tema de investigación dentro de la rama de la hidrología debido al papel que tiene las altas y bajas temperatura, modifican el recurso a lo largo de este ciclo, donde en estado líquido se mueve y ocasionalmente viaja por distancias grandes abasteciendo a poblados aledaños a la fuente de agua (Mora, 2020).

4.2.1. *Ciclo hidrológico*

Como lo señala Ondarse (2017) el origen de las fuentes hídricas es el ciclo hidrológico, que consiste en un proceso por el cual el agua pasa por los diferentes componentes de la hidrosfera. El ciclo hidrológico es un sistema donde el agua circula en estados líquido hacia la atmosfera, para luego precipitarse a la superficie terrestre, el agua pasa de un estado a otro permitiendo que el agua circule de manera continua en la atmosfera (Formaggio, 2021). De esta manera el ciclo hidrológico es de gran importancia para la producción agrícola debido a que asegura el suministro de agua necesaria para las distintas actividades productivas el riego de los cultivos. A través de la evaporación, condensación y precipitación el agua se redistribuye en forma de lluvia o humedad de suelo lo que proporciona la cantidad de agua necesaria para el crecimiento de las plantas.

Las aguas superficiales según Roths Schuh (2021) son aquellas que se las puede encontrar sobre la tierra, es decir, son aquellas que podemos ver a simple vista que no están bajo tierra. Estos cuerpos de agua recogen el agua de las lluvias, nacimientos de agua y de los escurrimientos que provienen de otras fuentes de agua y su destino final tiene a un cuerpo de agua más grande como puede ser hasta el océano. Del mismo modo Zarza (2019) señala que las aguas superficiales son las aguas continentales, es decir, masas de agua que se encuentran en la superficie de la tierra. Estas aguas pueden ser corrientes que fluyen en una dirección específica o estancadas o que están en reposo.

4.2.2. *Disponibilidad hídrica*

La disponibilidad hídrica de una cuenca corresponde al volumen total del agua ya precipitada en todo este lugar, está disponible para ser utilizado para el riego, generación de energía eléctrica y abastecimiento de agua potable (SENAMHI, 2017). Según SEMARNAT (2013), la disponibilidad natural de agua depende del balance entre el agua

proveniente de la precipitación y de lo que se pierde por la evaporación en los cuerpos de agua disponibles y por procesos de evapotranspiración vegetal.

4.2.3. *Calidad del agua*

Según Juárez (2023) la calidad del agua específicamente para cultivos es un factor importante que afecta en el éxito de los cultivos que se desarrollen, esto depende de la composición química del agua, incluyendo el pH y los niveles de iones lo que está directamente relacionado al crecimiento de las plantas. Del mismo modo Monge-Redondo (2017) señala que la calidad del agua para riego está ligada a la combinación suelo – agua – planta, debido a que se debe considerar el efecto de la calidad del agua para lograr un equilibrio en el suelo y considerar que no solo depende del efecto sobre la nutrición de la planta.

El equipo multiparámetro según Junco (2015) se trata del equipo de medición de campo más utilizado cuando se realiza monitoreo de calidad de agua; mide simultáneamente, parámetros físicos, químicos, como el pH, temperatura, conductividad, entre otros. También se denomina peachímetro.

4.2.4. *Estaciones meteorológicas*

Según Meléndez (2022), una estación meteorológica es un lugar, ya sea en tierra o en el mar, equipado con instrumentos y dispositivos para la medición, registro y envío periódico de datos recolectados a una base de datos central. De acuerdo con estos resultados se generan datos que aportan a la creación de información de valor que puede ser utilizado para conocer las condiciones meteorológicas y climáticas de un lugar cercano a donde este instalada, realizar pronósticos meteorológicos de los modelos numéricos para predicción y cálculo de nuevos modelos matemáticos y dar origen a alertas específicas ante fenómenos meteorológicos que pueden estar relacionado a un estudio que se esté desarrollando. La Estación Meteorológica para la agricultura posibilita un mayor monitoreo, a través de datos, de todas las variables ambientales y agronómicas que afectan el crecimiento de los cultivos (MAHER, 2021).

4.3. **Cuenca hidrográfica**

Las cuencas hidrográficas son áreas geográficas definidas por los límites naturales de los ríos y sus afluentes principales y secundarios, donde toda el agua fluye hacia un punto común como un lago, un mar o un océano. Son indispensables para el desarrollo del ciclo del

agua y desempeñan un papel crucial en la disponibilidad y calidad del agua, contribuyendo al crecimiento económico de poblaciones que depende su economía a factores relacionados con el agro. Según Bordino (2021) es una depresión en el suelo rodeada por un terreno más alto donde se acumula el agua de la lluvia o del deshielo. Juegan un papel importante en el ciclo del agua porque permiten la circulación de alrededor del 30 % del agua dulce de la Tierra que fluye a través de cuencas hidrológicas. Durante las precipitaciones en la cuenca el agua se evapora con altas temperaturas, infiltrándose en el terreno o circulando pendiente abajo a través de su afluente.

4.3.1. *Partes de una cuenca hidrográfica*

El Departamento General de Irrigación (2016) señala que una cuenca hidrográfica está dividida en tres secciones: la parte alta corresponde principalmente a las áreas montañosas o cabeceras de los cerros limitadas en su parte superior por líneas divisorias de aguas. En esta zona las pendientes resultan elevadas, los valles estrechos y los procesos fluviales que prevalecen y son erosivos. Parte media es la zona donde el cauce principal mantiene un curso más definido. La pendiente es menos abrupta que la anterior y los procesos erosivos son más moderados. Reciben aportes de cauces menores. Parte baja es la zona donde se produce un cambio abrupto de pendiente, el río desagua o desemboca en zonas bajas. El trazado del curso es divagante o sinuoso donde prevalece el proceso de sedimentación.

4.3.2. *Clasificación de cuencas hidrográficas*

Según Valdivieso (2016) los tipos de cuencas se pueden distinguir en función de la dirección de las evacuaciones de las aguas y son:

Cuencas abiertas o exorreicas: drenan sus aguas al mar o océano.

Cuenca cerrada o endorreicas: desembocan en lagunas, lagos y otros.

Cuencas arreicas: cuyas aguas se evaporan o se filtran en el terreno antes de encauzarse en una red de drenaje.

Según Álvarez-Jiménez *et al.* (2021), los elementos biofísicos de una cuenca hidrográfica corresponden al relieve, la geología, el suelo, la vegetación, el clima y la red de drenaje. Estos elementos tienen la capacidad para influir en la cantidad y calidad del agua en la cuenca, así como en la dinámica de los flujos de agua, la erosión del suelo y la biodiversidad.

Es importante tener en cuenta que el relieve y la geología que posea determinan la forma y la capacidad de retención de agua de la cuenca lo que dicta la poca o alta disponibilidad de agua, mientras que el suelo y la vegetación influyen en la infiltración y la retención del agua de las fuentes naturales; el clima afecta la cantidad y distribución de las precipitaciones, y la red de drenaje define el curso y la dirección de los flujos de agua en la cuenca. Estos elementos biofísicos son fundamentales para comprender la dinámica hidrológica y la gestión sostenible de las cuencas hidrográficas.

4.3.3. *Parámetros morfológicos de la cuenca*

Villegas (2013) expresa, el análisis morfométrico de las variables como superficie, relieve y drenaje de una cuenca es importante debido que permiten conocer las características físicas, facilita la comparación con distintas cuencas lo que incluye la medición de parámetros como la longitud del cauce principal, la densidad del drenaje y pendientes del terreno, que pueden ser utilizados para comprender la dinámica hídrica y su capacidad de ser aprovechada (Ochoa, 2023).

Los parámetros de forma de una cuenca son el área, perímetro, forma, longitud del cauce principal, además, la determinación de coeficiente de Horton y factor de elongación como se detalla a continuación:

Según Fernández de la Vega (2012), el área de una cuenca es el parámetro más importante para determinar sus componentes hidrológicos, ya que existe una relación directa entre el tamaño del área y la cantidad de agua (caudal) generada por la precipitación en la cuenca. De igual forma, la cuenca hidrológica consta de partes alta, media y baja. Las cuencas aguas arriba corresponden a las cabeceras de montañas o cerros, cuya parte superior está delimitada por vertientes o cuencas hidrográficas. La cuenca media es donde se encuentran los arroyos superiores y donde los ríos principales mantienen un cierto curso (Ochoa, 2023)

La clasificación de una cuenca en relación a su área se califica de la siguiente manera: cuencas con una superficie superior a 50 000 ha, subcuencas con una superficie comprendida entre 5 000 y 50 000 ha y microcuencas con una superficie inferior a 5 000 ha. Los métodos como el Racional se usan ampliamente para estimar la escorrentía superficial donde mantienen una relación directamente proporcional entre el área y el flujo de precipitación prescrito sobre la cuenca hidrográfica (Ingenieriacivil, 2011). De acuerdo a estas premisas de estos autores puedo señalar que conocer el área de una cuenca hidrográfica es importante porque determina

la cantidad de agua que puede ser recolectada y almacenada, haciendo referencia al territorio geográfico que drena hacia un río principal y sus afluentes. A si mismo influye en la calidad del agua, debido a los procesos naturales y las actividades humanas que pueden afectar de cierta manera la composición química y la salud de los cuerpos de agua, además el área de la cuenca hidrográfica puede variar desde pequeñas cuencas de drenaje secundarias hasta grandes cuencas que abarcan extensas regiones geográficas (Tabla 1).

Tabla 1. Clasificación de las cuencas hidrográficas por la superficie

Área de la cuenca (km²)	Denominación
< 25	Muy pequeña
25 – 250	Pequeña
250 – 500	Intermedia- Pequeña
500 – 2 500	Intermedia- Grande
2 500 – 5 000	Grande
> 5 000	Muy grande

Fuente: Fernández de la Vega (2012)

El Perímetro comprende a la longitud del polígono que define los límites de la cuenca dependiendo la superficie y forma de la misma.

La forma de la cuenca ajusta la velocidad del escurrimiento superficial y la determinación de la forma de una cuenca se obtendrá por medio de una metodología que permite cubrir dos objetivos de un proyecto (Rojo, 2013). La forma participa de manera importante en las características del hidrograma de descarga de una determinada corriente de una cuenca, primeramente, en los eventos de avenidas máximas, las cuencas de igual área, pero de diferente forma, generan hidrogramas singulares. De esta manera se han buscado relaciones de similitud geométrica entre las características medias de una cuenca y de su red de canales.

Luego de la aplicación de la fórmula expuesta en la metodología se prosigue a clasificarlos en los distintos rangos de coeficientes de Gravelius (tabla 2).

Tabla 2. Valoración de forma.

Coeficiente	Denominación
1,00 - 1,25	Redonda
1,25 - 1,50	Ovalada
1,50 - 1,75	Oblón

Fuente: Fernández de la Vega (2012)

El Coeficiente de Horton corresponde a la relación entre el área y el cuadrado de la longitud de la cuenca lo cual denota la denominación adecuada (Tabla 3) para la cuenca dependiendo de las características que esta posea.

Tabla 3. Valoración coeficiente de Horton.

Rangos	Denominación
0,01 - 0,18	Muy poco achatada
0,19 - 0,36	Ligeramente achatada
0,37 - 0,54	Moderadamente achatada

Fuente: Fernández de la Vega (2012)

Es importante tener en cuenta que los factores geológicos son los encargados de dictar la forma a fisiología de una cuenca hidrográfica. Cuando el valor de K_f es superior a la unidad establecida el grado de achatamiento de la misma o de un río principal corto por lo tanto tiene una tendencia a concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa formando fácilmente grandes crecidas.

El Factor de elongación sirve para conocer si la cuenca tiene un relieve bajo o fuerte, donde se establece relación entre los valores de área (A) y longitud de la cuenca (L_c).

Los Parámetros de Relieve son importantes porque permiten conocer el comportamiento hidrológico de la cuenca; estos parámetros son: pendiente de la cuenca, elevación media, curva hipsométrica y pendiente del cauce.

Campos (2015) menciona que la pendiente de una cuenca hidrográfica es un parámetro importante porque tiene relación con la infiltración, la escorrentía y humedad del suelo, lo que establece la disponibilidad del agua determinando que cantidad se retiene y la que se escurre por medio del cauce a una determinada velocidad (Tabla 4).

Tabla 4. Valoración del tipo de relieve.

Pendiente media (%)	Tipo de relieve
< 3	Plano
3 – 7	Suave
7 – 12	Medianamente accidentado
12 – 20	Accidentado
20 – 35	Fuertemente accidentado
35 – 50	Muy fuertemente accidentado
50 – 75	Escarpado
> 75	Muy Escarpado

Fuente: Fernández de la Vega (2012)

La elevación media corresponde a la pendiente ponderada para toda la cuenca, es decir, la cual depende de la configuración o situación topográfica del terreno y al área total correspondiente (Rivas, 2017).

La curva hipsométrica es la representación gráfica de la variación altitudinal de una cuenca, por medio de una curva, tal que a cada altura le corresponde un respectivo porcentaje del área ubicada por encima de esa altura, es decir, representa el área acumulada en porcentaje contra la altura sobre el nivel del mar. Con la curva hipsométrica se conoce la distribución o representación gráfica de las variaciones del relieve de la cuenca. A partir de la curva hipsométrica se puede determinar la elevación media de la cuenca, la cual equivale a la cota correspondiente al 50% del área de la cuenca.

Los parámetros de perfil de la cuenca como la longitud del cauce principal vienen dada por la distancia equivalente que recorre el río entre el punto más bajo y el punto más alto situado a mayor altura de la topografía de la cuenca. Además, el orden de cauces corresponde a una clasificación que nos proporciona el grado de bifurcación dentro de la cuenca; los cauces de primer orden son los más pequeños, los de segundo orden son más grandes que los de primero, y los de tercer orden son aún más grandes que los de segundo orden. Esta clasificación jerárquica permite entender la estructura y la dinámica de la red de drenaje de una cuenca hidrográfica.

La pendiente del cauce es la variación de la inclinación de una cuenca, su determinación es importante para definir el comportamiento de la cuenca respecto al desplazamiento de las capas de suelo, puesto que, en zonas de altas pendiente se presentan con mayor frecuencia problemas de erosión mientras que en regiones planas aparecen principalmente problemas de drenaje y sedimentación (Campos, 2015).

La densidad de drenaje es un parámetro que indica la capacidad de una cuenca para evacuar las aguas que fluyen por su superficie (Gutiérrez, 2013). Las cuencas que posean una alta densidad de drenaje suelen tener una red de drenaje más densa y una mayor capacidad para transportar agua, en cambio una con baja densidad de drenaje posee problemas de acumulación de agua en diversas áreas.

El tiempo de concentración es considerado el tiempo de viaje de una gota de agua que escurre desde un punto más alto por toda la longitud de la cuenca hasta el punto de salida.

4.3.4. *Sistema de información geográfica*

Uno de los SIG más usados para el desarrollo de mapas es el *arcGIS 10.8* que es sistema muy completo donde se permite, organizar, recopilar, administrar y analizar información, además esta es una plataforma que es usada por personas de todo el mundo para poner el conocimiento geográfico al servicio de los sectores del gobierno, la empresa, educación entre otros (ESRI, 2021).

El uso de estos sistemas nos permite la identificación y delimitación de elementos representativos de una zona de estudio donde se quiera realizar una determinada evaluación de un área de afectación o interacción con actividades desarrolladas, infraestructura o diferentes temas que estén relacionados con el tema que se está desarrollando. En el aspecto del *software* del sistema permitirá plasmar datos geográficos por capas de información, las cuales, pueden representarse en formato vectorial o ráster, de esta manera representara elementos de la realidad de la zona de estudio (SEGAMBIENTAL, 2022).

4.4. **Métodos de medición caudales**

Hay diferentes formas de obtener datos de caudal según el tipo y propósito de los datos de caudal necesarios. De los principales y más usados son:

Los aforos de caudales consisten en determinar la cantidad de agua que pasa a través una sección transversal de un cuerpo de agua en un momento dado. Entre otras situaciones, el valor puede dar una idea de la cantidad de agua disponible para el cuerpo de agua y son datos útiles para estimar las cargas contaminantes, corriente portadora, su tiempo de viaje, que ayuda a generar programas de Protección del agua y sistemas hidrológicos, incluso prevención de desastres regionales ubicado debajo de la sección de medición (Área Metropolitana del Valle de Aburra, 2019). Para hacer una medición, se debe situar una sección transversal donde se mide la velocidad del agua para obtener valores de velocidad en relación al área. Este procedimiento implica las acciones coordinadas de un equipo de técnicos capacitados para efectuar dicha acción, puesto que uno de ellos debe ingresar al cuerpo de agua para efectuar la respectiva toma de niveles y longitudes de la sección transversal, y la velocidad que está presente. Esta información es un insumo para los análisis de calidad y sobre todo la cantidad del agua, por lo que las áreas donde son ejecutados deben coincidir con los puntos de la red de monitoreo para la toma de muestras de agua y análisis fisicoquímicos (AQUAFLOW, 2022).

4.4.1. *Caudales*

Para Medina (2015) es la cantidad de agua transportada por un fluido en una unidad de tiempo, normalmente se mide en litros por segundo (l/s), pero también se puede expresar en minutos (l/min). De esta manera los caudales se refieren al volumen de agua que fluye en un determinado punto de un río o cuerpo de agua en un período de tiempo específico como lo señala el autor anteriormente. Es una medida importante para comprender la cantidad de agua disponible en un sistema hídrico y para evaluar su capacidad de suministro para comunidades aledañas (Honda, 2021).

El caudal puede variar según las condiciones climáticas, la temporada del año y la geografía de la cuenca hidrográfica. Es influenciado por factores como la precipitación, el derretimiento de nieve, la evaporación y la infiltración del agua en el suelo.

Un caudal permanente es un flujo de agua que se mantiene constante o con variaciones mínimas a lo largo del tiempo en un curso de agua, puede ser una quebrada, ríos o arroyo (FAO, 1997).

4.4.1.1. Escorrentía superficial

Según Quiñones (2017), el agua generada por una cuenca en forma de flujo superficial y por tanto constituye la forma mas disponible de este recurso. El estudio de la escorrentía reviste gran importancia en la planificación de recursos hídricos y en el diseño de obras. En el manejo de las cuencas es muy importante ya que esta refleja el estado y comportamiento de la cuenca.

4.4.2. Métodos de aforo

4.4.2.1. Aforos directos

Los aforos directos se necesita principalmente algún aparato o procedimiento para medir el caudal. Un ejemplo de aforo directo es la medida tomada por un molinete que es principal instrumento para su realización.

El método del flotador debe usarse cuando los medidores de flujo no pueden utilizarse debido a la dificultad de acceso, velocidad y profundidad excesivas, presencia de material en suspensión, entre otros. Por lo tanto, el flotador debe soltarse lo suficientemente por encima de la sección transversal superior para alcanzar una velocidad constante antes de llegar a la primera sección transversal. Luego registre el tiempo que tarda el flotador en pasar por las tres secciones transversales (inicio, medio y final). En este sentido, la velocidad del flotador se determinará dividiendo la distancia entre las secciones transversales por el tiempo que tarda el flotador en recorrer esa distancia. Para obtener la velocidad promedio del segmento, se tomarán varias mediciones de la velocidad de la boya y el promedio de estas mediciones se multiplicará por un factor apropiado (Castaño, 2011).

El Molinete es un instrumento para medir la velocidad de agua de los distintos afluentes naturales. Estas mediciones se realizan mediante una hélice montada en un sistema de tubos, conectada por un cable formando así un conjunto completo que incluye un medidor de velocidad de corriente aerodinámico con hélice de plástico y un contador digital que indicara la velocidad del caudal a registrar (Maser, 2011).

El Método volumétrico consiste en la recolección de un volumen medido en un envase previamente calibrado durante un tiempo previamente definido. También, es aplicable en ductos con caída libre o naturales, y en caudales menores a 1,0 l/s y con tiempos de aforo no

inferiores a 60 segundos, utilizando un recipiente que permita capturar toda el agua que se descarga (SGS, 2023).

Por lo general, este método se emplea en vertimientos pequeños que se encuentran frecuentemente en riachuelos y ríos. Así también el caudal (C) es la relación de dividir el volumen de agua (V) entre el tiempo que tarde en recoger (T).

$$C = \frac{V}{T}$$

El procedimiento requiere de otra persona que debe portar un cronómetro que lo activará cuando se ingrese el recipiente y lo detendrá cuando se llegue al volumen requerido. Y, así repetirlo por 3 veces, anotando el volumen de agua y los tiempos, además es importante tener cuenta estas repeticiones porque son necesarios para tener un dato más exacto.

Los aforos químicos según Paz (2018) es una técnica que se usa en corrientes que representen dificultades para la aplicación del método área - velocidad o medidas con estructuras hidráulicas, como en corrientes muy anchas o en ríos torrenciales.

4.4.2.2. Aforos indirectos

Estos miden el nivel del agua en el cauce a raíz del nivel del flujo donde se estima el caudal. Se usa para calcular diariamente o en distintas ubicaciones de una cuenca teniendo en cuenta puntos estratégicos. Un ejemplo de aforo indirecto es la utilización con las escalas limnimétricas que corresponde a escalas en centímetros sobre el suelo para medir el nivel del agua presente (Valdivieso, 2016).

La correcta elección para desarrollar un aforo depende de factores como el caudal que se quiera aforar, como también de las condiciones del medio en el que se vaya a desarrollar lo que es crucial para obtener un aforo correcto con un dato real que lo represente.

El método correntómetro es un método de prueba cubre la medición del volumen del flujo de agua en canales abiertos mediante la determinación de la velocidad del flujo y el área de la sección transversal y el cálculo de la descarga de los mismos.

De esta forma, tiene como misión establecer los lineamientos para la medición del caudal en las corrientes de agua natural, este método es aplicable a la medición de caudal en cauces de agua de ríos, quebradas, riachuelos, arroyos, canales, tuberías de descarga o de vertimiento de aguas.

4.5. Fuentes hídricas

Una fuente de recurso hídrico describe al agua que está disponible en fuentes naturales como ríos, arroyos, lagos, embalses, manantiales y aguas subterráneas que proporcionan agua a los suministros públicos de agua potable y en el campo agrícola en procesos relacionados con el abastecimiento de agua para cultivos (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), 2021). Es importante tener en cuenta que sin un suministro adecuado de agua la producción agrícola se vería gravemente afectada, lo que podría llevar a la escasez de alimentos y a problemas de seguridad alimentaria (Portillo, 2013). De esta manera es importante tomar en cuenta la protección y conservación de estas fuentes de agua para garantizar la disponibilidad a largo plazo, lo que implica tomar medidas para prevenir la contaminación del agua, promover prácticas de uso eficiente del agua y mantener la salud de los ecosistemas acuáticos y sumado a esto un punto muy importante es la educación y participación de las comunidades en la gestión del recurso hídrico.

Lo mencionado por Wirtgen (2009), indica que la creciente presión de los recursos hídricos se debe principalmente a actividades humanas como la urbanización, el crecimiento de la población, el aumento del nivel de vida, la creciente lucha por el agua y la contaminación de los afluentes naturales cuyas consecuencias se ven agravadas por el cambio climático y las variaciones en las condiciones naturales

El agua para la agricultura está en el centro de todos los debates sobre los recursos hídricos y la seguridad alimentaria. Las fuentes pueden provenir de agua de lluvia, ríos, lagos, lagunas, deshielo y fuentes subterráneas. El uso de estos recursos debe hacerse de manera sostenible, debido a que depende de la climatología del área, es decir, de las precipitaciones que ahí se presenten lo que dictamina que el recurso sea abundante o sea muy escasa. El agua de riego corresponde a un fragmento de agua dulce disponible para plantaciones agrícolas. El agua superficial es un recurso limitado por lo que normalmente se requiere de la construcción de embalses, tanques y pozos lo cual implica un gran impacto ambiental (SOLEN, 2022). De esta manera coincidiendo con el autor las fuentes hídricas tienen un origen diverso y son esenciales para el suministro de agua potable y actividades relacionadas al desarrollo agrícola lo que su protección y conservación son fundamentales para garantizar la disponibilidad de agua limpia y segura, tanto para las necesidades humanas como para el equilibrio de los ecosistemas acuáticos.

4.6. Disponibilidad de agua en Zapotillo

Como lo señal BLOGGER (2016), las condiciones del cantón Zapotillo puntualmente la parte norte que está en la cuenca hidrográfica Puyango, presenta altitudes promedio de 835 m s.n.m; están presentes temperaturas promedio entre 22 y 27 °C con variaciones estacionales de acuerdo a las condiciones existentes o que se puedan presentar en el año. Las características de suelo que se evidencia son principalmente aridez que genera dificultades para el desarrollo de cultivos, sumado a las condiciones meteorológicas de poca presencia de lluvias y altas temperaturas provoca que los cultivos no posean las condiciones de agua necesaria para su correcto desarrollo; debido a esto los agricultores acuden a fuentes naturales como afluentes para satisfacer esta demanda.

En la cuenca del río Puyango en el cantón Zapotillo existe una realidad que algunos agricultores han visto necesario durante estas últimas décadas aprovechar las aguas del río que pasa por su comunidad para actividades domésticas y actividades mineras, lo que generó que estas fuentes no sean aptas para los cultivos. A medida que aumenta la demanda de agua dulce, es importante determinar su calidad y cuánta agua hay disponible y si es suficiente para satisfacer la creciente demanda. La importancia de realizar esta investigación es obvia a la luz de los problemas ambientales actuales, como el cambio climático, la deforestación, el desarrollo de la frontera agrícola, el hacinamiento, la quema de pastizales, el crecimiento de la población y la gran demanda de agua. Impactos negativos como flujo reducido y degradación acelerada de ecosistemas de tierras baldías (Oñate, 2015).

4.7. Estimación de la oferta hídrica

Según CORPOBOYACA, (2020) la oferta hídrica superficial concierne al volumen de agua que escurre por la superficie del cauce, teniendo en cuenta que no se infiltra o se evapora, y se concentra en los cauces de los afluentes o los distintos cuerpos de agua. Es estimada a través de los rendimientos hídricos y la esorrentía en las unidades espaciales de análisis definidos de forma anual y mensual para las condiciones hidrológicas de las épocas secas y húmedas. Así mismo el IDEAM (2014), menciona que al cuantificar la esorrentía superficial de una cuenca corresponde también al volumen disponible de recurso hídrico para satisfacer la demanda generada en las distintas actividades desarrolladas. Dentro de la estimación se toman en cuenta dos variables que son:

Según DIRECCION DE AGRICULTURA Y CONTINGENCIAS CLIMATICAS, (2021), la evapotranspiración es el valor que nos indica los milímetros de agua perdidos en un periodo de tiempo establecido, esto dado también, por la evaporación del agua del suelo y por la transpiración de la cobertura vegetal.

La escorrentía superficial es un proceso natural que forma parte del ciclo del agua, se producen de forma natural a causa de las precipitaciones y la influencia de fenómenos meteorológicos, por ende se señala que su aparición está relacionada al clima existente en el lugar como también la capacidad de infiltración de su suelo.

La importancia de la estimación de la oferta hídrica se centra en tener información precisa sobre la cantidad de agua de un determinado afluente, esta información es fundamental para la gestión adecuada de los recursos hídricos contribuyendo a la planificación y la toma de decisiones sobre la distribución y asignación del mismo. Una de estas investigaciones fue desarrollada en Colombia por (Castro-Aragón, 2022), donde utilizo una metodología en base de variables hidro climatológicas, visitas de campo, análisis cuantitativos, auto correlación de las variables climáticas y macro climáticas asociadas vinculadas a la modelación hidrológica para la oferta hídrica en el Parque Nacional Natural Farallones de Cali en la vertiente oriental. Así mismo la metodología de (Bracho-Palacios, 2021), la aplico en la investigación denominada " Estimación de la oferta hídrica y propuesta de gestión del recurso hídrico en la microcuenca hidrográfica del río El Ángel ", donde reafirma la importancia y relaciona las variables climatológicas con los distintos parámetros hídricos generadores de agua para conocer la disponibilidad hídrica en la parte norte del país.

Así mismo el PNDRD (2019) en el año 2010, la demanda de agua para riego en el Ecuador fue de 13 045 Hm³, es importante tener en cuenta que la demanda hídrica se relaciona con las actividades agrícolas sobre todo con la producción agropecuaria de exportación que garantiza la soberanía alimentaria el cual incluye pastos cultivados, actividades ganaderas y crianza de especies menores de agua dulce.

Uno de los mayores problemas de la provincia de Loja, específicamente en el cantón Zapotillo, es la escasez de agua tanto para consumo humano como para actividades agropecuarias, por lo que es importante analizar las características hidrogeológicas del área para determinar los recursos hídricos disponibles, con esta premisa, se han realizado estudios para promover información técnica para uso y protección de los recursos hídricos que se

centran en el desarrollo y la productividad de la población, generando estudios que promuevan información técnica para su aprovechamiento, uso y protección, centrados en las necesidades de la sociedad. Las pérdidas de producción por falta de riego que han sido reportadas en el cantón Zapotillo ocurrieron principalmente en los últimos años, siendo 1 443 ha afectadas bajo riego, dado que el sistema de riego Zapotillo no se encuentra operando al máximo de su capacidad (Freire, 2020).

Adicionalmente, es importante considerar que la demanda hídrica en la provincia está influenciada por factores como el crecimiento demográfico, el cambio climático y la variabilidad hidrológica, lo que hace necesario implementar medidas de gestión integrada del agua para asegurar su disponibilidad y calidad a largo plazo.

Así, Julcamoro (2017), indica que falta de información sobre el escurrimiento de los cauces de la red hidrográfica complica los trabajos de planificación, diseño, operación de los proyectos de aprovechamiento de agua; además, de los recursos hídricos en la cuenca están mal gestionados debido a la escasa representación de instituciones, recursos financieros insuficientes, infravalorados, capacidad de respuesta mínima por mala gestión de optimización, lo que conduce al deterioro de la calidad y cantidad de los recursos hídricos de las redes existentes.

De esta manera viene la importancia de este trabajo de investigación en la parte norte del cantón Zapotillo comprendido en la unidad hidrológica Puyango, cuya finalidad es conocer datos relacionados a la disponibilidad hídrica y cuál es su influencia dentro del desarrollo agrícola como también del crecimiento económico de la zona, el cual muchas veces se ve retardado por las condiciones ambientales del lugar lo que genera una mala distribución y gestión de este recurso lo que produce que este sea escaso o en algunos casos nulo.

5. Metodología

5.1. Descripción del área de estudio

La investigación se desarrolló en la unidad hidrográfica de la cuenca del río Puyango (Figura 1) correspondiente al cantón Zapotillo de la provincia de Loja, se ubica en las coordenadas: 565 528,70 S y 548 867,60 O, un clima Subtropical seco y temperatura de 27 °C aproximadamente. La cuenca abarca una superficie de 563,55 km², perímetro de 131 007 km, altitud de 1 075 m s.n.m; en la cuenca, entre otros. Como señala GORAYMI (2022) el cultivo de maíz (*Zea Mays*) representa el 80% del total de producción, y el 20% se distribuye en cultivos de frejol (*Phaseolus vulgaris*), yuca (*Manihot esculenta*), tamarindo (*Tamarindus indica* L.), mango (*Mangifera indica*), naranjas (*Citrus sinensis*) y otros; en la temporada seca (Mayo a Diciembre) se desarrollan principalmente cultivos como: tomate riñón (*Solanum lycopersicum* L.) y pimiento (*Capsicum annuum*)..

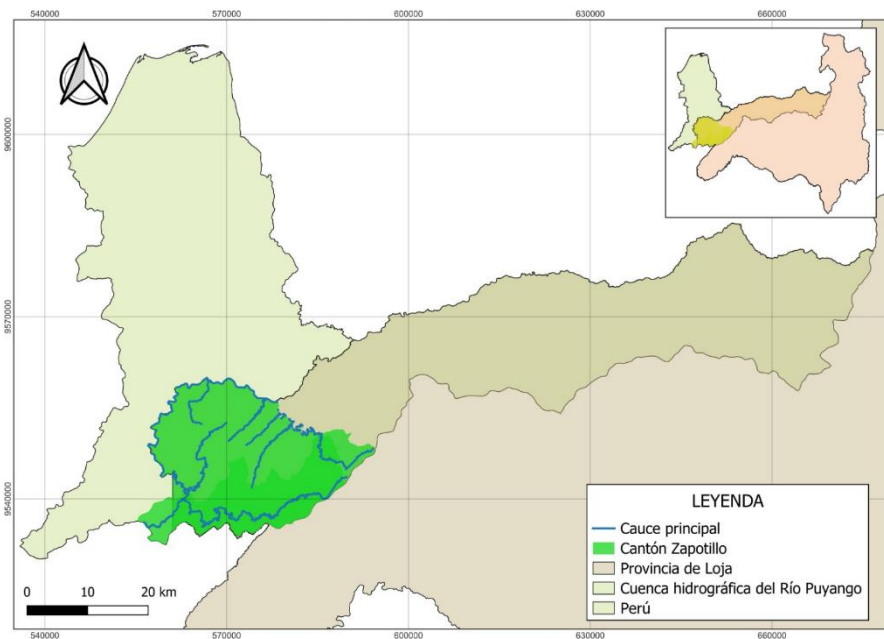


Figura 1. Cuenca hidrográfica Puyango.

En la unidad hidrológica que cubre las parroquias Paletillas, Bolaspamba, Cazaderos y Mangahurco, que se ubican al Norte del Cantón Zapotillo, se identificaron 10 microcuencas, de las cuales se consideraron la Cazaderos y El Caucho por presentar un caudal permanente (Figura 2); estas unidades hidrográficas presentan condiciones de caudal permanente debido a varios factores. En primer lugar, están ubicadas en áreas con un alto índice de precipitación pluvial en los primeros meses del año, lo que garantiza un flujo aprovechable de agua en los

ríos y arroyos que las atraviesan. Además, están alimentadas por quebradas más pequeñas que proporcionan un suministro de agua, incluso durante períodos de sequía, aunque esta sea mínima. Estas condiciones de caudal permanente son fundamentales para garantizar la disponibilidad de agua anual en las microcuencas seleccionadas; lo cual es aprovechado para realizar actividades productivas. Estos datos corroboran lo que menciona la Secretaria de Gestión de Riesgo (2019) la denominada “Región Tumbesina” se encuentra en las provincias de Azuay, Loja y parte del Perú; haciendo un enfoque en la zona Norte del cantón Zapotillo debido a su ubicación geográfica y características de aridez, se encuentra amenazada por efectos adversos de origen natural como sequias recurrentes y de nivel antrópicos la sobreexplotación y contaminación de fuentes de agua y se caracteriza por una vegetación dispersa y escasa, un clima seco y una corta temporada lluviosa de Enero a Abril (Moncayo, 2012).

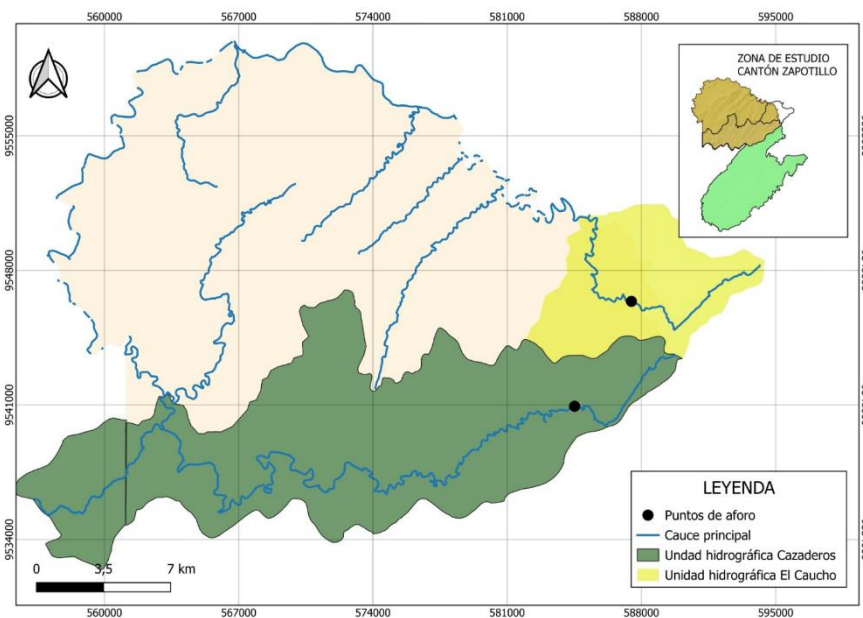


Figura 2. Cuencas hidrográficas seleccionadas en el Cantón Zapotillo.

5.2. Diseño y enfoque de la investigación

La cuantificación del recurso hídrico en la zona de influencia de la cuenca hidrográfica Puyango correspondiente al cantón Zapotillo, tiene el enfoque cuantitativo y descriptivo; en el cual se describe y explica las características externas generales de las microcuencas y posterior a ellos se realizó el estimado de la cantidad de agua superficial disponible.

La investigación inició por la recopilación de información básica antecedente, esta etapa permitió analizar la bibliografía existente en el tema, el estado del conocimiento y la evolución conceptual, a fin de conocer, caracterizar y sistematizar todo lo relacionado al recurso hídrico en la zona de estudio. Se recopiló información disponible, proveniente de fuentes públicas y privadas, con las siguientes características:

- Inventarios de fuentes de agua, estudios hidrológicos, caracterización morfológica de las cuencas, planes de ordenamiento territorial, entre otros.
- Fotografías aéreas, imágenes satelitales, modelos digitales de elevación.
- Mapas temáticos e Información cartográfica relativa a red de drenaje entre otros.

El reconocimiento de área de estudio en conjunto con el análisis de información de fotografías aéreas e imágenes satelitales se procederá a interpretar e identificar fuentes de agua existentes con el cual se elaboró el mapa base.

El trabajo de campo se realizó partiendo desde la división de unidades hidrográficas Cazaderos y El Caucho, seleccionadas en base a que presentan un caudal permanente durante todo el año, lo cual garantizó la presencia de caudal para el trabajo de campo.

5.3. Metodología para el primer objetivo

Descripción física y morfométrica de las microcuencas del cantón Zapotillo pertenecientes a la cuenca hidrográfica Puyango

Se realizó una recopilación de información en mapas topográficos, cartográficos, datos históricos y estudios existentes relacionados con la hidrología de la parte norte del cantón Zapotillo, con el fin de definir las variables relacionadas con precipitación, temperatura, escorrentía, entre otras; además, visitas de campo para evidenciar y corroborar las características físicas de la cuenca hidrográfica en el cantón Zapotillo.

En la morfometría de las unidades hidrográficas primeramente se delimitó la cuenca; utilizando la herramienta tradicional denominada *Hydrology* de *Spatial Analyst* en el *software ARCGIS 10.8* (2020), que generó mediante un modelo digital de elevación; e, identificó la parte alta, media y baja de la cuenca para determinar la red hídrica y características de la misma: dirección, pendiente predominante y divisoria de aguas; y, el reconocimiento de los afluentes de primer, segundo y tercer orden.

Con la delimitación del área de estudio se procedió a realizar la caracterización morfométrica correspondiente, obteniendo los parámetros generales, relieve, perfil y drenaje, como se indica en la “Guía básica para la caracterización morfométrica de cuenca hidrográficas” (Reyes Trujillo *et al.*, 2010) apoyándose en el *ARCGIS* 10.8 y el uso de hojas de cálculo para la estimación de valores.

Para el área se registró información digital del Geo portal del Instituto Geográfico Militar (IGM, 2023), primeramente la delimitación de la cuenca se partió de un modelo digital de elevación del área con *ARCGIS* 10.8, el relleno de huecos o depresiones existentes en la superficie con la herramienta “*Fill*”; se determinó la dirección mediante la herramienta “*Flow Direction*”; a partir de estas funciones y considerando la superficie del terreno, se determinó el área de drenaje en relación a la superficie de influencia con la herramienta “*Watershed*” y con la función “*Calculate Geometry*”; finalmente en la tabla de atributos se determinó el área total de la cuenca hidrográfica. La ubicación de los poblados se realizó en base a la información del Geo portal del (IGM), de acuerdo al área se realizó un corte de la zona de interés y se generó mapas temáticos con la distribución espacial de las fuentes de agua superficial y su relación con los poblados cercanos a los afluentes.

Parámetros de forma de la cuenca.

Se consideró la influencia de la escorrentía superficial para la estimación de los parámetros de forma de la cuenca, que se detallan a continuación.

Coefficiente de compacidad (K_c), se utilizó la fórmula de Gravelius (1914) que considera el perímetro (P) y el área (A) de la cuenca.

$$K_c = 0,282 * \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

Factor de forma (R_f) se utilizó la expresión matemática de Horton (1939), que considera el área (A) y la longitud (L_b) de la cuenca.

$$R_f = \frac{A}{L_b^2} \quad (2)$$

Factor de elongación (R_e) se empleó el área (A) y longitud de la cuenca (L_c), usando la ecuación de Schum:

$$R_e = \frac{D}{L_c} = \frac{1,1284\sqrt{A}}{L_c} \quad (3)$$

Parámetros de relieve:

Pendiente de la cuenca, se refiere a la relación del valor medio de inclinación del terreno respecto a la horizontal de la vertiente sobre el cual se sitúa la cuenca. Primero, se obtuvo un Modelo Digital de Elevación (MDE) de la cuenca. Luego, en la caja de herramientas de ArcGIS, se va a Spatial Analyst > Surface Analysis > Slope para generar un mapa de pendientes a partir del MDE, especificando las unidades (grados o porcentaje) y el factor Z. Posteriormente, se utilizó la herramienta Zonal Statistics en Spatial Analyst para calcular estadísticas zonales, seleccionando el shapefile de la cuenca como zona y el ráster de pendientes como valor; esto generará una tabla con la pendiente media de la cuenca

Elevación media, Para calcular la elevación media de una cuenca, primero se necesitó un Modelo Digital de Elevación (MDE) y un shapefile que delimite la cuenca. A continuación, se accedió a la herramienta Zonal Statistics dentro del módulo Spatial Analyst. En la ventana de Zonal Statistics, se seleccionó el shapefile de la cuenca como Zone dataset y el raster de elevación (MDE) como Value raster. Luego, se definió un nombre para la tabla de salida que contendrá los resultados. Al ejecutar la herramienta, se obtuvo una tabla que incluye la elevación mínima, máxima y media de la cuenca, permitiéndote analizar las características altimétricas del área de interés.

Curva hipsométrica, se graficó a partir de los datos obtenidos del ARCGIS 10.8 “Caja de herramientas de procesos”, “Análisis de terreno Ráster” y se seleccionó la Curva hipsométrica, previamente tomando en cuenta las características de cotas y áreas que cubre el cauce. Finalmente es desarrollada en la hoja electrónica estadística donde se ubica el área acumulada en el eje X y la diferencia de elevación en el eje Y.

Parámetros de perfil

Pendiente del cauce se calculó con la metodología de Inciso (2022), con la siguiente expresión matemática:

$$S_m = \frac{H_{m\acute{a}x} - H_{m\acute{i}n}}{L_c} \quad (4)$$

$$AT = \frac{b \cdot (H_1 + H_2)}{2} \quad (5)$$

Longitud del cauce principal, fue obtenido en ARCGIS 10.8 mediante la herramienta “Calculate Geometry”, clic derecho sobre la línea del cauce y se selecciona “Attribute Table”

para crear un campo nuevo en la tabla; *clic* derecho nuevamente en el nuevo campo y se selecciona “*Calculate Geometry*”, luego “*Length*”; se exportan los datos generados y se calculó sumando la longitud de todos los cauces.

Parámetros de drenaje

Densidad de drenaje (D_d), se estimó mediante la relación de la longitud (L) de la red de drenaje y el área (A) sobre el cual drenan las corrientes hídricas con la ecuación:

$$D_d = \frac{L}{A} \quad (6)$$

El tiempo de concentración (T_c), corresponde a lo que tarda una gota de agua que escurre superficialmente desde un punto de inicio hasta un final, para su estimación se utilizó la ecuación de Kirpich (1940), donde (L) es la longitud que existe desde el punto establecido hasta la divisoria y (S) pendiente media.

$$T_c = 0,000325 * \frac{L^{0,77}}{S^{0,385}} \quad (7)$$

Orden de cauce según Vega, (2020) describe la clasificación del método Horton-Strahler en: “Corrientes de primer orden son los pequeños caudales que no tienen tributarios. Corrientes de segundo orden se dan cuando dos corrientes de primer orden se unen. Corrientes de tercer orden surgen al unir dos de segundo orden y las de orden $n + 1$ cuando dos corrientes de orden n se unen” (p. 76).

5.4. Metodología para el segundo objetivo

Cuantificación de la oferta hídrica de las microcuencas del cantón Zapotillo pertenecientes a la cuenca hidrográfica Puyango.

Estimaciones a escala anual

Para determinar la disponibilidad de agua en la cuenca hidrográfica a través de la oferta hídrica anual, se tomo como base la metodología del IDEAM de Colombia (2015), usada en la segunda versión del Estudio nacional de agua “Balance Hídrico y relaciones demanda oferta en Colombia”, proyectados para los años 2015 y 2025. En este estudio la oferta hídrica superficial representa el volumen de agua continental que escurre por la superficie e integra los sistemas de drenaje superficial. Esta variable se analiza para unidades temporales anuales y mensuales en condiciones hidrológicas promedio.

En el siguiente esquema, se describe la metodología utilizada para la estimación de la oferta hídrica en el IDEAM (Figura 3):

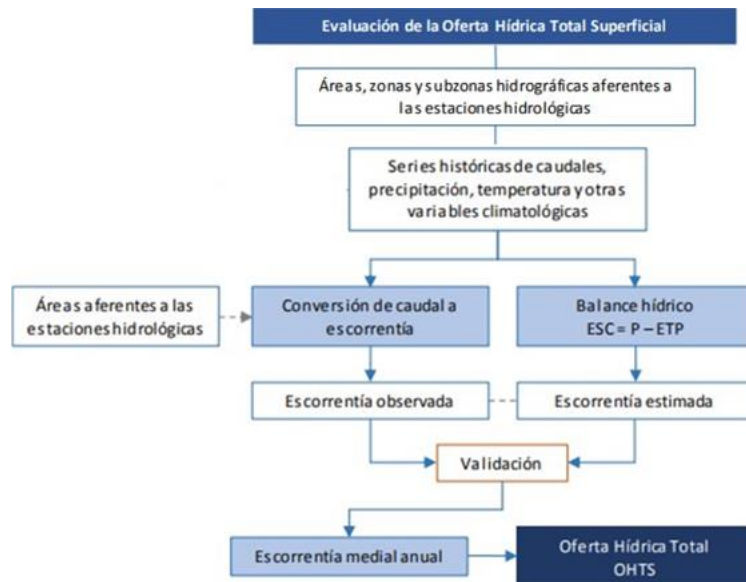


Figura 3. Evaluación de oferta hídrica

Fuente: IDEAM, (2015)

La oferta hídrica está ligada a las condiciones climatológicas, régimen hidrológico, variabilidad natural y características geológicas y de coberturas del área bajo análisis, y se expresa como la escorrentía superficial. Por lo tanto, La Oferta hídrica total superficial (OHTS) es el volumen de agua por cantidad de tiempo que escurre por la superficie y que no se infiltra o evapora (IDEAM, 2015).

La oferta hídrica puede expresarse de varias maneras como, por ejemplo: i) en volumen (m³), ii) en escorrentía (mm), que corresponde al volumen que escurre superficialmente, pero expresado en lámina de agua (Chow, Maidment, & Mays, 1994), y iii) en rendimiento, que es el volumen de agua evacuado por la cuenca en un intervalo de tiempo y en un área específica (l/s/km²), y su valor da un buen indicativo de la cantidad de escorrentía superficial que se da en una cuenca por unidad de área. Estas tres variables se estudian para las condiciones hidrológicas de año medio, correspondientes a los valores medios mensuales multianuales de una serie histórica.

Para la estimación de la oferta hídrica se usa el concepto de balance hídrico multianual; este se basa en las suposiciones de largo plazo, como el cambio nulo en el almacenamiento a través del tiempo (Zhang, Pot ter, Hickel, Zhang, & Shao, 2008). De manera que la ecuación

de balance hídrico usada, suponiendo no abstracciones y almacenamiento nulo, es la siguiente (IDEAM, 2018):

$$ESC = P - ETR \quad (8)$$

Los resultados de este balance conocido como Escorrentía estimada fueron corroborados con datos medidos y registrados del caudal *in situ* de cada unidad hidrográfica, puesto que no se cuenta con registros de las series de caudales medios en estaciones hidrométricas. “Para estimar la escorrentía directa es necesario la utilización conjunta de datos de precipitación sobre la cuenca. El caudal o escorrentía total será la suma de la escorrentía directa medido como el caudal de un río o vertiente. Si bien esta división arbitraria de componentes rápidos y lentos ha sido ampliamente utilizada para la identificación de la escorrentía directa, debido a la subjetividad, no existe ningún método obvio para la separación de ambos componentes en el hidrograma, sino que se basan en consideraciones más o menos empíricas”.

El procedimiento de cálculo de la de la Oferta Hídrica Total Superficial (*OHTS*) es el siguiente:

- **Recolección de datos:** los datos de precipitación media, temperatura media, mensual fueron obtenidos de una serie de datos obtenidos de las estaciones de la red meteorológica Nacional, registrados en el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI Ecuador) para un periodo de años 1992-2012 para las estaciones M435-Alamor, M0437-Saucillo y M151-Zapotillo.
- **Depuración de datos:** las series de datos son depuradas a partir de la complementación de datos faltantes.

La serie de datos 1992 -2012, a falta de datos de años superiores hasta la actualidad, no se registran datos en las estaciones de interés de las cuencas en estudio a partir del año 2012; también se tienen datos únicamente de estaciones pluviométricas, lo que ha impedido el uso de datos actuales. El mismo inconveniente para datos de caudal de estaciones influentes en las microcuencas en estudio, no se registra datos.

- **Procesamiento de datos:**

Cálculo de los valores medios mensuales y anuales de las series de las variables: temperatura media, humedad relativa, precipitación, entre otras.

Cálculo de la ETP a través de la ecuación de Budyko (1990).

Los datos de precipitación y temperatura previamente obtenidos y tabulados mediante el cálculo de isoyetas e isotermas, debido a que supera las dificultades presentadas se realizó por el método de polígonos de Thiessen (Chow *et al.*, 1994). Se utilizó la ecuación de Budyko para la ETP:

$$ETP = \frac{P}{\left[0,9 + \left(\frac{P^2}{L^2}\right)\right]^{0,5}} \quad (9)$$

Cálculo de la (**evapotranspiración real**) ETR a partir de la ecuación de Budyko (1974).

$$ETR = \sqrt{WTP * P * \tanh\left(\frac{P}{ETP}\right) * \left[1 - \cosh\left(\frac{ETP}{P}\right) + \sinh\left(\frac{ETP}{P}\right)\right]} \quad (10)$$

Estimación de la escorrentía mensual y anual multianual aplicando la ecuación de Balance hídrico (8); y finalmente se realizó la conversión de los valores de escorrentía media anual (estimada) a Oferta Hídrica Total Superficial a nivel de subzona hidrográfica, obteniendo los valores en millones de metros cúbicos anuales; generando cartografía temática respecto de la escorrentía media anual.

$$OHTS = Esc * A * K \quad (11)$$

6. Resultados

6.1. Descripción física y morfométrica de las microcuencas del cantón Zapotillo perteneciente a la cuenca hidrográfica Puyango.

Las unidades hidrológicas, presentan características físicas similares (Tabla 5).

Tabla 5. Características físicas de las unidades hidrológicas Cazaderos y El Caucho

Parámetro	Características
Geología	Perteneciente al grupo Alamor
	Inmersa en la formación geológica Zapotillo y Cazaderos.
Cobertura vegetal	Bosques densos secos
	Bosques semidensos
	Matorrales
Topografía	Cultivos
	Pendientes poco pronunciadas
Clima	Presencia de Valles y llanuras
	Forma parte de la región Tumbesina
	Clima seco

A continuación, se describe las características morfométricas de las unidades hidrológicas Cazaderos y El Caucho del cantón Zapotillo.

6.1.1. *Unidad hidrográfica Cazaderos*

La Unidad hidrográfica Cazaderos como se muestra en la Tabla 6 presenta características de forma alargada y pendientes fuertes. Debido a tener una mayor longitud, área de captación y tipo de suelo permite una mayor acumulación de agua que puede ser aprovechada. La falta de agua no genera un caudal constante en los afluentes, es consecuencia de la falta de precipitación; es considerado como uno de los factores condicionantes para que esta cuenca no sea aprovechada sus cualidades al máximo y no pueda brindar un suministro adecuado.

Tabla 6. Parámetros morfométricos de Unidad Hidrográfica Cazaderos

Parámetros Generales		
Denominación	Valor	Interpretación
Área (km ²)	189,42	Subcuenca
Perímetro (km)	91,55	---
Longitud (km)	27,8	---
Forma	0,24	Ovalada
Índice de compacidad	1,87	Rectangular- Oblonga
Clase de forma	0,29	Poco achatada
Factor de elongación	0,6	Fuertes relieves y pendientes moderadas
Parámetros de relieve		
Elevación media (m s.n.m)	679,53	---
Pendiente media (%)	13,51	Accidentado medio
Parámetros de perfil		
Pendiente de cauce (%)	2,2	---
Longitud del cauce (km)	15,47	---
Parámetros de drenaje		
Densidad de drenaje	0,93	Suelos muy resistentes a la erosión
Densidad de corriente	2,12	---
Tiempo de concentración (min)	3,06	Bajo
	1	61
	2	13
Orden de cauces	3	37
	4	11

En la curva hipsométrica (Figura 4) en la cota media (679,53 m s.n.m.), en su mayoría, existe presencia de áreas montañosas y al descender se observa una transición de paisaje a llanuras. Esta curva, de estilo convexa hacia abajo tiene características de una cuenca madura, es decir, posee paisajes suaves a medida que aumenta el área acumulada; se produce una escorrentía lenta y actúa como una cuenca moderadora de flujos de agua.

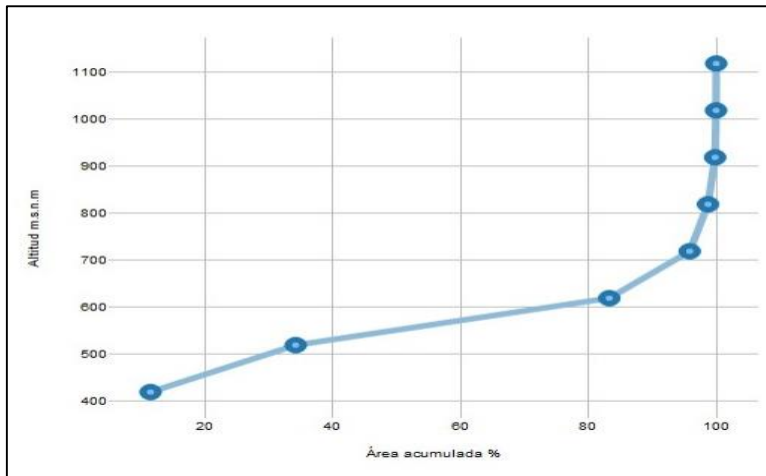


Figura 4. Curva Hipsométrica Unidad Hidrográfica Cazaderos.

En la Figura 5 se presenta la distribución espacial de los cauces que alimentan al cauce principal, de esta manera el cauce principal es el que recibe todo el recurso para ser aprovechado.

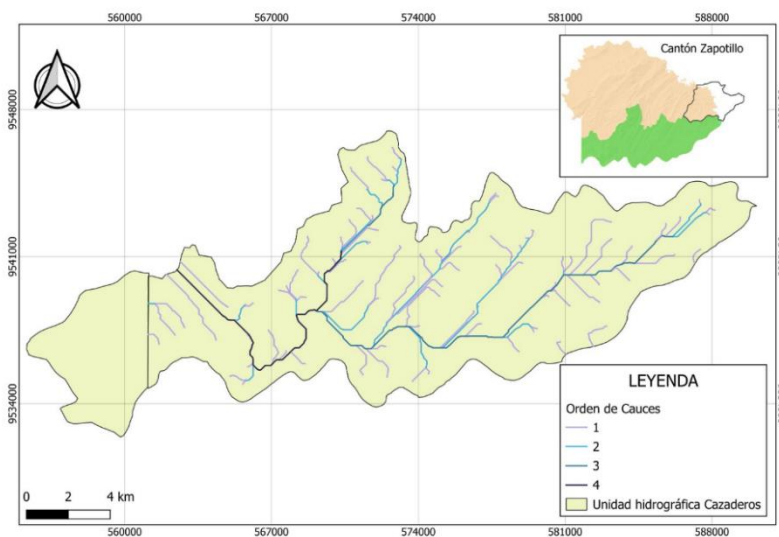


Figura 5. Distribución espacial de cauces en la Unidad Hidrográfica Cazaderos.

6.1.2. *Unidad hidrográfica El Caucho*

La microcuenca al ser ovalada (Tabla 7) facilita un flujo controlado y uniforme del agua, reduce el tiempo de concentración y minimiza el riesgo de inundaciones en las partes altas de la cuenca. Esta configuración también favorece la recarga de las fuentes naturales e incluyen un mayor riesgo de erosión del suelo debido a la rápida escorrentía superficial, lo que puede degradar la calidad del suelo.

Como se muestra en la figura 6, la curva refleja que la cuenca es potencialmente erosiva, existe presencia de zonas montañosas, con pendientes empinadas debido a las elevaciones abruptas del terreno. En la parte superior del afluente existe una mayor velocidad del flujo debido a su pendiente pronunciada y va disminuyendo conforme avanza debido a la capacidad erosiva, y disminución de pendiente.

Tabla 7. Parámetros generales Unidad Hidrográfica El Caucho

Parámetros Generales		
Denominación	Valor	Interpretación
Área (km ²)	31,41	Microcuenca
Perímetro (km)	27,4	---
Longitud (km)	5,27	---
Forma	0,89	Ovalada
Índice de compacidad	1,55	Ovalada- Oblonga
Clase de forma	0,29	Ligeramente achatada
Factor de elongación	0,6	Fuertes relieves y pendientes moderadas
Parámetros de relieve		
Elevación media (m s.n.m)	539,67	---
Pendiente media (%)	20,57	Accidentado medio
Parámetros de perfil		
Pendiente de cauce (%)	2,2	---
Longitud del cauce (km)	3,12	---
Parámetros de drenaje		
Densidad de drenaje	0,78	Suelos muy resistentes a la erosión
Densidad de corriente	2,12	---
Tiempo de concentración (min)	3,38	Bajo
	1	61
Orden de cauces	2	13
	3	37

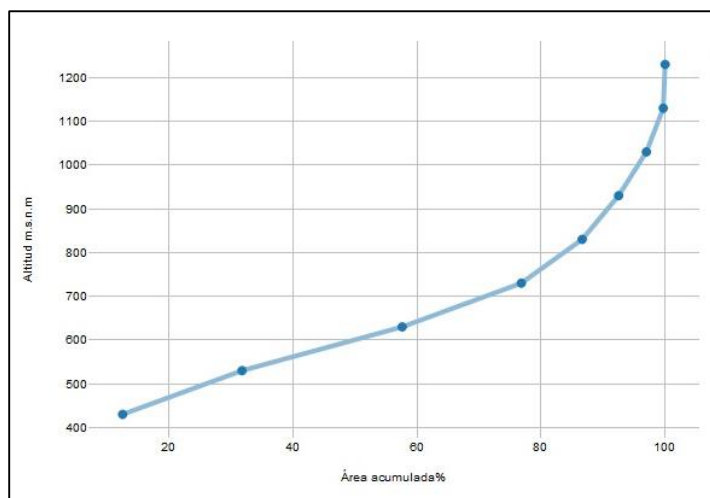


Figura 6. Curva hipsométrica de la Unidad Hidrográfica El Caucho.

En la Figura 7 se presenta la distribución de los cauces para el aprovechamiento de mayor manera para actividades agropecuarias, que principalmente se concentran aledaños al cauce principal.

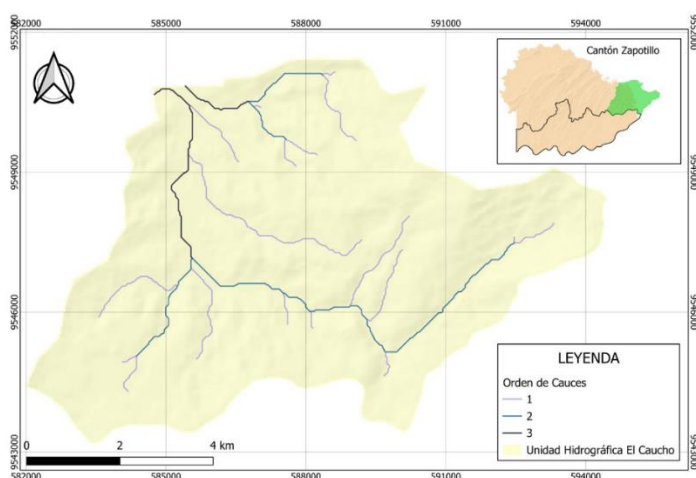


Figura 7. Distribución espacial de los cauces en la Unidad Hidrográfica El Caucho.

6.2. Cuantificación de la oferta hídrica de las microcuencas del cantón Zapotillo perteneciente a la cuenca hidrográfica Puyango.

6.2.1. Unidad Hidrográfica Cazaderos

En la Tabla 8 se describe la escorrentía estimada para el periodo 1992 - 2012, el menor dato se registra de Junio a Septiembre, y el mayor se presenta en el mes de Febrero, debido a

la saturación del suelo por la precipitación continua, lo que reduce su capacidad de absorber más agua y que provoca un mayor escurrimiento. También, se presenta datos de la escorrentía observada, la cual es estimada por medio del registro del caudal calculado *in situ* en los puntos de interés de cada microcuenca, para todos los meses del año 2023.

Tabla 8. Escorrentía superficial (l/s/km²) en la unidad hidrográfica Cazaderos

Mes	Escorrentía estimada periodo 1992-2002 (l/s/km ²)	Rangos		Escorrentía observada año 2023 (l/s/km ²)
		Rango Superior	Rango Inferior	
Enero	0,71	1,06	0,35	0,63
Febrero	1,88	2,47	1,30	1,33
Marzo	1,55	2,08	1,02	1,20
Abril	1,23	1,45	1,02	1,02
Mayo	0,28	0,44	0,12	0,38
Junio	0,16	0,22	0,09	0,16
Julio	0,08	0,13	0,03	0,08
Agosto	0,03	0,07	0,02	0,04
Septiembre	0,03	0,04	0,01	0,05
Octubre	0,07	0,12	0,03	0,32
Noviembre	0,08	0,14	0,01	0,18
Diciembre	0,80	1,31	0,29	0,26

*Los intervalos de confianza se calcularon basándose en la escorrentía calculada. Estos datos se procesaron utilizando la hoja de cálculo Excel, donde se generó un rango de confianza (95%) mediante un resumen estadístico. Luego, se estimó la media aritmética de los datos sumando y restando el valor de confianza para obtener los límites superior e inferior. El rango de escorrentía estimada sirvió para validar los datos de escorrentía observada.

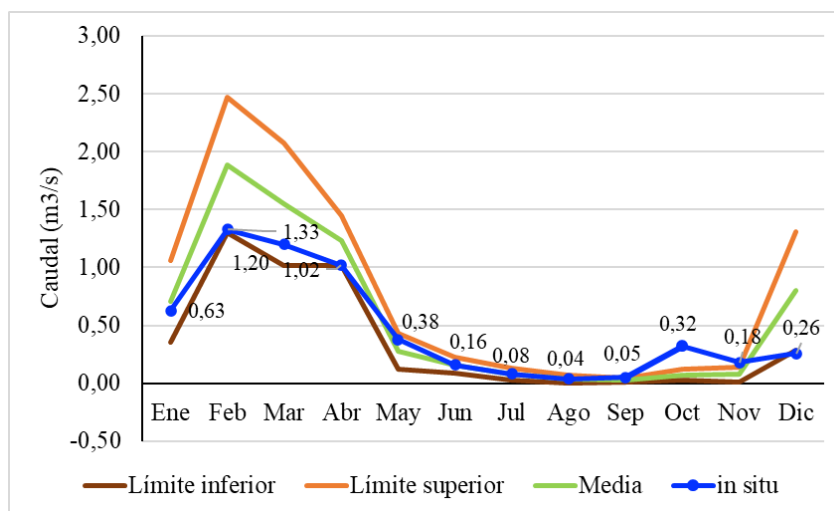


Figura 8. Intervalo al 95 % de confianza del caudal estimado y escorrentía observada para la unidad hidrográfica Cazaderos.

El rango de datos permite validar los datos estimados y observados de escorrentía, por ejemplo, para el mes enero el valor de 0,63 l/s/km² entra en el rango del valor estimado de 0,71 l/s/km², por lo tanto, se validan los datos de escorrentía estimada.

En la Figura 8, se muestra el intervalo de confianza (95 %) del caudal estimado para el periodo 1992 – 2012, y los caudales calculados *in situ* para el año 2023, mismos que se encuentran dentro del intervalo.

6.2.2. Unidad Hidrográfica El Caucho

En la Tabla 9 se describen los datos de escorrentía estimada para el periodo 1992 – 2012, el dato menor se registra de Junio a Septiembre y el mayor se presenta en el mes de Marzo donde existe una mayor precipitación y por ende mayor escorrentía. Debido a la saturación del suelo por la precipitación continua reduce su capacidad de absorber más agua, lo que provoca un mayor escurrimiento. También se presenta la escorrentía observada a través del caudal calculado *in situ* en 2023.

Tabla 9. Escorrentía superficial de la unidad hidrográfica El Caucho

Mes	Escorrentía estimada periodo 1992-2002 (l/s/km ²)	Rangos		Escorrentía observada año 2023 (l/s/km ²)
		Rango Superior	Rango Inferior	
Enero	1,18	1,66	0,77	1,18
Febrero	1,42	1,77	1,06	1,82
Marzo	1,56	1,92	1,20	1,30
Abril	1,14	1,90	0,39	1,25
Mayo	0,41	0,56	0,25	0,67
Junio	0,27	0,35	0,18	0,19
Julio	0,43	0,62	0,25	0,20
Agosto	0,20	0,30	0,11	0,07
Septiembre	0,24	0,42	0,06	0,05
Octubre	0,21	0,28	0,14	0,26
Noviembre	0,36	0,54	0,18	0,25
Diciembre	1,02	1,66	0,38	0,45

* Los intervalos de confianza se calcularon basándose en la escorrentía calculada. Estos datos se procesaron utilizando la hoja de cálculo Excel, donde se generó un rango de confianza (95%) mediante un resumen estadístico. Luego, se estimó la media aritmética de los datos sumando y restando el valor de confianza para obtener los límites superior e inferior. El rango de escorrentía estimada sirvió para validar los datos de escorrentía observada.

En la Figura 9, se muestra el intervalo de confianza (95 %) del caudal estimado para el periodo 1992 – 2012, y los caudales calculados *in situ* en el año 2023, mismos que se encuentran dentro del intervalo.

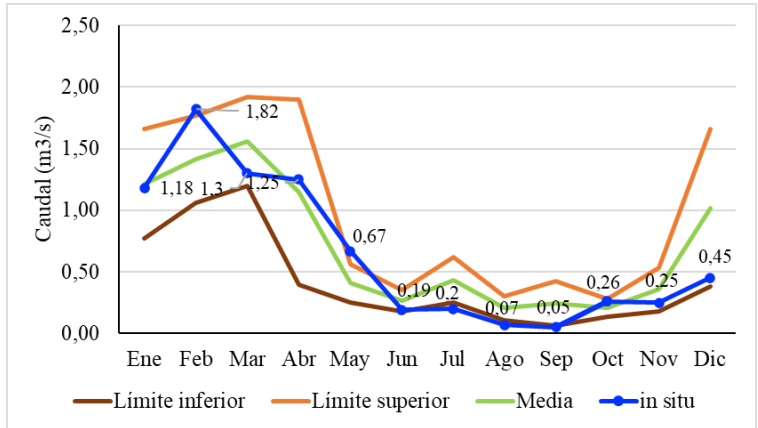


Figura 9. Intervalo al 95 % de confianza de escorrentía estimada y escorrentía observada para la unidad hidrográfica El Caucho.

El rango de datos permite validar los datos estimados y observados de escorrentía, por ejemplo, para el mes febrero el valor de 1,82 l/s/km² entra en el rango del valor estimado de 1,42 l/s/Km², por lo tanto, se validan los datos de escorrentía estimada.

6.2.3. Oferta hídrica disponible

En la Figura 10 se presenta la oferta hídrica disponible; donde la Unidad Hidrográfica Cazaderos es la que dispone una mayor oferta, esto debido a su área de cobertura y la capacidad que tiene de recibir la escorrentía de los afluentes más pequeños. Esta unidad dispone de 673,48 mm³/año, la cual tributa una mayor cantidad de agua en los meses de Enero- Abril y brindando un escurriendo mínimo en los meses siguientes.

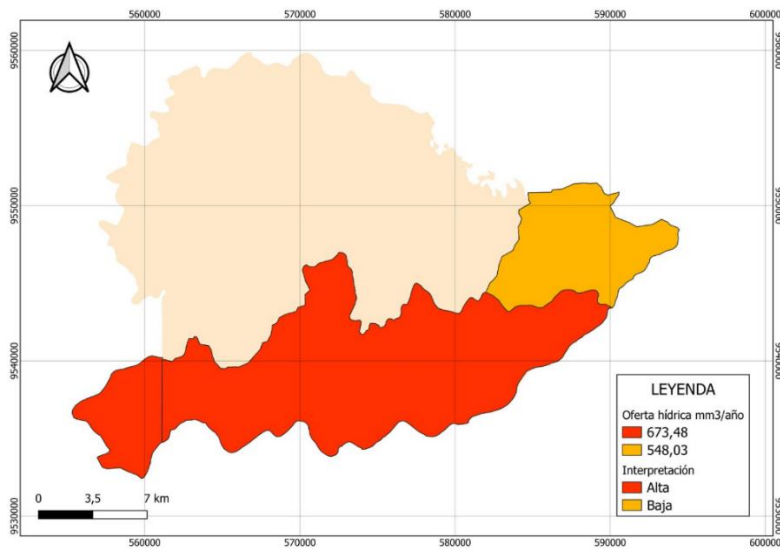


Figura 10. Oferta hídrica disponible.

7. Discusión

7.1. Descripción física y morfométrica de las microcuencas del Cantón Zapotillo perteneciente a la cuenca hidrográfica Puyango.

Se corroboró lo que plantea el documento expuesto por el INAMHI denominado “Estudio de prospección geofísica y levantamiento hidrogeológico en el cantón Zapotillo – Provincia de Loja”; esto es, la cuenca hidrográfica Puyango en el cantón Zapotillo se ubica en las formaciones geológicas Zapotillo y Cazaderos pertenecientes al grupo Alamor; con presencia de rocas que se caracterizan por estar fracturadas y rellenadas con material pequeño INAMHI (2011). Existe grauvacas, areniscas, lutitas y conglomerados propios del lugar que ocupan más del 90 % del área; además, incluye combinación de rocas sedimentarias y volcánicas, lo que refleja actividad volcánica durante su descomposición. Estas formaciones actúan como condicionantes en el desarrollo de cultivos, afecta la calidad del suelo, disponibilidad de agua, drenaje, retención del agua, lo que dificulta la disponibilidad de los nutrientes para las plantas.

Las condiciones meteorológicas, topográficas y de suelo del territorio de las dos unidades hidrográficas Cazaderos y Caucho, no son óptimas para el aprovechamiento de agua y actividades agrícolas, con temperaturas promedio de 20 a 27 °C, existe presencia de bosques secos densos, semidensos y matorrales que forman parte de la Región Endémica Tumbesina. Vaz-Ferrà (2016) menciona, la presencia de este tipo de bosque o ecosistema actúa como alternante entre climas estacionales lluviosos breves y climas secos más prolongados como es evidente en gran parte del año en esta parte de Zapotillo (Álvarez, 2015). De este modo, se presentan dificultades en el campo agrícola y la necesidad de aprovechar fuentes de agua y no depender directamente de las precipitaciones.

Morales-Garcilazo (2023) menciona que las condiciones ideales de un territorio para la generación de mayor cantidad de agua, se debe a presencia de bosques con una cobertura forestal densa que contribuye a retener agua de lluvia y reducir la escorrentía superficial. Esto permite que el agua se infiltre en el suelo y se libere en los cauces generando un caudal constante. Como se observa en el Anexo 1 las características de la zona de estudio no son las óptimas para el uso de agua debido a la presencia de bosques secos principalmente, que disminuye la velocidad y cantidad de agua en el proceso de evaporación, así mismo, no existe

una adecuada retención y con la extensión que presenten los cauces disminuye la cantidad de agua aprovechable.

Conocer la morfometría de un territorio es de vital importancia para comprender la dinámica del recurso hídrico, debido a que proporciona información para la gestión y planificación de las unidades hidrográficas.

Según Campo *et al.* (2012) una cuenca más grande tiende a recibir una mayor cantidad de agua precipitada, lo que resulta en mayor cantidad de agua a los afluentes que tributan al cauce principal. La Unidad hidrográfica Cazaderos con 18 942 ha (189,42 km²), según el Instituto Mexicano de Tecnología del agua (2019) se consideran como subcuencas, se encuentran dentro del rango de 5 000 a 50 000 ha, debido a su amplia superficie cumplen un papel integral en la regulación del ciclo hidrológico, la conservación de la biodiversidad y la provisión del recurso hídrico, esencial para el desarrollo productivo; en cambio, El Caucho con 3 411 ha 34,11 km² se identifica como microcuenca. El perímetro en la subcuenca es de 91,55 km y el de la microcuenca es 27,4 km; conocer el perímetro es importante para la determinación de parámetros morfométricos como densidad de drenaje, forma de la cuenca y conocer la dinámica de la unidad hidrográfica.

En cuencas alargadas las descargas de agua son de menor volumen debido a que el cauce principal es más largo que los cauces secundarios que puede influir en los tiempos de concentración (Córdova, 2016). La subcuenca Cazaderos genera mayor caudal y escorrentía, debido a su forma ovalada, características de relieve, distribución de las pendientes y dinámica que tenga el afluente; así mismo, debido a la forma rectangular-oblonga (índice de compacidad) la distribución es uniforme, reduce el riesgo de inundaciones repentinas y mejora la capacidad de recarga de los acuíferos. Esta forma, facilita el drenaje, reduce el riesgo de erosión del suelo garantiza la estabilidad de los cuerpos de tierra (Rojo, 2013). Por su parte, El Caucho y tiene forma ovalada-oblonga; por la presencia de valles alargados y pendientes moderadas (Villegas, 2013), el flujo recorre mayor distancia y disminuye el caudal, genera mayor uniformidad y sostenibilidad del afluente, reduciendo el riesgo de inundaciones abruptas.

La microcuenca El Caucho y Cazaderos se considera ligeramente achatada, por ende presentan mayor infiltración; facilita un flujo más uniforme en los afluentes principales que beneficia la recarga de los cuerpos de agua y la estabilidad del caudal. También existe una mayor susceptibilidad a la erosión en zonas de pendientes pronunciadas, debido que el agua

puede ganar velocidad en su recorrido lo que produce una distribución menos eficiente. La Cazaderos es poco achatada, es decir, se encuentra en un rango moderado que denota ser ligeramente susceptible a las crecidas; debido a su forma existe mayor capacidad de distribuir el agua equitativamente, con mejor respuesta a eventos de precipitación, que puede ser beneficioso para el desarrollo agropecuario.

Camino *et al.* (2018) reportan, una cuenca hidrográfica con condiciones óptimas debe tener una pendiente pronunciada que pueda generar un mayor caudal disponible, debido a que fluye rápidamente a lo largo del cauce. Las unidades hidrográficas poseen características similares con superficies con fuertes relieves, pero con diferencia en sus pendientes, aspectos que se respaldan con la curva hipsométrica, donde se observa elevaciones intermedias, reflejando una topografía relativamente uniforme sin grandes variaciones altitudinales (679,53 m s.n.m- 539,67 m s.n.m).

Acosta-Álvarez (2017) menciona que la presencia de topografía montañosa y accidentada influye en diversos aspectos, como la disponibilidad de tierra y recurso hídrico para la agricultura, afecta la retención de agua y drenaje disminuye la producción agrícola o limita la capacidad para ser explotada al máximo.

Según Rivas (2017) mediante la clasificación de Fernández de la Vega (2012), la zona de Zapotillo tiene altitud moderada, superficie accidentada que representa una topografía irregular con presencia de valles, montañas y alturas circundantes, esto afecta la dirección, velocidad del agua que fluyen a través de toda la cuenca, con períodos de crecidas repentinas seguida de sequías prolongadas, lo que complica la gestión y la planificación del uso del agua que es el principal problema.

Dentro del orden de los cauces representa el grado de bifurcación dentro de la microcuenca El Caucho y subcuenca Cazaderos, los afluentes de tercer orden son los que actúan o presentan un caudal aprovechable y son aquellos que se pueden medir; estos afluentes se alimentan de caudales más pequeños durante el año (segundo y primero orden) provenientes de quebradas; esta información es de vital importancia debido a que son necesarios para el análisis, diseño de nuevos sistema de riego y para la evaluación cuantitativa y cualitativa de la red hídrica de drenaje.

La densidad de drenaje (Tabla 6 y 7). en las unidades hidrográficas Cazaderos y El Caucho, se interpreta como moderada, tienen una distribución relativamente escasa en relación

a su extensión; a decir de Gutiérrez (2013) se refiere a suelos muy resistentes a la erosión o muy permeables, lo que implica menor tiempo de escorrentía, menor eficiencia en el drenaje y riesgo de encharcamiento.

El tiempo de concentración (tabla 6 y 7) se obtuvo valores de 3,06 min de la subcuenca mientras que de la microcuenca 3,38 min. Indica una respuesta hidrológica lenta y directa en una cuenca, lo cual conlleva riesgos de inundaciones repentinas y puede influir en la gestión, planificación de recursos hídricos y desarrollo de infraestructura asociada al agro como sistemas de riego que en esta zona no existe.

En general, las unidades hidrográficas El Caucho y Cazaderos presenta suelos con condiciones de permeabilidad adversas con problemas de drenaje, lo que produce saturación y poca disponibilidad de oxígeno para el desarrollo de los cultivos de maíz que representa más del 80% de la producción agropecuaria. Las fuertes pendientes provocan erosión y sedimentación que influye en la distribución de los cuerpos de agua superficiales, en la disponibilidad del recurso para las actividades agropecuarias. Además, las condiciones meteorológicas, geográficas, el inadecuado manejo del agua y la falta de sistemas de riego limitan el desarrollo agrícola y condicionan el desarrollo armónico del cantón Zapotillo.

7.2. Cuantificación de la oferta hídrica de las microcuencas del cantón Zapotillo perteneciente a la cuenca hidrográfica Puyango.

Las unidades hidrográficas, Cazaderos y El Caucho reciben en los primeros meses del año (Enero – Abril) niveles altos de lluvia, que se debe, en gran parte, a la influencia de la corriente cálida de El Niño; además, el sistema climático de la zona está afectado por los vientos alisos del Sureste que tienen influencia en la formación de nubes y lluvia en esta época del año que incrementa los niveles de escorrentía superficial INAMHI (2011).

Durante la época seca (Mayo a Diciembre) existe bajo caudal de agua en las quebradas aforadas, debido a la falta de lluvias y temperaturas elevadas. Las temperaturas altas generan mayor evaporación de los cuerpos de agua lo que influyen negativamente en la disponibilidad del recurso hídrico, afecta negativamente la agricultura y la biodiversidad local; Andina (2017) menciona, este fenómeno tiene un impacto directo en las actividades agropecuarias, la vegetación sufre de estrés hídrico, lo que puede disminuir la eficiencia de los sistemas naturales para retener agua, estas condiciones generan una menor capacidad de suministro de agua, aumentando el riesgo de sequías prolongadas que se evidencia en el lugar.

Por las condiciones geográficas y climáticas del cantón Zapotillo, la mayor escorrentía observada y estimada se presenta de Enero a Abril; y los valores mínimos de Mayo a Diciembre, época de sequía extensa que es característica de las dos unidades hidrográficas (Tabla 8 y 9). En este sentido INAMHI (2011), la temperatura y precipitación juegan un papel fundamental debido a que influye en la tasa de evaporación y cantidad de agua disponible.

La unidad hidrográfica Cazaderos tiene una superficie menor a la Cazaderos (Tabla 9); sin embargo, en relación a su área, la oferta hídrica es mayor (673,48 mm³/año), y se aprovecha para cultivar, principalmente maíz (*Zea mays*), pastizales (náhuatl zacatl), cebolla (*Allium cepa*), caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y frejol (*Phaseolus vulgaris*); frutales como uva (*Vitis vinifera*), melón (*Cucumis melo*), y arándanos (*Vaccinium corymbosum*) en pequeñas cantidades (Anexo 3). Es preciso mencionar, en el cantón Zapotillo la mayor parte del año (Mayo - Diciembre) hay escasas de precipitación, en contraste con los primeros meses (Enero – Abril), donde existe mayor caudal en las tres unidades hidrográficas, que con una gestión integral, se puede aprovechar el recurso hídrico para mejorar las condiciones de vida de los pobladores de la zona.

Morales-Garcilazo (2023) señala, los territorios secos presentan dificultades como desertificación y degradación del suelo que genera problemas ambientales, sociales y económicos, causa principal de la pobreza, en razón que las actividades productivas dependen del aprovechamiento de los recursos como el suelo, agua, entre otros, en este sentido, Matthey-Trigueros *et al.*(2017) refiere, la cobertura vegetal desempeña un papel fundamental en la regulación del ciclo hidrológico y por consiguiente, la generación o incremento de la disponibilidad de agua de una fuente natural; así mismo, la presencia de cobertura vegetal en las áreas cercanas de un afluente contribuye a la estabilidad de las orillas, lo que a su vez, ayuda a reducir la erosión del suelo y a mantener un caudal constante y no exista problemas de encharcamiento o desperdicio.

Referido a la calidad del agua existe contaminación debido a la actividad minera, generación de desechos sólidos y efluentes contaminados provenientes de las poblaciones ubicadas en la cuenca que son una fuente de contaminación directa. En la mayoría de localidades no existe ningún sistema de manejo de desechos sólidos (rellenos sanitarios) los cuales son, en muchos casos, depositados en botaderos mal construidos o incluso en los cauces

de los ríos. Los sistemas de eliminación de excretas son insuficientes (alcantarillado) por lo que nuevamente, los ríos y esteros son los receptores de las aguas servidas.

Las condiciones de la zona de estudio son adversas debido al tipo de vegetación existente que es principalmente bosques secos, lo que disminuye la velocidad de la evaporación del agua y retención de agua en el suelo, lo que disminuye la recarga de los acuíferos y puede llevar a una disminución del caudal de los ríos, sumado a esto la falta de precipitación y prolongadas elevadas temperaturas genera insuficiencia hídrica en los cauces. Además, la contaminación del agua por actividades humanas, mineras y como la agricultura intensiva son las encargadas de degradar la calidad del agua y hacerla no apta para el consumo humano. Según Volonté *et al.* (2018), una cuenca hidrográfica debe poseer cobertura vegetal en las áreas adyacentes reduciendo la erosión y permitiendo que el agua se infiltre gradualmente en el suelo, lo que contribuye a mantener el caudal constante y pueda generar mayor cantidad de agua debido a que estos procesos están directamente relacionados al ciclo hidrológico. Del mismo modo, la Organización Ayuda en Acción de Ecuador (2023) menciona, la gestión adecuada de los recursos hídricos, conservación del entorno natural de la cuenca, conservación del agua, reducción de la contaminación y protección de las fuentes de agua, hacen que la unidad hidrográfica pueda cumplir las condiciones necesarias para brindar una mayor cantidad de agua, cubriendo la demanda hídrica que se incrementa con el pasar del tiempo.

Como manifiesta Peñaranda (2023), debido al cambio climático existe un enorme modificación en los patrones actuales de diversidad vegetal, sumado a las acciones humanas están desencadenando cambios en la distribución y abundancia de la cobertura vegetal lo cual genera problemas que en años anteriores no existían, como sequías más prologadas y severas, lluvias intensas que resultan en inundaciones en zonas donde no existe las medidas para contrarrestar este problema, lo que provoca fenómenos extremos que afectan la disponibilidad de agua. Según el Ministerio del Ambiente, Agua y transición Ecológica (2019) el cambio climático tiene una clara incidencia en la oferta de agua , afectando a los ecosistemas donde se observan cambios en la calidad y cantidad del agua de los ríos y fuentes naturales trayendo consigo diferentes problemas en el sector productivo del lugar.

8. Conclusiones

- En general, las unidades hidrográficas Cazaderos y El Caucho presentan formas ovaladas y pendientes suaves que influyen en la distribución uniforme de la escorrentía aprovechable para actividades agropecuarias.
- La escorrentía observada en campo se relaciona con los rangos de escorrentía estimada, generados a partir de los datos meteorológicos del INAMHI del periodo 1992- 2012, utilizados debido a la falta de información de datos actuales.
- La Unidad hidrográfica Cazaderos proporciona mayor agua disponible; es preciso mencionar, en el cantón Zapotillo la mayor parte del año (Mayo - Diciembre) hay escasas de precipitación, en contraste con los primeros meses (Enero - Abril), donde existe mayor escorrentía en las dos unidades hidrográficas.

9. Recomendaciones

- Debido a la ausencia de base de datos meteorológicos actualizados se debe acudir a fuentes de datos satelitales confiables que proporcionen este tipo de información.
- Para la operación del molinete hidráulico se debe considerar las recomendaciones pertinentes para la toma de lecturas de la velocidad del fluido.

10. Bibliografía

- Acosta Álvarez, P. (2017). EL CANTÓN ZAPOTILLO ESTÁ LOCALIZADO AL SUR DEL ECUADOR, EN LA REGIÓN SUR-OCCIDENTAL DE LA PROVINCIA DE LOJA. Ubicación Provincial. Ubicación Nacional—PDF Free Download. https://docplayer.es/20949184-El-canton-zapotillo-esta-localizado-al-sur-del-ecuador-en-la-region-sur-occidental-de-la-provincia-de-loja-ubicacion-provincial-ubicacion-nacional.html#google_vignette
- Álvarez, P. (2015). Cambios en el uso del suelo en el cantón Zapotillo en un... ResearchGate. https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Cambios-en-el-uso-del-suelo-en-el-canton-Zapotillo-en-un-periodo-de-10-anos-a_fig2_301226212
- Álvarez-Jiménez, M., Ramírez-Granados, P., y Castro-Solís, J. (2021). Aspectos biofísicos y socioeconómicos de la subcuenca del río Páez, Cartago, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 2(67), 195-218. <https://doi.org/10.15359/rgac.67-2.7>
- Andina, S. (2017). El agua y las consecuencias que esta genera en la agricultura y el medio ambiente. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 5(1), 1-3.
- BLOGGER. (2016). ASI ES MI CIUDAD: ZAPOTILLO. ASI ES MI CIUDAD. <https://andyasiesmicuidad.blogspot.com/p/zapotillo.html>
- Bracho Palacios, D. G. (2021). Estimación de la oferta hídrica y propuesta de gestión del recurso hídrico en la microcuenca hidrográfica del río El Ángel [masterThesis]. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10999>
- Camino, M. A., Bó, M. J., Cionchi, J. L., López de Armentia, A., Del Río, J. L., y De Marco, S. G. (2018). Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Revista Universitaria de Geografía*, 27(1), 73-97.
- Camacho Hortua, B. J., y Lievano Jiménez, F. A. (2019). Definición de la oferta hídrica a través del uso de la herramienta de modelación WEAP y análisis tributario en la cuenca del río Ranchería [Bachelor thesis]. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/17641>

- Campos, H. (2015). Definiciones hidrología parametros cuenca. SlideShare.
<https://es.slideshare.net/slideshow/definiciones-hidrologia-parametros-cuenca/47751415>
- Castro Aragón, E. C. (2022). ESTIMACIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA DEL PARQUE NACIONAL NATURAL FARALLONES DE CALI EN LA VERTIENTE ORIENTAL - CALI.
[file:///D:/Users/L%20E%20N%20O%20V%20O/Downloads/7724%20C355%20\(3\).pdf](file:///D:/Users/L%20E%20N%20O%20V%20O/Downloads/7724%20C355%20(3).pdf)
- Chow, V., Maidment, D., y Mays, L. (1994). Hidrología aplicada. Bogotá: McGraw Hill.
- CORPOBOYACA. (2020). OFERTA HÍDRICA.
<http://gobiernoagua.corpoboyaca.gov.co:2157/oferta/>
- DIRECCION DE AGRICULTURA Y CONTINGENCIAS CLIMATICAS. (2021). Evapotranspiración.
<http://www.contingencias.mendoza.gov.ar/web1/evapotranspiracion.php>
- Etecè. (2021). Método Cuantitativo—Concepto, usos, ejemplos y características.
<https://concepto.de/>. <https://concepto.de/metodo-cuantitativo/>
- FAO. (1997). Medición sobre el Terreno de la Erosión del Suelo y de la Escorrentía. (Boletín de Suelos de la FAO - 68). <https://www.fao.org/4/T0848S/t0848s06.htm>
- GAD de Loja. (2020). Plan Provincial de Riego y Drenaje, 2020 - 2027.
<https://lc.cx/uUx9Rx>
- García, A. G. R., León, A. C., Sánchez-García, P., y Monterroso-Rivas, A. I. (2015). La caracterización morfométrica de la subcuenca del Río Moctezuma, Sonora: Ejemplo de aplicación de los sistemas de información geográfica. *Revista de Geografía Agrícola*, 55, Article 55. <https://doi.org/10.5154/r.rga.2015.55.003>

- Gobierno de Colombia. (2022). Planificación de cuencas Hidrográficas y acuíferos. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
<https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico/planificacion-de-cuencas-hidrograficas-y-acuiferos/>
- GORAYMI. (2022). Zapotillo. Zapotillo. <https://lc.cx/BSA8wn>
- Gutiérrez, H. (2013). Densidad de Drenaje | PDF.
<https://es.scribd.com/doc/143222614/Densidad-de-Drenaje>
- Hernández Samiperi, R., Fernandez Collado, C., y Baptista Lucio, M. del P. (2014). METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION (Vol. 6). Mc Graw Hill Education.
D:/Users/L%20E%20N%20O%20V%20O/Downloads/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf
- Hill, B. (2016). La importancia de la planificación en una organización | Pequeña y mediana empresa—La Voz Texas. <https://lc.cx/oP1-A3>
- Honda. (2021). ¿Qué es el caudal? Honda Maquinaria ES Tienda Oficial.
<https://lc.cx/u5VZge>
- IDEAM. (2014). Oferta agua—IDEAM. Oferta agua - IDEAM.
<http://www.ideam.gov.co/web/siac/ofertaagua>
- IDEAM. (2014). Oferta Hídrica Superficial | PDF | Evapotranspiración | El ciclo del agua. Scribd. <https://es.scribd.com/document/513433134/OFERTA-HIDRICA-SUPERFICIAL>
- IDEAM. (2016). República de Colombia Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS).
<https://lc.cx/xHZsMN>
- INAMHI. (2011). Informe final cantón zapotillo by inamhi ecuador—Issuu.
https://issuu.com/inamhi/docs/informe_final_cant_n_zapotillo

- Ingenieriacivil. (2011). La Cuenca Hidrográfica | Tutoriales al Día— Ingeniería Civil.
<https://lc.cx/7yDrlF>
- Instituto de Ingeniería de España, I.-A. (2020). La Importancia del Agua en el Desarrollo Rural. Iies. <https://www.iies.es/single-post/2020/01/30/la-importancia-del-agua-en-el-desarrollo-rural>
- Irausquín, C., y Colina, J. (2016). Fundamentos conceptuales del desarrollo. 16(3).
<https://lc.cx/DWj4Pw>
- Juárez, J. (2023). La Importancia de la calidad del agua de riego en la agricultura— AZUD. <https://azud.com/blog/importancia-de-calidad-agua-riego-agricultura/>
- Julcamoro, J. F. (2017). EVALUACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO.<https://lc.cx/ggiltH>
- Junco, J. (2015). Equipo Multiparámetro – Monitoreo Ambiental. quipo Multiparámetro.
<https://lc.cx/w9YhK3>
- MAHER. (2021). Estación Meteorológica para agricultura: Viento, lluvia, humedad... Maher Electrónica. <https://www.maherelectronica.com/sensores-agricolas-clima/estacion-meteorologica-para-agricultura/>
- Maser. (2011). Molinete medidor de caudal. Maser. Recuperado 16 de noviembre de 2023, de <https://lc.cx/2S3Q9l>
- Mattey-Trigueros, D., Navarro-Picado[2, J., Obando-Rodríguez[3, P., Fonseca-Sánchez[4, A., y Núñez-Solís[5, C. (2017). Caracterización De La Cobertura Vegetal Dentro De La Franja De Protección Del Río Copey, Jacó, Puntarenas, Costa Rica. Revista Geográfica de América Central, 1(58), 275-294.
<http://dx.doi.org/10.15359/rgac.58-1.11>
- Meléndez, F. (2021). Hidrología: Definición, Clasificación y Variables. Somos Avance.
<https://somosadvance.com/expertise/hidrologia/>

- Meléndez, F. (2022). Estaciones Meteorológicas: Precisión y tecnología para medir el clima. Somos Avance. <https://somosadvance.com/expertise/estaciones-meteorologicas/>
- Ministerio del Ambiente, Agua y transición Ecológica. (2019). El cambio climático afecta los recursos hídricos – Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. <https://www.ambiente.gob.ec/el-cambio-climatico-afecta-los-recursos-hidricos/>
- Molina Salgado, R. (2021). Importancia del agua y las problemáticas socio-ambientales [Importancia del agua y las problemáticas socio-ambientales]. gob.mx. <http://www.gob.mx/semarnat/educacionambiental/es/articulos/importancia-del-agua-y-las-problematicas-socio-ambientales?idiom=es>
- Monge Redondo, M. A. M. (2017). Interpretación de un análisis de agua para riego [Text]. iAgua; iAgua. <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/interpretacion-analisis-agua-riego>
- Montoya, (2016). Aplicaciones de NASA Giovanni en la evaluación de recursos hídricos / medio ambiente. Gidahatari. <https://gidahatari.com/ih-es/aplicaciones-de-nasa-giovanni-en-la-evaluacion-de-recursos-hdricos-medio-ambiente>
- Mora, Y. R. (2020). Hidrología como estudio del ciclo del agua [Text]. iAgua; iAgua. <https://www.iagua.es/blogs/yuri-rubio-mora/hidrologia-como-estudio-ciclo-agua>
- Morales-Garcilazo, F. (2023). ¿Qué es la desertificación y cómo detenerla? CIMMYT. <https://www.cimmyt.org/es/noticias/que-es-la-desertificacion-y-como-detenerla/>
- Ochoa, F. (2023). Análisis morfométrico de una cuenca hidrográfica. El blog de franz. <https://acolita.com/analisis-morfometrico-de-una-cuenca-hidrografica/>
- Ochoa, A. (2022). Cápsula | La Evapotranspiración. <https://www.ucuenca.edu.ec/component/content/article/233-espanol/investigacion/blog-de-ciencia/1273-evapotranspiracion>

- Ochoa, F. (2023). Análisis morfométrico de una cuenca hidrográfica. El blog de franz.
<https://lc.cx/EgsbOf>
- Ondarse-Álvarez, D. (2017). Ciclo del agua: Qué es, etapas, importancia y características. Ciclo del agua. <https://lc.cx/3vgQQp>
- ONU. (2015). Decenio Internacional para la Acción «El agua, fuente de vida» 2005-2015. Áreas temáticas: Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH).
<https://lc.cx/3q-8Zb>
- ONU. (2015). Los suelos sanos son la base para la producción de alimentos saludables. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://lc.cx/a3KPv4>
- Oñate, V. C. (2015). Análisis de las alternativas del proyecto binacional puyango-tumbes en el marco del convenio ecuatoriano-peruano para el aprovechamiento de las cuencas hidrográficas puyango-tumbes y catamayo-chira [Tesis].
https://lc.cx/Iunv_O
- Organización Ayuda en Acción de Ecuador. (2023, febrero 16). Cómo ahorrar agua: Medidas y consejos. Ayuda en Acción.
<https://ayudaenaccion.org/blog/sostenibilidad/ahorrar-agua-medio-ambiente/>
- Peñaranda, I. (2023). Cambio climático y su impacto en especies vegetales. Metroflor.
<https://www.metroflorcolombia.com/cambio-climatico-y-su-impacto-en-especies-vegetales/>
- Pérez, G. (2018). Escorrentía superficial—Ciclo hidrológico (del agua).
https://www.ciclohidrologico.com/escorrenta_superficial
- Pérez, R. (2021). El agua en la agricultura: Importancia y manejo. iAgua; iAgua.
<https://lc.cx/75Tj4q>
- PNDRD. (2019). Plan Nacional de Riego y Drenaje 2019-2017. Obtenido de
<https://lc.cx/XdfLXC>

- PNUMA (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente). (2003). Em erging challenges-new findings. <https://lc.cx/1WxmrB>
- Portillo, G. (2013). Recursos hídricos: Qué son, ejemplos e importancia - Resumen. [ecologiaverde.com. https://lc.cx/vDseJo](https://lc.cx/vDseJo)
- Quiñones, A. (2017). Escorrentia. Escorrentia. <https://es.slideshare.net/slideshow/escorrentia-79535908/79535908>
- Quishpe, A. G. (2017). Caracterización hidrometeorológica y estimación del balance hídrico en la cuenca del río Chambo [bachelorThesis, Quito, 2017.]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17317>
- Randon Ortiz, C., y Chile, M. (2020). Métodos de cálculo para estimar la evapotranspiración de referencia para el Valle de Tumbaco. *Siembra*, 7(1), 001-010.
- RIDRENSUR-EP. (2013). Plan de riego provincial.
- Rivas, H., Molina, J. P., Espinosa, R., y Castillo, S. (2017). Manual de practicas - Hidrologia superficial-Septimo semestre. <https://lc.cx/JvDpHT>
- Randon Ortiz, C., y Chile, M. (2020). Métodos de cálculo para estimar la evapotranspiración de referencia para el Valle de Tumbaco. *Siembra*, 7(1), 001-010.
- Rothschuh Osorio, U. (2021). Qué son las aguas superficiales: Definición y ejemplos - Resumen y FOTOS. Qué son las aguas superficiales: definición y ejemplos. <https://lc.cx/QQBQpa>
- Robbins, S.p,y De Cenzo, D.A. (2008): Administracion, 8a ed., Mexico: Person Educacion
- Rojo, J. (2013). Morfometría. <https://lc.cx/ShrnJX>
- School, E. B. (2004). ¿Qué es el desarrollo de un país? | Euroinnova. Euroinnova Business School. <https://lc.cx/XZ3Pgn>

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2013). El Medio Ambiente en México 2013-2014. Agua • Disponibilidad.
https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_resumen14/06_agua/6_1_1.html

Secretaria Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2017). IDESEP. Disponibilidad Hídrica.
https://idesep.senamhi.gob.pe/portaledese/idesep_tema_cambio_climatico_disponibilidad_hidrica_analisis_comparativo.jsp

SEMARNAT. (2013). El Medio Ambiente en México 2013-2014.
https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_resumen14/06_agua/6_1_1.html

SENAMHI. (2017). Disponibilidad Hídrica. Disponibilidad Hídrica.
https://idesep.senamhi.gob.pe/portaledese/idesep_tema_cambio_climatico_disponibilidad_hidrica_analisis_comparativo.jsp

SGS. (2023). ¿Cómo se Realiza la Medición de Caudal? SGSCorp. <https://lc.cx/vLudyQ>

SOLEN. (2022). ¿Qué es el agua de riego y de donde proviene? SOLEN | Equipos de Alta Presión. <https://lc.cx/G-10jI>

Soler. (2017). Fórmula para calcular el caudal (con y sin normativa) | S&P. S&P Sistemas de Ventilación. <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/formula-caudal/>

Valdivielso, A. (2016). ¿Qué es un caudal? iAgua; iAgua. https://lc.cx/_a8-90

Valdivielso, A. (2020). ¿Qué es la escorrentía? [Text]. iAgua; iAgua.
<https://www.iagua.es/respuestas/que-es-escorrentia>

Vaz Ferrà, T. (2016). Bosque Seco: [Características, Fauna, Flora y Temperatura]. EnergiaToday. <https://energiatoday.com/tipos-de-bosques/seco/>

Volonté, A., Gil, V., y Campo, A. M. (2018). Estudio de la vegetación y sus efectos en la dinámica fluvial en cuencas serranas, Argentina. *Revista Geográfica Venezolana*, 59(2), 366-380.

Zhang, L., Potter, N., Hickel, K., Zhang, Y., y Shao, Q. (2008). Water balance modeling over variable time scales based on the Budyko framework - Model development and testing. *Journal of Hydrology*, 360(1-4), 117-131.
doi:10.1016/j.jhydrol.2008.07.021

11. Anexos

Anexo 1. Resumen de cobertura vegetal de las unidades hidrográficas Cazaderos y El Caucho

Cobertura vegetal (Ha)	U. Cazaderos	U. El Caucho
Bosque nativo	2457.43	6218.24
Tierra Agrícola	2877.84	1514.59
Vegetación arbustiva y herbácea	43.2	4.70
Cuerpos de Agua	540.49	46.03
Zona Antrópica	95.44	----
Otras tierras	46.79	----

Anexo 2. Resumen de uso de suelo de las unidades hidrográficas (Cazaderos y El Caucho)

Usos de suelo (Ha)	U. Cazaderos	U. El Caucho
Bosque nativo	34993	37837.17
Pastizal	8511.76	5577.71
Vegetación arbustiva y herbácea	18.27	10.44
Cuerpos de Agua Natural	575.15	61.92
Mosaico agropecuario	5569.54	5035.53
Área poblada	107.64	-----

Anexo 3. Resumen de áreas de cultivos de las unidades hidrográficas (Cazaderos y El Caucho)

Cultivos (Ha)	U. Cazaderos	U. El Caucho
Maíz	5356.12	503.87
Pasto cultivado	748.17	475.99
Otros	371.04	78.02

Anexo 4. Longitud de los cauces unidad hidrográfica Cazaderos.

Orden	Numero	Longitud (km)
1	61	98,20
2	13	38,21
3	37	25,43

Anexo 5. Longitud de los cauces de la Unidad hidrográfica El Caucho.

Orden	Numero	Longitud (km)
1	87	12,70
2	25	6,16
3	121	3,13

Anexo 6. Medición de caudales de unidad hidrográfica Cazaderos.



Anexo 7. Medición de caudales de unidad hidrográfica El Caucho.



Anexo 8. Certificado de la realización del abstract

CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN

Yo, Eduardo Alexander Vargas Romero, con número de cédula 1104605454 y con título de Licenciado en Ciencias de la Educación, Mención Inglés, registrado en el SENESCYT con número 1031-15-1437415

CERTIFICO:

Que he realizado la traducción de español al idioma Inglés del resumen del presente trabajo de integración curricular denominado **“DISPONIBILIDAD HÍDRICA SUPERFICIAL DE LAS MICROCUENCAS DEL CANTON ZAPOTILLO PERTENECIENTE A LA CUENCA**

HIDROGRÁFICA PUYANGO” de autoría de **Brandon Rodrigo Ulloa Loja**, portador de la cédula de identidad, número **1106090218**, estudiante de la carrera de Ingeniería Agrícola, Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja, siendo el mismo verdadero y correcto a mi mejor saber y entender.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando al interesado hacer uso del presente en lo que se creyera conveniente.



Firmado electrónicamente por:

EDU

**ARDO
ALEXANDER
VARGAS
ROMERO**

Mgtr. Eduardo Alexander Vargas Romero

C.I. 1104605454

Registro del SENESCYT: 1031-15-1437415