



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN,  
VINCULACIÓN Y POSGRADO**

**DIRECCIÓN DE POSGRADO**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE:**

**MAGÍSTER EN INGENIERÍA AMBIENTAL CON MENCIÓN EN  
RECURSOS HÍDRICOS**

**TEMA:**

**“DETERMINACIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA DE LA MICROCUENCA  
DEL RÍO COCO EN EL CANTÓN PALLATANGA, PROVINCIA DE  
CHIMBORAZO”**

**AUTORA:**

**Ing. Carrillo Mejía Anais Gabriela**

**TUTORA:**

**Dra. Silvia Hipatia Torres Rodríguez, PhD.**

**Riobamba – Ecuador**

**2025**

## **Certificación del Tutor**

Certifico que el presente trabajo de titulación denominado: “DETERMINACIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO COCO EN EL CANTÓN PALLATANGA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO”, ha sido elaborado por la Ing. Carrillo Mejía Anais Gabriela, mismo que ha sido orientado y revisado con el asesoramiento permanente de mi persona en calidad de Tutora. Así mismo, refrendo que dicho trabajo de titulación ha sido revisado por la herramienta anti plagio institucional; por lo que certifico que se encuentra apto para su presentación y defensa respectiva.

Es todo cuanto puedo informar en honor a la verdad.

Riobamba, 12 de marzo de 2025

---

Dra. Silvia Hipatia Torres Rodríguez, PhD.

**TUTORA**

## **Declaración de Autoría y Cesión de Derechos**

Yo, Carrillo Mejía Anais Gabriela, con número único de identificación 060408724-7, declaro y acepto ser responsable de las ideas, doctrinas, resultados y lineamientos alternativos realizados en el presente trabajo de titulación denominado: “DETERMINACIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO COCO EN EL CANTÓN PALLATANGA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO”, previo a la obtención del grado de Magíster en Ingeniería Ambiental con mención en Recursos Hídricos.

- Declaro que mi trabajo investigativo pertenece al patrimonio de la Universidad Nacional de Chimborazo de conformidad con lo establecido en el artículo 20 literal j) de la Ley Orgánica de Educación Superior LOES.
- Autorizo a la Universidad Nacional de Chimborazo que pueda hacer uso del referido trabajo de titulación y a difundirlo como estime conveniente por cualquier medio conocido, y para que sea integrado en formato digital al Sistema de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor, dando cumplimiento de esta manera a lo estipulado en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior LOES.

Riobamba, 12 de marzo de 2025

---

**Ing. Carrillo Mejía Anais Gabriela**

N.U.I. 060408724-7

## **Agradecimiento**

Mi profunda gratitud a Dios, por darme salud y fortaleza en los momentos más difíciles de este camino, a mi querida madre, por su apoyo incondicional, por educarme con amor y esfuerzo, y por ser el mejor ejemplo de constancia y trabajo. Su mayor legado es la profesión que hoy ejerzo con orgullo.

A mi esposo e hija, a Don Salomón y Piedadsita, por sus consejos, apoyo y cariño, convirtiéndose en mi mayor fortaleza, gracias por estar siempre presentes con su comprensión y respaldo. Su apoyo ha sido fundamental en la culminación de esta meta.

De manera muy especial agradezco a la Doctora Silvia Hipatia Torres Rodríguez como tutora de este trabajo, por brindarme sus conocimientos, apoyo y prestar su ayuda en el desarrollo de este trabajo, por su paciencia y apoyo invaluable en este largo proceso.

*Anais*

## **Dedicatoria**

A mi madre, Narcisa Mejía, por ser mi pilar inquebrantable, mi ejemplo de fortaleza y amor incondicional. Gracias por su apoyo inagotable, por creer en mí incluso en los momentos más desafiantes y por enseñarme que la perseverancia y el esfuerzo siempre dan frutos.

A mi compañero de vida Fabián, por tu amor y paciencia. Gracias por ser mi refugio en los momentos difíciles y por celebrar conmigo cada logro alcanzado, a mi hija, Valentina por ser mi mayor inspiración. Cada uno de mis esfuerzos ha sido por ti, para enseñarte con el ejemplo que los sueños se alcanzan con dedicación y constancia.

A mi hermano Franklin por ser mi guía en los momentos de duda y por impulsarme siempre a dar lo mejor de mí. A ustedes por su protección, palabras de aliento y compañía han sido fundamentales en mi crecimiento, tanto personal como profesional. En cada desafío, han estado presente, brindándome la confianza y la fortaleza.

*Anais*

## Índice General

<b>Certificación del Tutor</b> .....	
<b>Declaración de Autoría y Cesión de Derechos</b> .....	
<b>Agradecimiento</b> .....	
<b>Dedicatoria</b> .....	
<b>Índice General</b> .....	
<b>Índice de Tablas</b> .....	
<b>Índice de Figuras</b> .....	
<b>Resumen</b> .....	
<b>Abstract</b> .....	
<b>Introducción</b> .....	<b>13</b>
<b>Capítulo 1</b> .....	<b>15</b>
<b>Generalidades</b> .....	<b>15</b>
1.1 Planteamiento del problema .....	15
1.2 Justificación de la Investigación .....	16
1.3 Objetivos.....	18
1.3.1 Objetivo General.....	18
1.3.2 Objetivos Específicos .....	18
<b>Capítulo 2</b> .....	<b>19</b>
<b>Estado del Arte y la Práctica</b> .....	<b>19</b>
2.1 Antecedentes investigativos .....	19
2.2 Fundamentación legal.....	21
2.3 Fundamentación teórica.....	22
2.3.1 Cuenca hidrográfica.....	22
2.3.2 Geomorfología de la cuenca .....	22
2.3.3 Características físicas de las cuencas.....	23
2.3.4 Parámetros de Relieve .....	25
2.3.5 Parámetros de la red hidrográfica de la cuenca .....	26
2.3.6 Sistema de información geográfica .....	28
2.3.7 Sistemas de teledetección .....	28
2.3.8 Porosidad del suelo.....	29
2.3.9 Coeficiente de permeabilidad .....	29

2.3.10	Capacidad de infiltración.....	30
2.3.11	Método número de curva.....	30
2.3.12	Ley de Darcy .....	30
2.3.13	Condición hidrológica para la infiltración.....	31
2.3.14	Clasificación de coberturas.....	31
2.3.15	HEC-HMS .....	32
2.3.16	Sistemas de Teledetección.....	32
2.3.17	Clasificación de imágenes satelitales .....	32
	<b>Capítulo 3 .....</b>	<b>34</b>
	<b>Diseño Metodológico .....</b>	<b>34</b>
3.1	Enfoque de la investigación.....	34
3.2	Diseño de la investigación.....	34
3.2.1	Recolección de Datos Hidrometeorológicos: Se recopilaron datos históricos de precipitación y temperatura provenientes de estaciones meteorológicas locales. ....	34
3.2.2	Procesamiento de Datos Cartográficos: Se utilizaron herramientas de teledetección y SIG para analizar la cobertura del suelo y los parámetros geomorfológicos. ....	34
3.2.3	Modelación Hidrológica: Se empleó el software HEC-HMS para simular la escorrentía y el caudal, evaluando la oferta hídrica bajo diferentes escenarios. ....	34
3.3	Área de estudio .....	35
3.3.1	Condiciones Climáticas: .....	35
3.3.2	Cobertura Vegetal:.....	35
3.4	Técnicas e instrumentos de muestreo y recolección de datos .....	36
3.4.1	Datos Utilizados: .....	36
3.5	Población de estudio y tamaño de la muestra.....	36
3.5.1	Población y muestra .....	36
3.6	Métodos de análisis .....	36
3.6.1	Procesamiento cartográfico: .....	36
3.6.2	Cálculo del número de curva (CN):.....	36
3.6.3	Modelación hidrológica:.....	37
3.6.4	Análisis estadístico: .....	37
3.7	Procesamiento de datos .....	37
	<b>Capítulo 4 Análisis y Discusión de los Resultados.....</b>	<b>38</b>

4.1	Determinación de los parámetros de forma, relieve, red e hidráulicos de la microcuenca del río Coco, cantón Pallatanga, provincia de Chimborazo .....	38
4.2	Cálculo del número de curva (CN), utilizando el uso de suelo y la cobertura vegetal de la microcuenca del río Coco, cantón Pallatanga, provincia de Chimborazo .....	39
4.2.1	Análisis .....	45
4.3	Modelamiento del caudal del río Coco mediante el método precipitación – escorrentía.....	45
4.3.1	Oferta hídrica microcuenca del río Coco.....	51
4.4	Discusión de los Resultados .....	51
4.4.1	Variabilidad temporal en los caudales máximos .....	52
4.4.2	Evaluación del caudal ecológico .....	52
4.4.3	Oferta Hídrica y caudal disponible.....	52
4.4.4	Impactos del cambio en el uso del suelo .....	53
4.4.5	Sostenibilidad y conservación del recurso hídrico .....	53
	<b>Capítulo 5 .....</b>	<b>54</b>
	<b>Conclusiones.....</b>	<b>54</b>
	<b>Recomendaciones.....</b>	<b>56</b>
	<b>Referencias Bibliográficas .....</b>	<b>57</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>63</b>



## Índice de Tablas

Tabla 1. Parámetros geomorfológicos de la microcuenca del río Coco .....	38
Tabla 2. Numero de curva río Coco 1990 .....	41
Tabla 3. Número de curva río Coco 2000 .....	42
Tabla 4. Numero de curva río Coco 2016 .....	43
Tabla 5. Numero de curva río Coco 2022 .....	44
Tabla 6. Parámetros hidráulicos de la microcuenca del río Coco .....	45
Tabla 7. Caudal ofertado 1981-1990 .....	47
Tabla 8. Caudal ofertado 1991-2000 .....	48
Tabla 9. Caudal ofertado 2001-2016 .....	49
Tabla 10. Caudal ofertado 2017-2023 .....	50
Tabla 11. Caudal ofertado Promedio .....	51
Tabla 12. Precipitación - Escorrentía 1981-1990 .....	63
Tabla 13. Precipitación - Escorrentía 1991-2000 .....	63
Tabla 14. Precipitación - Escorrentía 2001-2016 .....	63
Tabla 15. Precipitación - Escorrentía 2017-2023 .....	64

## Índice de Figuras

Figura 1. Microcuenca del río Coco, cantón Pallatanga, provincia de Chimborazo .....	35
Figura 2. Curva hipsométrica de la microcuenca del río Coco .....	39
Figura 3. Mapa de cobertura y uso de la tierra 1990 .....	40
Figura 4. Mapa de cobertura y uso de la tierra 2000 .....	42
Figura 5. Mapa de cobertura y uso de la tierra 2016 .....	43
Figura 6. Mapa de cobertura y uso de la tierra 2022 .....	44
Figura 7. Precipitación - Escorrentía 1981-1990.....	46
Figura 8. Precipitación - Escorrentía 1991-2000.....	47
Figura 9. Precipitación - Escorrentía 2001-2016.....	49
Figura 10. Precipitación - Escorrentía 2017-2023.....	50

## Resumen

El objetivo de la presente investigación fue determinar la oferta hídrica de la microcuenca del río Coco, ubicada en el cantón Pallatanga, provincia de Chimborazo, mediante el método precipitación-escorrentía. La investigación abarcó un área de 97,63 km<sup>2</sup>, caracterizada por pendientes pronunciadas y una cobertura vegetal diversa. La metodología se desarrolló en tres fases principales: procesamiento cartográfico, cálculo del número de curva (CN) utilizando herramientas HEC-HMS, y modelación hidrológica. Se emplearon datos satelitales y de estaciones meteorológicas, complementados con análisis estadísticos para validar los resultados. Entre los hallazgos más relevantes, se determinó que la microcuenca presenta una relación precipitación-escorrentía altamente reactiva (55 %), lo que indica una capacidad de infiltración limitada. Los valores del Número de Curva (CN) variaron entre 30 y 99, dependiendo del uso del suelo y la cobertura vegetal, destacándose que las áreas con mayor densidad de vegetación generan menor escorrentía. Se identificó un incremento progresivo en los caudales máximos a lo largo del período analizado. En 2016, el caudal máximo registrado fue de 4,07 m<sup>3</sup>/s, aumentando a 4,91 m<sup>3</sup>/s en 2023, lo que evidencia la influencia de eventos de precipitación extrema. Asimismo, los caudales ofertados mostraron una tendencia creciente, pasando de 3,13 m<sup>3</sup>/s en 2016 a 3,88 m<sup>3</sup>/s en 2023. Además, se observó una reducción en la capacidad de retención hídrica, reflejada en una mayor dispersión de los valores de escorrentía entre 2017 y 2023, junto con tiempos de concentración reducidos (28,32 minutos). La microcuenca del río Coco posee una oferta hídrica suficiente, pero las fluctuaciones por el clima y el uso del suelo requieren estrategias sostenibles. El modelo HEC-HMS permitió evaluar patrones hidrológicos y proyectar escenarios futuros, consolidándose como una herramienta clave para la planificación y gestión eficiente del recurso hídrico.

**Palabras claves:** Clase de uso de la tierra, caudal ecológico, escorrentía, modelo hidrológico, oferta hídrica, parámetros morfométricos, precipitación.

## Abstract

The current study aimed to assess the water supply of the Coco River micro-basin, located in the Pallatanga Canton - Chimborazo province, using the precipitation-runoff method. The study area, covering 97.63 km<sup>2</sup>, is characterized by steep slopes and diverse vegetation. The methodology consisted of three phases: cartographic processing, Curve Number (CN) calculation using HEC-HMS tools, and hydrological modeling. Satellite data and meteorological station data were used, with statistical analysis applied to validate the results. Key findings include a highly responsive precipitation-runoff relationship (55%), indicating limited infiltration capacity. CN values ranged from 30 to 99, influenced by land use and vegetation cover, with denser vegetation leading to reduced runoff. Maximum flows exhibited a consistent increase over the study period, rising from 4.07 m<sup>3</sup>/s in 2016 to 4.91 m<sup>3</sup>/s in 2023, reflecting the impact of extreme precipitation events. Similarly, average Flow values increased from 3.13 m<sup>3</sup>/s in 2016 to 3.88 m<sup>3</sup>/s in 2023. Additionally, a decrease in water retention capacity was observed, evidenced by greater runoff variability and reduced concentration times (28.32 minutes) between 2017 and 2023. While the micro-basin provides adequate water supply, climate and land use fluctuations necessitate sustainable management strategies. The HEC-HMS model proved effective in evaluating hydrological patterns and projecting future scenarios, serving as a crucial tool for efficient water resource planning and management.

**Keywords:** *Land use class, ecological flow, runoff, hydrological model, water supply, morphometric parameters, precipitation.*

*Reviewed by*



MsC. Adriana Cundar Ruano, Ph.D.  
ENGLISH PROFESSOR  
C.C. 1709268534

## Introducción

La gestión sostenible de los recursos hídricos representa un desafío global que adquiere especial relevancia en regiones de alta biodiversidad y diversidad climática, como los Andes ecuatorianos. En este contexto, las microcuencas constituyen unidades clave para comprender y gestionar el ciclo hidrológico, ya que en ellas convergen factores físicos, ecológicos y sociales que determinan la disponibilidad de agua (Zarta, 2022).

La microcuenca del río Coco se localiza en el cantón Pallatanga, provincia de Chimborazo, se destaca por su importancia en el abastecimiento de agua para las comunidades locales, así como la incidencia en las actividades económicas y ambientales. Pallatanga tiene una población de 12367 habitantes de los cuales 8238 corresponden al sector rural y 4085 al área urbana. En la zona rural la densidad es de 10,86 hab/ km<sup>2</sup> y en la zona urbana es de 2,93 hab/km<sup>2</sup>, lo que evidencia una tendencia de crecimiento poblacional en la zona urbana (GADM Pallatanga, 2019).

En este sentido la disponibilidad hídrica de la microcuenca, particularmente en las intrincadas regiones andinas, demanda un abordaje holístico que integre, de manera armónica, variables geomorfológicas, hidráulicas y ecológicas. En este contexto, el método precipitación–escorrentía se erige como un instrumento técnico de probada eficacia, permitiendo desentrañar las complejas dinámicas que rigen la generación de caudales y su inextricable vínculo con las propiedades físicas del terreno y el tapiz vegetal que lo reviste (Saldaña et al., 2023).

El presente estudio propone como objetivo general la determinación de la oferta hídrica en la microcuenca del río Coco, mediante el método precipitación–escorrentía, reconocido por su idoneidad en la modelización de sistemas hidrológicos de elevada complejidad. Para lograr este objetivo, se han delineado tres objetivos específicos: (1) examinar con minuciosidad los parámetros geomorfológicos y la configuración de la red hidráulica; (2) estimar el número de curva (CN) en función del uso antrópico del suelo y la cobertura vegetal circundante; y (3) modelizar el caudal, estableciendo la intrincada relación existente entre la precipitación y la escorrentía, a fin de conferir mayor precisión a la caracterización hidrológica de la cuenca (Moreno, 2016).

En este contexto, el análisis del uso actual del suelo en el cantón Pallatanga resulta fundamental para estimar con precisión el CN y, por ende, la oferta hídrica. El territorio se caracteriza principalmente por áreas destinadas a la conservación y protección, que abarcan 23191,96 hectáreas, lo que resalta la importancia de preservar los recursos naturales y la biodiversidad local. Las actividades agrícolas ocupan 2635,02 hectáreas, las pecuarias 6828,25 hectáreas y las agropecuarias mixtas 5186,66 hectáreas, reflejando la relevancia del sector productivo en la economía local. Por otro lado, las zonas de uso antrópico, como las áreas urbanas, cubren apenas 57,06 hectáreas. En general, el patrón de uso del suelo se ha mantenido estable según el PDYOT 2014-2019, lo que permite una caracterización confiable para la modelación hidrológica de la microcuenca.

La utilización de este enfoque técnico no solo nos dio la oportunidad de estimar la oferta hídrica aprovechable, sino que, también, se generó información valiosa para la planificación y el manejo sustentable de los recursos hídricos de la microcuenca. Este estudio cobra especial interés en el contexto del cambio climático y la creciente presión sobre los recursos naturales destacando la importancia de articular el conocimiento científico con las normativas locales para garantizar un uso eficaz y justo del agua (Ramirez, 2018).

En este marco, el presente estudio buscó establecer una línea base para la planificación de acciones sostenibles de gestión hídrica mediante la determinación de la oferta hídrica de la microcuenca del río Coco. A partir de los resultados de este estudio se podrá diseñar una propuesta donde se observe el equilibrio de las necesidades de las comunidades locales.

## Capítulo 1

### Generalidades

#### 1.1 Planteamiento del problema

El agua es un recurso indispensable para la vida y el desarrollo económico en entornos rurales. Cuando esta disminuye, condiciona la posibilidad de llevar a cabo actividades productivas, como agricultura, ganadería, aprovisionamiento para el consumo humano y conservación de los ecosistemas (Córdoba, 2021). En este orden de ideas, la microcuenca del río Coco, situada en el cantón Pallatanga, provincia de Chimborazo, tiene un papel fundamental como generadora de agua para las comunidades aledañas y como motor de los procesos ecológicos que lo rodean. Sin embargo, la presión que ejercen las personas producto de las actividades de pastoreo, cambios de uso de suelo y el impacto del cambio climático se han incrementado, por lo que esta microcuenca está amenazada y limitada para generar agua a largo plazo.

Uno de los aspectos más alarmantes es la falta de información técnica y actualizada sobre la oferta hídrica de la microcuenca, lo que afecta la posibilidad de una toma de decisiones encaminadas a una gestión de conservación. Sin datos puntuales sobre la cantidad y la dinámica del agua disponible, resulta difícil establecer estrategias que garanticen el equilibrio entre las necesidades humanas y la protección del medio ambiente. La tala indiscriminada, la expansión de la frontera agropecuaria, las anomalías en los patrones de precipitación, etc., son factores que incrementan la inseguridad sobre demanda y oferta hídrica de la microcuenca (GAD Pallatanga, 2019).

Por ello, la presente investigación orienta sus esfuerzos a la solución del problema desde un enfoque integral, el cual da a conocer una serie de alternativas para poder determinar y entender la oferta hídrica disponible en la microcuenca del río Coco. La herramienta técnica adecuada para modelar el comportamiento hidrológico de la cuenca y obtener información útil para poder planificar su gestión es la geomorfología, uso del suelo y cobertura vegetal. Sin embargo, la falta de estudios específicos que aplique este método en la microcuenca supone una limitación para el desarrollo del potencial de las autoridades locales y los agentes comunitarios a la hora de implementar políticas de uso del agua o desarrollo de recursos hídricos.

Por lo tanto, este estudio busca llenar este vacío de conocimiento, generando datos precisos y confiables sobre la oferta hídrica de la microcuenca del río Coco. Los resultados permitirán no solo establecer una línea base para el manejo sostenible de los recursos hídricos, sino también contribuir al desarrollo de estrategias que promuevan un uso racional del agua, integrando las necesidades humanas con la conservación de los ecosistemas. Esto es esencial para garantizar el desarrollo sostenible del cantón Pallatanga y la resiliencia de sus comunidades frente a los desafíos ambientales actuales y futuros.

## **1.2 Justificación de la Investigación**

El presente estudio permitió determinar la oferta hídrica en la microcuenca del río Coco, perteneciente al cantón Pallatanga, provincia de Chimborazo. Esta investigación nace a raíz de que el agua se ha convertido en la fuente principal de vida y motor del desarrollo social y económico en el sector ya que no solo sustenta la existencia humana, sino que también protege el equilibrio de los ecosistemas locales. Sin embargo, hoy en día este recurso enfrenta desafíos mucho más complejos como los generados por efectos del cambio climático, producto de la deforestación y la expansión de la frontera agropecuaria. Por otro lado, la escasa planificación territorial genera conflictos entre quienes hacen uso de los recursos naturales y quienes pretenden conservar y aprovechar de manera óptima.

En este contexto, la presente investigación orienta sus esfuerzos a una mejor gestión pues constituye un primer paso hacia la construcción de un conocimiento técnico y científico sobre la disponibilidad hídrica de la microcuenca. Por esta razón la aplicación del método precipitación–escorrentía, permitió modelar el comportamiento del recurso, identificando los nexos entre las características geomorfológicas del terreno, el uso del suelo, la cobertura vegetal y los patrones de precipitación. De ahí que los hallazgos resultaron cruciales para la formulación de estrategias de gestión y conservación que aseguren la sostenibilidad del recurso, tanto en términos de cantidad como de calidad.

En tal sentido, este estudio se manifiesta en múltiples dimensiones ya que constituye un insumo indispensable para la toma de decisiones, proporcionando a las autoridades locales y a los actores involucrados herramientas fundamentadas para la formulación de nuevas políticas y planes de manejo hídrico que garanticen la sostenibilidad del recurso. Por otro lado también, su contribución al desarrollo sostenible es innegable, pues promueve un uso



racional y eficiente del agua, beneficiando no solo a las comunidades locales, sino también a los ecosistemas, cuya conservación es clave para mantener la vegetación.

De igual forma, este estudio reviste una importancia crucial en la mitigación de riesgos ambientales, ya que un diagnóstico preciso de la oferta hídrica permite anticipar y minimizar los impactos de eventos extremos, como sequías e inundaciones fortaleciendo así la capacidad de adaptación de la microcuenca y de sus habitantes. Por último, su relevancia trasciende el ámbito local, pues la microcuenca del río Coco desempeña un papel esencial en la dinámica hídrica del cantón Pallatanga y las conclusiones generadas por esta investigación sirven de referente para microcuencas vecinas con características similares, promoviendo un enfoque de gestión integrada a nivel territorial.

Razón por la cual, este estudio no solo contribuye al conjunto técnico y científico, sino que también se convierte en una herramienta clave para la construcción de un modelo de desarrollo que conjugue las necesidades humanas con la conservación de los sistemas naturales. Al generar un conocimiento aplicable a la realidad de la microcuenca, esta investigación fortalece los orígenes de una gestión hídrica responsable, orientada a la equidad intercultural y al bienestar tanto de las comunidades como del entorno que las sustenta.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general**

- Determinar la oferta hídrica de la microcuenca del río Coco, cantón Pallatanga, provincia de Chimborazo, mediante el método precipitación – escorrentía.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Establecer los parámetros de forma, relieve, red e hidráulicos de la microcuenca del río Coco, cantón Pallatanga, provincia de Chimborazo.
- Calcular el número de curva (CN), utilizando el uso de suelo y la cobertura vegetal de la microcuenca del río Coco, cantón Pallatanga, provincia de Chimborazo.
- Modelar el caudal del río Coco mediante el método precipitación – escorrentía.

## Capítulo 2

### Estado del Arte y la Práctica

#### 2.1 Antecedentes investigativos

Para contextualizar los antecedentes de la presente investigación sobre la determinación de la oferta hídrica en microcuencas altoandinas resultó necesario realizar un análisis exhaustivo de estudios previos relacionados con la gestión y oferta hídrica, la aplicación de modelos hidrológicos y la caracterización de parámetros morfométricos. Estos antecedentes proporcionaron un fundamento teórico y metodológico sólido, admitiendo una comprensión más profunda de la problemática actual y de las necesidades específicas en el manejo sostenible del recurso hídrico en la región andina.

Un de los estudio más relevantes en esta línea de investigación es el desarrollado por Larrea & Maldonado, (2022), quienes concentraron su análisis en la microcuenca del río Guamote que forma parte de la subcuenca del río Chambo. La eficacia de este trabajo radica en la necesidad de contar con datos hidrológicos precisos en una región dedicada a la producción agropecuaria, donde la ausencia de estaciones de monitoreo representa un desafío para la planificación y gestión eficiente del recurso físico. Con este propósito, los autores efectuaron el método precipitación–escorrentía, reuniendo parámetros geomorfológicos, capacidad de campo y cobertura vegetal, amparados en herramientas avanzadas como los SIG y el análisis de imágenes satelitales.

Los hallazgos de la investigación señalaron que la cobertura vegetal y la composición edáfica desempeñan un papel determinante en la variación del número de curva (CN), un parámetro fundamental en la estimación del escurrimiento superficial. Asimismo, se identificaron conflictos vinculadas a la degradación del suelo, fruto de inadecuadas prácticas agropecuarias, resaltando la importancia de implementar prácticas de conservación y manejo sostenible. Mediante el uso del software HEC-HMS, los investigadores lograron modelar hidrológicamente la microcuenca, obteniendo registros de caudales diarios para un periodo de 40 años (1981-2021) permitiendo así la estimación de caudales totales ecológicos y concesionados para riego.

El estudio concluyó que la oferta hídrica estimada para el río Guamote fue de 0,1394 m<sup>3</sup>/s, valor que destaca el potencial de los cuerpos hídricos para proyectos de riego a gran escala,

siempre que se garantice el uso sostenible del recurso. Estos hallazgos evidencian la relevancia de emplear métodos técnicos como el modelo SCS y herramientas geoespaciales para la planificación hídrica en áreas con limitada infraestructura de monitoreo.

Jaya & Rodríguez, (2023), efectuaron una investigación acerca de la determinación de la oferta hídrica de las microcuencas de los ríos Ishpi, Daldal, Uldán y la quebrada Cachipata, situadas en la subcuenca del río Chambo, en los cantones Chambo y Riobamba. Las zonas de estudio, al encontrarse en regiones con una elevada demanda hídrica para actividades agrícolas y ganaderas, constituyen eslabones fundamentales dentro del ciclo hidrológico local. No obstante, la carencia de estaciones hidrométricas que permitan registrar caudales en tiempo real ha representado un obstáculo significativo para el desarrollo e implementación de proyectos de riego y estrategias de manejo sostenible del recurso hídrico.

Ante esta condición, los investigadores recurrieron al método precipitación-escorrentía como una herramienta de modelación hidrológica idónea, complementándolo con un análisis detallado de parámetros geomorfológicos e hidráulicos. La aplicación SIG facilitó la identificación de puntos estratégicos de muestreo, seleccionados en función de la cobertura vegetal y las características edafológicas de la microcuenca. Los resultados de estos análisis evidenciaron que las principales actividades antrópicas, entre ellas la expansión de la frontera agrícola y el sobrepastoreo, han desencadenado procesos de degradación del suelo, afectando su estructura, porosidad, contenido de materia orgánica y capacidad de infiltración.

La modelación hidrológica, llevada a cabo mediante el software HEC-HMS y la aplicación del método del número de curva (SCS), permitió la estimación de caudales diarios en un horizonte temporal de 20 años (1981-2021). Las ofertas hídricas determinadas para las microcuencas analizadas fueron de 0,382 m<sup>3</sup>/s en el río Ishpi, 0,68 m<sup>3</sup>/s en el río Daldal, 1,044 m<sup>3</sup>/s en el río Uldán y 0,276 m<sup>3</sup>/s en la quebrada Cachipata. Estos valores subrayan el potencial hídrico de estos sistemas para satisfacer las necesidades de las comunidades aledañas, siempre y cuando se promueva un manejo racional y sostenible del recurso.

El estudio pone de manifiesto la trascendencia de integrar herramientas avanzadas de modelación hidrológica con estrategias de gestión territorial orientadas a la conservación de los recursos hídricos en zonas de alta presión antrópica. En este sentido, los hallazgos obtenidos no solo contribuyen a la comprensión de la dinámica hidrológica de estas

microcuencas, sino que también ofrecen una base científica para la toma de decisiones en materia de planificación y ordenamiento del recurso hídrico en la región.

## **2.2 Fundamentación legal**

El derecho ambiental, como parte del derecho internacional, es una rama en constante evolución. Los convenios internacionales juegan un rol cada vez más relevante tanto en el derecho ambiental global como en la legislación nacional. En este contexto, se han implementado numerosos acuerdos internacionales, y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) ha impulsado una nueva etapa en este desarrollo (ONU, 2014).

En 1987 el PNUMA presentó ante la Asamblea General el informe "Nuestro futuro común" (informe Brundtland) y reemplazó la Carta Mundial sobre el Derecho a la Diversidad Biológica. Más adelante dicha Cumbre generó documentos legales internacionales, como la Declaración de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo que instauró un marco legal sólido. Este proceso prosperó con la Convención de las Naciones sobre el Cambio Climático, desarrollado en la Cumbre de París en 2015 (ONU, 2014).

En nuestro país la Constitución garantiza el acceso al agua como un derecho humano fundamental, aseverando su disponibilidad continua y segura para toda la población. Este principio no solo reconoce la vital importancia del recurso hídrico para la vida y el bienestar de las personas, sino que también lo vincula estrechamente con el equilibrio ecológico y la preservación del medio ambiente.

El marco legal ecuatoriano, influenciado por el neoconstitucionalismo y las reivindicaciones históricas de los pueblos indígenas, otorga al agua un estatus de bien inalienable, declarándola patrimonio estratégico de uso público. Esta concepción implica que su administración y gestión deben responder a criterios de equidad y sostenibilidad, garantizando no solo el acceso en términos de cantidad y calidad, sino también su conservación para las generaciones futuras.

De esta firma, el estado asume la responsabilidad de velar por el manejo racional y sustentable del recurso hídrico, aplicando principios fundamentales como la sostenibilidad, la precaución, la prevención y la eficiencia ambiental. Así, se establece un compromiso firme con la protección del agua como un elemento esencial para el desarrollo social, económico

y ambiental del país, asegurando que su aprovechamiento no comprometa la integridad de los ecosistemas ni el bienestar de las comunidades que dependen de él (Sofía et al., 2020).

## **2.3 Fundamentación teórica**

### **2.3.1 Cuenca hidrográfica**

Según Terán (2018), una cuenca hidrográfica es una región de la superficie terrestre donde el agua, proveniente de precipitaciones o del deshielo, se infiltra y fluye a través de una red de corrientes hasta confluir en un cauce principal, que generalmente desemboca en un río, océano u otro cuerpo de agua. Constituye una unidad geográfica natural delimitada por divisorias de aguas, dentro de la cual toda la precipitación converge hacia un único punto de salida común, como un río, lago u otro cuerpo de agua mayor.

Este sistema está hecho por partes que se unen, como el suelo, la red de desagüe, el clima, la tierra, las plantas y las cosas que hacen los humanos. Todos ellos trabajan juntos para controlar el ciclo del agua. En la ciencia, las zonas de agua son muy importantes para mirar y cuidar los recursos de agua pues son sitios claves para tener buen balance de agua, mirar los flujos, cuidar el ambiente y ayudar a las comunidades que necesitan este recurso (Guevara, 2015).

Además, como resultado de las acciones humanas, una cuenca hidrográfica trasciende su función básica de ser un área donde fluye el agua. Se convierte en un entorno de interrelaciones complejas entre los componentes físicos, biológicos y sociales, configurándose como un espacio geográfico donde coexisten comunidades humanas y naturales, definidas por ciclos y flujos de energía, materia y organismos (Hernando, 2017).

### **2.3.2 Geomorfología de la cuenca**

La geomorfología de la cuenca se define como la disciplina científica que estudia las formas del terreno y los procesos geológicos que las moldean dentro del ámbito de una cuenca hidrográfica. Este enfoque analiza las características físicas, estructurales y dinámicas del relieve, así como la interacción de factores climáticos, hidrológicos, tectónicos y antrópicos que determinan la configuración y evolución del paisaje (Santamaría et al., 2023).

En el contexto de una cuenca hidrográfica, la geomorfología evalúa parámetros como el área, la pendiente, la densidad de drenaje, la longitud y forma de las corrientes, entre otros, para

entender cómo estos influyen en el comportamiento hidrológico, los patrones de escorrentía y los procesos de erosión y sedimentación. Además, integra herramientas como sistemas de información geográfica (SIG), modelos digitales de elevación (MDE) y análisis topográficos para caracterizar las dinámicas geomorfológicas y su impacto en la gestión sostenible de los recursos hídricos y la planificación territorial (Sequeira, 2021).

### **2.3.3 Características físicas de las cuencas**

Las características físicas de las cuencas hidrográficas constituyen los atributos geográficos, geomorfológicos y topográficos que definen su estructura y funcionamiento hidrológico. Estas características incluyen parámetros como el área, la forma, la pendiente, la altitud, la red de drenaje y la textura del suelo, los cuales son esenciales para comprender la dinámica del flujo de agua y los procesos que ocurren dentro de la cuenca (Larrea & Maldonado, 2022).

#### **2.3.3.1 Área de la cuenca (A)**

El área de la cuenca hidrográfica es la superficie total que abarca la región delimitada por las divisorias de aguas, desde donde toda la precipitación y escorrentía convergen hacia un punto de salida común, como un río, lago u otro cuerpo receptor. Es una medida fundamental en la hidrología, ya que determina la capacidad de captación de agua y regula el volumen total de escorrentía generado por eventos de precipitación (Vásconez et al., 2019).

#### **2.3.3.2 Perímetro de la cuenca (P)**

El perímetro de la cuenca es la longitud total del contorno que delimita la cuenca hidrográfica. Representa la línea de divisoria de aguas, y su magnitud está directamente relacionada con la forma y tamaño de la cuenca. Este parámetro se utiliza en cálculos geomorfológicos para describir la relación entre la forma de la cuenca y su capacidad de drenaje (Cahuana & Yugar, 2009).

#### **2.3.3.3 Índice de compacidad (Ic)**

El índice de compacidad (Kc) es una relación adimensional que compara el perímetro de una cuenca con el de un círculo de igual área (Ecuación 1).

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \quad (1)$$

**Donde:**

$P$ : es el perímetro.

$A$ : el área de la cuenca. Valores más cercanos a 1 indican una cuenca más compacta, mientras que valores mayores reflejan formas más alargadas o irregulares, lo que influye en el tiempo de concentración del agua.

#### **2.3.3.4 Factor de forma (Ff)**

El factor de forma (Ff) es una relación geométrica que describe la forma de la cuenca mediante la proporción entre el área de la cuenca ( $A$ ) y el cuadrado de su longitud máxima ( $L^2$ ) (Ecuación 2) (Albarracín et al., 2021; Intriago et al., 2021).

$$Ff = \frac{A}{L^2} \quad (2)$$

Cuencas con un factor de forma alto tienden a ser más compactas, lo que genera respuestas rápidas a la precipitación, mientras que valores bajos indican formas alargadas y respuestas hidrológicas más lentas.

#### **2.3.3.5 Relación de elongación (Re)**

La relación de elongación (Re) compara la longitud máxima de la cuenca con el diámetro de un círculo de área equivalente (Ecuación 3) (Rojo, 2017).

$$Re = \frac{2\sqrt{\frac{A}{\pi}}}{L} \quad (3)$$

Valores cercanos a 1 reflejan cuencas circulares, mientras que valores menores indican formas más alargadas, lo que afecta la dispersión temporal del flujo.



### **2.3.3.6 Relación de circularidad (Rc)**

La relación de circularidad (Rc) mide el grado de semejanza entre la forma de la cuenca y un círculo (Ecuación 4) (Larrea & Maldonado, 2022).

$$Rc = \frac{4\pi A}{P^2} \quad (4)$$

Donde  $A$  es el área y  $P$  el perímetro. Una relación de circularidad alta indica una forma más cercana a un círculo, lo que sugiere un tiempo de concentración más corto y una respuesta hidrológica más rápida. Estos parámetros son herramientas fundamentales en la hidrología y la geomorfología, ya que permiten analizar la forma, estructura y respuesta hidrológica de las cuencas ante eventos meteorológicos.

### **2.3.4 Parámetros de Relieve**

Los parámetros asociados al relieve poseen una relevancia significativa debido a su estrecha relación con las pendientes del terreno; en términos generales, una pendiente más pronunciada reduce la capacidad de concentración de la escorrentía. Por ello, se han desarrollado diversas métricas para caracterizarlos, tales como la curva hipsométrica, la pendiente media de la cuenca, la elevación promedio, el análisis hipsométrico y el relieve, los cuales permiten una comprensión más detallada de la dinámica del terreno y su influencia en los procesos hidrológicos (Rojo, 2017).

#### **2.3.4.1 Pendiente de la cuenca**

La pendiente de la cuenca es un parámetro geomorfológico que mide la inclinación promedio del terreno dentro de una cuenca hidrográfica. Representa la relación entre el cambio vertical de elevación y la distancia horizontal, y es fundamental para determinar la velocidad del flujo de agua, la erosión y la distribución de la escorrentía superficial. Este parámetro se calcula a partir de datos topográficos y se expresa en porcentaje o grados, siendo un indicador clave de la energía disponible para el movimiento del agua dentro del sistema hidrológico (Meza, 2014).

#### **2.3.4.2 Curva hipsométrica**

La curva hipsométrica es una representación gráfica que describe la distribución proporcional de las áreas de una cuenca hidrográfica en función de su elevación. Este análisis permite identificar patrones de erosión y madurez geomorfológica de la cuenca. Una curva convexa indica una cuenca joven con poca erosión, mientras que una curva cóncava sugiere un terreno más erosionado y maduro. Es una herramienta clave en la evaluación de la dinámica geomorfológica y la estabilidad de las cuencas (López et al., 2019).

#### **2.3.4.3 Diagrama de frecuencias altimétricas**

El diagrama de frecuencias altimétricas es una representación gráfica que muestra la distribución porcentual de áreas de una cuenca en relación con sus diferentes intervalos de elevación. Este análisis permite identificar la proporción del terreno ubicado a distintas altitudes, proporcionando información sobre la configuración del relieve y su influencia en procesos como la escorrentía, la retención de agua y la erosión. Es un complemento útil para estudios geomorfológicos y planificación ambiental (Córdoba, 2021).

#### **2.3.4.4 Relación del relieve (Rr)**

La relación del relieve, también conocida como índice de amplitud del relieve, es una métrica que evalúa la diferencia relativa entre las elevaciones máximas y mínimas dentro de una cuenca hidrográfica. Este parámetro proporciona información sobre la energía topográfica disponible para los procesos de erosión y escorrentía. Cuencas con alta relación de relieve suelen tener mayor potencial para generar caudales rápidos y erosivos, mientras que valores bajos indican un terreno más homogéneo y estable (Díaz, 2017).

#### **2.3.5 *Parámetros de la red hidrográfica de la cuenca***

Los parámetros de la red hidrográfica de una cuenca son métricas cuantitativas que describen la estructura, organización y dinámica del sistema de drenaje que conforma dicha cuenca. Estos parámetros permiten analizar las interacciones entre el flujo de agua y las características geomorfológicas del terreno, proporcionando información clave para la modelación hidrológica y la gestión de recursos hídricos (Hoyos et al., 2018). Entre los parámetros principales se incluyen:

### **2.3.5.1 Componentes de la red de drenaje**

Los componentes de la red de drenaje representan las unidades fundamentales que conforman el sistema de drenaje en una cuenca hidrográfica. Incluyen los cursos de agua, desde pequeños arroyos hasta ríos principales, y sus interconexiones, que transportan el flujo hídrico hacia un punto de salida común. Estos componentes se clasifican jerárquicamente en función de su tamaño y posición en la red, según el método de Horton-Strahler, y abarcan elementos como cabeceras de corriente, tributarios, y cauces principales. Además, la red de drenaje está influenciada por factores como la geología, la topografía y la cobertura del suelo, los cuales determinan su densidad, patrón y eficiencia en la conducción de agua y sedimentos (Popayan et al., 2019).

### **2.3.5.2 Densidad de drenaje (Dd)**

La densidad de drenaje constituye un parámetro geomorfológico fundamental en la caracterización hidrológica de una cuenca ya que establece una relación entre la longitud total de los cursos de agua y la superficie de drenaje ( $\text{km}/\text{km}^2$ ). Este tipo de indicador proporciona una estimación cuantitativa de la capacidad de la cuenca para evacuar las precipitaciones, siendo determinado por variables como la permeabilidad del sustrato, la cobertura vegetal, el gradiente topográfico y el régimen pluviométrico predominante.

Desde una perspectiva hidrológica la densidad de drenaje elevada denota la existencia de una red hídrica bien desarrollada, característica de zonas con baja capacidad de infiltración y alta escorrentía superficial, situaciones típicas de suelos compactos o con presencia de materiales de baja porosidad. Por el contrario, valores reducidos de este parámetro suelen corresponder a terrenos con alta permeabilidad, extensas coberturas vegetales y mayor capacidad de retención hídrica.

El análisis de la densidad de drenaje resulta imprescindible para la evaluación del comportamiento hidrológico de una cuenca, permitiendo estimar el potencial de generación de escorrentía y la susceptibilidad a eventos extremos, como inundaciones o sequías. Asimismo, su interpretación orienta la formulación de estrategias de manejo hídrico, facilitando el diseño de medidas de conservación de suelos, regulación de caudales y planificación de infraestructuras hidráulicas, en consonancia con un enfoque de gestión integrada de los recursos hídricos (Guevara, 2015).

### **2.3.5.3 La pendiente media (Sm)**

La pendiente media de una cuenca hidrográfica representa el promedio de las inclinaciones, así como el pulso que marca el ritmo con el que el agua recorre su geografía. Si la pendiente es muy acentuada el agua se desliza más rápidamente como una corriente que arrastra consigo sedimentos y transforma el paisaje en su totalidad. Por otro lado, cuando el relieve es plano el agua avanza con lentitud, encontrando tiempo y espacio para filtrarse en la tierra y alimentar los acuíferos subterráneos. Este parámetro es la brújula que orienta la dinámica hidrológica de una cuenca, determinando la velocidad del flujo, la capacidad de erosión y el destino de cada gota de lluvia. Comprenderlo es esencial para diseñar infraestructuras que armonicen con el relieve, permitiendo un manejo eficiente y sustentable del recurso hídrico (Gómez, 2021).

### **2.3.6 Sistema de información geográfica**

Los SIG son herramientas tecnológicas basadas en softwares y hardware que permiten captar, acumular, examinar, tramitar y observar datos espaciales y geográficos. Estas herramientas conjugan información alfanumérica y georreferenciada que permiten analizar fenómenos en el espacio terrestre, facilitando la toma de decisiones en campos como la planificación urbana, gestión de recursos naturales y análisis ambiental. Los SIG se componen de mecanismos esenciales, como datos espaciales (vectoriales y raster), bases de datos, materiales de análisis espacial y métodos de representación cartográfica que juntos permiten la modelación y comprensión del entorno de manera integral (Lopez, 2015).

### **2.3.7 Sistemas de teledetección**

Los sistemas de teledetección utilizan sensores remotos acoplados en plataformas como satélites o drones, estos captan información de la superficie terrestre sin necesidad de contacto directo. Además, registran la energía electromagnética que reflejan los objetos en diferentes longitudes de onda, lo que permite obtener imágenes y datos espectrales adecuados para identificar cambios en el medio ambiente, así como la generación de cartografía temática para estudios agrícolas e hidrológicos. La teledetección ofrece una amplia perspectiva del sitio a estudiar, lo que permite desarrollar un análisis multitemporal, de la realidad del sitio, además de obtener una estimación de parámetros biofísicos y ambientales (Niño, 2020).

### **2.3.8 Porosidad del suelo**

La porosidad del suelo es la cantidad de espacio poroso que contiene el suelo y se expresa en porcentaje. Pueden estar ocupados por agua o aire y su capacidad influye en procesos de infiltración, capacidad de campo y retención de humedad. Es importante mencionar que la porosidad depende de parámetros como la textura, estructura y contenido de materia orgánica en el suelo, por lo que se convierte en un parámetro clave de evaluación del suelo (Daza et al., 2014).

### **2.3.9 Coeficiente de permeabilidad**

El coeficiente de permeabilidad es una medida de cuán rápido puede un fluido, generalmente agua, moverse a través de los poros en un material poroso, como suelo o roca. Se expresa en términos de unidades de velocidad, como cm/s, y depende de las características internas antagonistas del material, como la porosidad, la textura y el grado de obturación, así como de las características del fluido. En tal sentido este parámetro es decisivo para estudios hidrológicos, geotécnicos y de manejo de recursos hídricos, ya que establece la capacidad del subsuelo para acumular y trasladar agua (Hernando, 2017; Larrea & Maldonado, 2022).

#### **2.3.9.1 Tipos de permeabilidad**

##### **2.3.9.1.1 Absoluta**

Es la capacidad del material poroso para transmitir un solo fluido bajo condiciones de saturación completa. Es un parámetro intrínseco del material que no depende del tipo de fluido (Churampi & Ibañez, 2023).

##### **2.3.9.1.2 Efectiva**

Representa la capacidad del suelo para transmitir un fluido específico en presencia de otros fluidos en los poros, como agua en coexistencia con aire (Villamarín, 2012).

##### **2.3.9.1.3 Relativa**

Es la relación entre la permeabilidad efectiva de un fluido y la permeabilidad absoluta del material. Indica la fracción de la permeabilidad que corresponde a un fluido en condiciones de flujo simultáneo de múltiples fases (Diaz, 2018).

### **2.3.10 Capacidad de infiltración**

La capacidad de infiltración es la cantidad máxima de agua de precipitación o riego que puede ingresar a través de la capa superior del suelo desde la superficie en unidades de velocidad como mm/h, los cuales afectan la composición y la textura del suelo, su contenido de humedad inicial, el grado de compactación, la presencia de materia orgánica y la vegetación. Este parámetro es fundamental en el manejo de cuencas hidrográficas, irrigación agrícola y modelación hidrológica, ya que regula la proporción de agua que se filtra al subsuelo frente a la que genera escorrentía superficial (Meza, 2014; Zarta, 2022).

### **2.3.11 Método número de curva**

El número de curva (Curve Number, CN) es una manera empírica que sirve para estimar la escorrentía superficial una vez que se cuenta con los datos de precipitación, propiedades del suelo, cambios de uso de la tierra y condiciones hidrológicas. Fue desarrollada por el Servicio de Conservación de Suelos de EE.UU., (SCS) y se puede estimar el comportamiento hídrico en microcuencas gracias a su simplicidad y efectividad en el modelado. Se obtiene un valor numérico que proporciona el CN y representa la capacidad de infiltración y almacenamiento del terreno (Larrea & Maldonado, 2022).

#### **2.3.11.1 Cálculo del número de curva (CN)**

El cálculo del CN se realiza utilizando tablas establecidas que consideran las características de uso del suelo, la cobertura vegetal, la condición hidrológica del terreno (bajo, normal o saturado) y el grupo hidrológico del suelo. Este valor, que varía entre 30 y 100, representa la capacidad de un terreno para infiltrar o generar escorrentía, siendo menor en suelos más permeables y mayores coberturas vegetales, y mayor en terrenos compactados o impermeables (Espinales et al., 2021).

### **2.3.12 Ley de Darcy**

La Ley de Darcy es un principio fundamental en hidrogeología que describe el flujo de un fluido a través de un medio poroso. Establece que la velocidad del flujo ( $Q$ ) es directamente proporcional al gradiente hidráulico ( $i$ ) y a la permeabilidad del medio ( $k$ ), y se expresa mediante la ecuación (Ecuación 5) (Mendoza et al., 2021):

$$Q = k \times A \times i \quad (5)$$

**Donde:**

A= es el área de la sección transversal del flujo. Esta ley es esencial para el estudio de la dinámica de agua subterránea y la estimación de tasas de infiltración en suelos.

### **2.3.13 Condición hidrológica para la infiltración**

De acuerdo con López et al., (2019), la capacidad que tiene el suelo para absorber agua depende del contenido de humedad y de su situación para retenerla. A esto se lo conoce como condición hidrológica para infiltración, el cual es un factor clave para entender cómo se comporta el agua cuando ingresa a la superficie terrestre. Los factores que inciden sobre la capacidad y cantidad de agua en el suelo son la textura y estructura, y la vegetación. De acuerdo a estas condiciones, el suelo se puede clasificar en tres tipos:

- **Suelo seco (Condición I):** Absorbe el agua de manera apresurada ya que tiene poca humedad acumulada.
- **Suelo húmedo (Condición II):** Absorbe el agua en menor cantidad, ya que contiene una cantidad limitada de agua.
- **Suelo saturado (Condición III):** No puede almacenar más agua, lo que induce a un mayor desplazamiento superficial.

Entender estas condiciones es fundamental para un mejor manejo del agua y con esto estamos previniendo inundaciones y optimizando el uso del suelo en actividades agrícolas y ambientales.

### **2.3.14 Clasificación de coberturas**

La clasificación de coberturas se fundamenta en reconocer y organizar los distintos tipos de uso y cobertura del suelo ya sea zonas urbanas, cultivos, bosque, cuerpos de agua y zonas desérticas. Este proceso es clave para precisar cómo actúa el suelo con el ciclo hidrológico, ya que influye en fenómenos como la infiltración, el escurrimiento y la evapotranspiración. Para llevar a cabo una clasificación efectiva se utilizan imágenes de satélite, puntos de control y herramientas de SIG, lo que permite obtener un panorama detallado y preciso del

territorio. Con esta información, se logra mejores decisiones en la gestión ambiental y el ordenamiento del territorio (Muñoz et al., 2020).

### **2.3.15 HEC-HMS**

El HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System) es un instrumento desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos que permite suponer el comportamiento del agua en una cuenca hidrográfica. Este modelo hidrológico permite analizar cómo la lluvia penetra el suelo, cómo se genera el escurrimiento superficial y el almacenamiento. Gracias a su exactitud y fluidez, el HEC-HMS es ampliamente utilizado en estudios sobre el procedimiento del agua en diferentes regiones, el diseño de sistemas de drenaje y la evaluación de fenómenos extremos como inundaciones. Su aplicación resulta clave para la planificación y gestión eficiente de los recursos hídricos (Tassew et al., 2019).

### **2.3.16 Sistemas de Teledetección**

Los sistemas de teledetección utilizan sensores remotos para recopilar información sobre la superficie terrestre sin necesidad de contacto directo. Actúa detectando la radiación electromagnética que refleja o emite cada objeto, permitiendo obtener datos precisos sobre el entorno. Mediante estas herramientas se puede analizar grandes extensiones de superficie terrestre y hacer seguimiento a lo largo del tiempo, permitiendo el monitoreo de cambios en la cobertura vegetal, uso de suelo, calidad de agua y demás procesos ambientales. Dependiendo del tipo de análisis, se utilizan diferentes sensores, como ópticos, de radar o térmicos. En el campo de la hidrología y la gestión ambiental, la teledetección se ha convertido en una herramienta esencial para la toma de decisiones y la planificación sostenible (Olaya, 2014).

### **2.3.17 Clasificación de imágenes satelitales**

El análisis de clasificación de imágenes satelitales es un proceso digitalizado y se utiliza para clasificar píxeles de una imagen en diferentes categorías como: tipo y cobertura de uso del suelo. Este proceso se realiza mediante algoritmos especializados que interpretan las firmas espectrales de los píxeles (León & Garavito, 2021).



### **2.3.17.1 Clasificación supervisada**

La clasificación supervisada es un procedimiento donde el usuario elige previamente áreas de adiestramiento, conocidas como clases. En este apartado el algoritmo clasifica los píxeles restantes en la imagen. Este análisis requiere conocer las condiciones del terreno con la finalidad de generar resultados más exactos, ya que el modelo se ejercita con información definida (Manzanilla, 2020).

### **2.3.17.2 Clasificación no supervisada**

La clasificación no supervisada es un proceso automatizado en el que los algoritmos agrupan los píxeles en clases basadas en similitudes estadísticas en sus firmas espectrales, sin intervención previa del usuario. Es útil cuando no se dispone de información detallada del terreno, aunque sus resultados suelen ser menos precisos en comparación con el método supervisado (Aldwaik & Pontius, 2012).

### **2.3.17.3 Mínima distancia**

El método de mínima distancia es un algoritmo de clasificación supervisada que asigna cada píxel a la clase de entrenamiento más cercana en términos de distancia espectral en un espacio multibanda. Es uno de los enfoques más simples, pero puede ser menos preciso si las clases tienen una alta variabilidad interna o se solapan en el espacio espectral (Díaz, 2017).

## Capítulo 3

### Diseño Metodológico

#### 3.1 Enfoque de la investigación

El presente estudio comprende una orientación cuantitativa, ya que se basa en el análisis y modelación de datos hidrológicos para valorar la oferta hídrica de la microcuenca del río Coco. Se utilizó un método descriptivo-explicativo, con el propósito de caracterizar variables hidrológicas implicadas en el balance hídrico y revelar las relaciones entre precipitación, escorrentía y caudales aprovechables.

La investigación comprende un diseño no experimental y longitudinal, dado que no se manejaron variables, sino que se estudiaron en su estado natural en un periodo de tiempo determinado. Por otro lado, también se utilizó el software HEC-HMS, el cual permitió realizar el modelado hidrológico y que sirve de base para la simulación del comportamiento del caudal bajo distintos escenarios. De esta forma se evaluó la dinámica hídrica de la microcuenca gracias a los datos históricos de precipitación y cobertura de uso del suelo. Mediante el enfoque metodológico aplicado se cuantificó la oferta hídrica aprovechable, así como la evaluación de la capacidad del sistema hidrológico para satisfacer las demandas ecológicas y fructíferas, e identificar posibles debilidades frente a diversos eventos climáticos excesivos.

#### 3.2 Diseño de la investigación

El análisis metodológico se constituyó en tres fases importantes:

**3.2.1 Compilación de Datos Hidrometeorológicos:** Se compilaron datos históricos de temperatura y precipitación derivadas de estaciones meteorológicas locales.

**3.2.2 Procesamiento de Datos Cartográficos:** Se utilizaron herramientas de teledetección y SIG para analizar la cobertura del suelo y los parámetros geomorfológicos.

**3.2.3 Modelación Hidrológica:** Se empleó el software HEC-HMS para simular la escorrentía y el caudal, evaluando la oferta hídrica bajo diferentes escenarios.

Este diseño permitió analizar el comportamiento hidrológico de la microcuenca y cuantificar la oferta hídrica disponible.

### 3.3 Área de estudio

El área de estudio corresponde a la microcuenca del río Coco, situada en el cantón Pallatanga, provincia de Chimborazo, Ecuador (Figura 1). La microcuenca comprende un área de 97,63 km<sup>2</sup> y exhibe tipologías geomorfológicas variables, con pendientes medias de 39,66%.

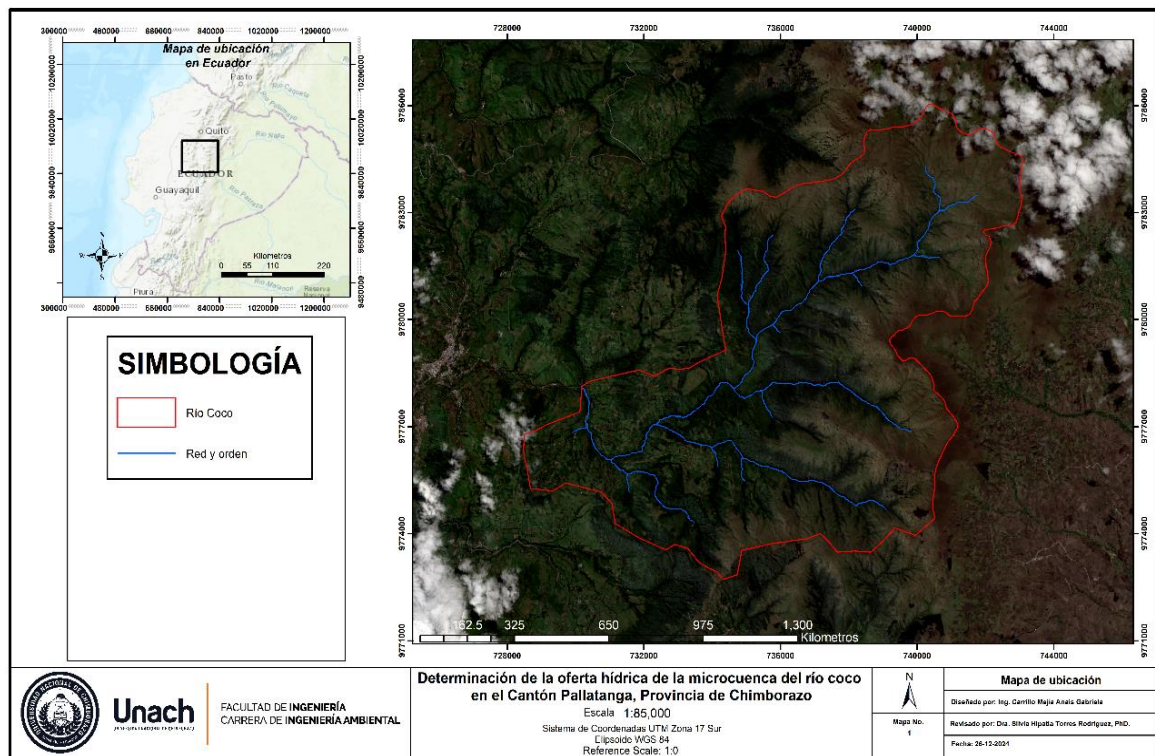
#### 3.3.1 Condiciones Climáticas:

- Temperatura media anual: 8 a 12 °C.
- Precipitación media anual: 800 a 1200 mm.

#### 3.3.2 Cobertura Vegetal:

- Bosque nativo.
- Páramos.
- Pastizales.
- Áreas agrícolas (mosaico agropecuario).

**Figura 1.** Microcuenca del río Coco, cantón Pallatanga, provincia de Chimborazo



Fuente: Autor.

### **3.4 Técnicas e instrumentos de muestreo y recolección de datos**

Se utilizaron herramientas de teledetección y sistemas de información geográfica (SIG) para la recopilación y procesamiento de información espacial.

#### **3.4.1 Datos Utilizados:**

- Cobertura Vegetal y Uso del Suelo: Imágenes satelitales Sentinel-2 MSI y ASTER L1T procesadas en *Google Earth Engine*.
- Datos Hidrometeorológicos: Información histórica de estaciones meteorológicas locales.
- Geomorfología: Parámetros calculados a partir de Modelos Digitales de Elevación (MDE) obtenidos del software ArcGIS.

### **3.5 Población de estudio y tamaño de la muestra**

#### **3.5.1 Población y muestra**

La población de estudio estuvo conformada por toda la microcuenca del río Coco. Para el análisis, se seleccionaron puntos de muestreo estratégicos en función de accesibilidad, representatividad de la cobertura vegetal y conectividad con la red de drenaje.

### **3.6 Métodos de análisis**

El procesamiento y análisis de datos se estructuró en las siguientes fases:

#### **3.6.1 Procesamiento cartográfico:**

- Delimitación de la microcuenca y análisis de parámetros geomorfológicos como área, perímetro, longitud de cauces y pendientes.
- Clasificación del uso del suelo mediante algoritmos supervisados (Random Forest) y validación mediante matrices de confusión e índice Kappa.

#### **3.6.2 Cálculo del número de curva (CN):**

- Asignación de valores de CN basados en la cobertura vegetal y el tipo de suelo, según el método del SCS (*Soil Conservation Service*).

### **3.6.3 Modelación hidrológica:**

- Implementación del modelo HEC-HMS para simular la relación precipitación–escorrentía.
- Estimación de caudales máximos, ecológicos y ofertados bajo condiciones históricas y actuales.

### **3.6.4 Análisis estadístico:**

- El análisis estadístico que permitió la evaluación de la precipitación y escorrentía comprendió cálculo de medios, desviación estándar y coeficientes de correlación ( $R^2$ ).

### **3.7 Procesamiento de datos**

Para este análisis se utilizó herramientas ArcGIS, Excel y HEC-HMS y la validación de los resultados fue a través de un análisis estadístico el cual permitió realizar una comparación entre los datos históricos el mismo que sirvió de base para evaluar la precisión del modelo.

## Capítulo 4

### Análisis y Discusión de los Resultados

#### 4.1 Determinación de los parámetros de forma, relieve, red e hidráulicos de la microcuenca del río Coco, cantón Pallatanga, provincia de Chimborazo

La microcuenca del río Coco (Tabla 1) es empleada en el análisis geomorfológico, permitiendo comprender la influencia que sobre esta ejerce su forma, su relieve y su red de drenajes, lo cual también permite conocer la influencia que tiene la relación precipitación escorrentía que tiene la cuenca de estudio. La microcuenca del río Coco muestra un área es de 97,63 km<sup>2</sup>, es decir es una cuenca de tamaño pequeña, la longitud del cauce principal es de 8,19 km; su índice de compacidad es de 1,49, un valor cercano a 1 indica que el agua recorre distancias cortas para concentrarse en el cauce principal, acelerando el flujo y reduciendo el tiempo de concentración.

El factor de forma es de 0,23 de allí su respuesta en eventos de fuertes precipitaciones, en la cuenca la pendiente media es de 39%, por lo que es de tipo fuertemente accidentado, ya que la misma se debe a su alta pendiente, solamente están cuencas debido a la pendiente esta cuenca se caracteriza por que debido a las altas montañas y a su gran paramo. Por último, la relación de elongación es 0.54, dado que la cuenca posee fuertes relieves y como se puede ver lo dicho anteriormente con las pendientes.

**Tabla 1.** Parámetros geomorfológicos de la microcuenca del río Coco

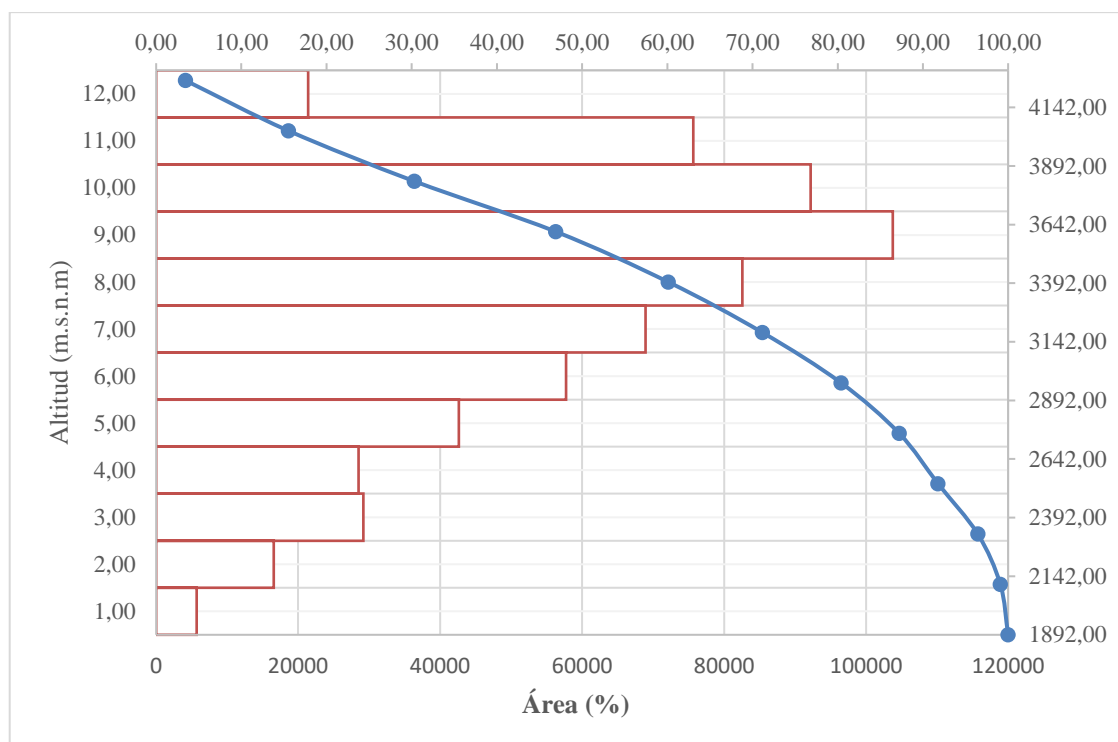
Nombre	Sigla	Unidad	Valores
Área	A	km <sup>2</sup>	97,63
Perímetro	P	km	52,52
Índice de compacidad	Ic	adimensional	1,49
Ancho medio	B	adimensional	4,75
Longitud del cauce Principal	Lc	km	20,57
Factor de forma	Ff	adimensional	0,2313
Relación de elongación	Re	adimensional	0,5426
Relación de circularidad	Rci	adimensional	0,4447
Área sobre la curva	AS	km <sup>2</sup>	1551666
Área bajo curva	Ab	km <sup>2</sup>	576834
Pendiente media de la cuenca	Pmc	%	39,66
Longitud del cauce principal	Lc	km	8,19
Orden de la red hídrica	Or	adimensional	3

Sumatoria de las longitudes de la red hídrica	Lt	km	20,54
Densidad de drenaje	Dd	km <sup>-1</sup>	0,508
Numero de canales	Nt	adimensional	31
Densidad hidrográfica	Dh	km <sup>-1</sup>	0,318
Altura Máxima rio	Hmax	msnm	4364
Altura mínima del rio	Hmin	msnm	1785
Pendiente media del cauce principal	Sm	adimensional	30,70
Tiempo de concentración	Tc	min	0,47
Relación hipsométrica	Rh	%	2,68

Fuente: Autor.

La figura 2 curva hipsométrica determina que la microcuenca se halla en una etapa de madurez y equilibrio, con la curva hipsimétrica del tipo B estos se deba a las que está en el pie de montaña, lo que implica una pendiente fuertemente accidentada.

**Figura 2.** Curva hipsométrica de la microcuenca del río Coco



Fuente: Autor.

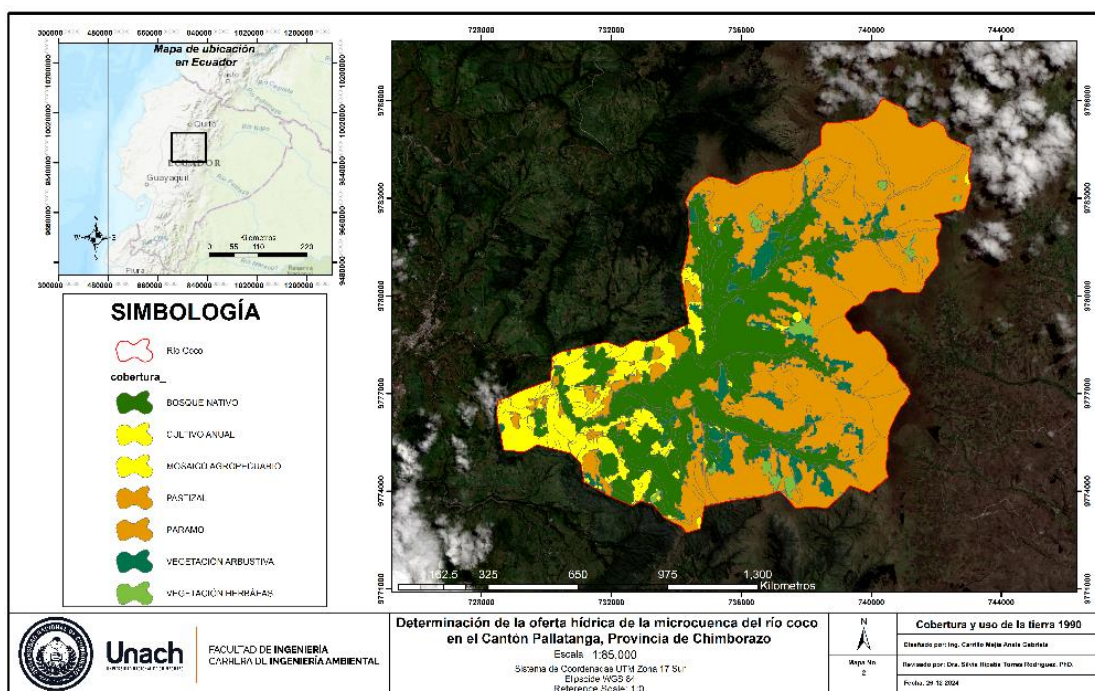
#### 4.2 Cálculo del número de curva (CN), utilizando el uso de suelo y la cobertura vegetal de la microcuenca del río Coco, cantón Pallatanga, provincia de Chimborazo

La capacidad de campo está íntimamente relacionada con la cobertura vegetal y la clasificación de las plantas y la textura del suelo debido a que, según el modelo de

precipitación y escorrentía, el suelo se divide en cuatro Unidades Hidrológicas (HGS): A, B, C y D. Estos se establecen para el suelo desnudo luego de un lapso de tiempo de humidificación prolongada. Para asignar los grupos hidrológicos, se tuvo en cuenta el uso del suelo y la cobertura vegetal de la zona y para ello se estableció un rango numérico que va del 30 al 99, donde el 99 se refiere a áreas con nula infiltración, como las zonas urbanas, el agua y la nieve. Además, en las clases de cultivo, páramo, plantaciones forestales y vegetación arbustiva, el número de curva (CN) se determinó según el tipo de vegetación y su condición hidrológica, en las siguientes tablas 3, 4, 5 y 6 se detalla de una forma simplificada el CN determinado de los años de estudio 1990, 2000, 2016 y 2022, esta información cartográfica fue extraída del Ministerio de ambiente, agua y transición ecológica, así también como el Ministerio de Agricultura, acuicultura y pesca.

La figura 3 muestra un panorama de la microcuenca del río Coco en el año 1990 de manera que se puede observar que la clase páramo es predominante en la parte alta. La segunda capa son el bosque nativo, vegetación arbustiva, vegetación herbácea y finalmente en la parte baja de la microcuenca se puede identificar cultivos anuales y mosaicos agropecuarios, cabe recalcar que al ocupar datos del MAATE, las coberturas como cultivo anual y mosaico agropecuario son las mismas coberturas por esa razón se las coloca del mismo color, así mismo, ocurre con el páramo y el pastizal. Esto se da ya que la tecnología de la época no se podría diferenciar con precisión a nivel de teledetección.

**Figura 3.** Mapa de cobertura y uso de la tierra 1990





**Fuente:** Autor.

Una vez determinado la cobertura vegetal y el uso de la tierra podemos calcular el número de curva (CN), el cual se realiza con ayuda de tablas predeterminadas que se ocupan dentro del software HEC-HMS. En la tabla 2 podemos ver de una forma más detallada la taxonomía del suelo en el año 1990.

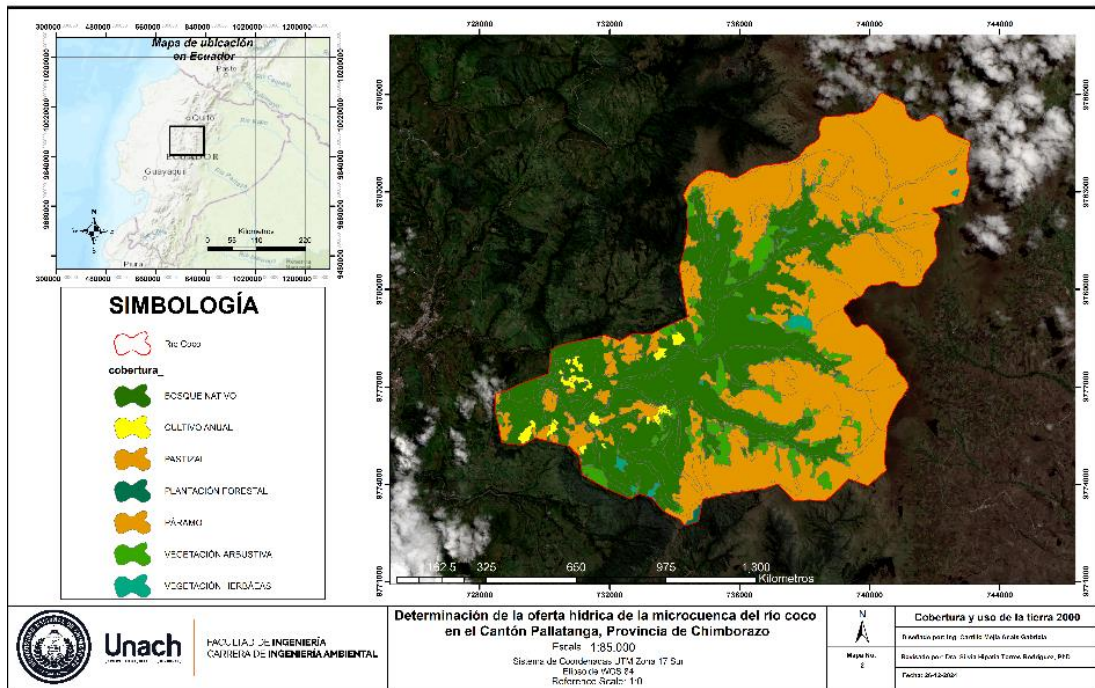
**Tabla 2.** Numero de curva río Coco 1990

<b>Cobertura</b>	<b>Taxonomía</b>	<b>Estratos</b>	<b>CN</b>
Bosque nativo	Franco	B	41
Bosque nativo	Franco limoso	B	41
Bosque nativo	Franco arenoso	B	41
Bosque nativo	Franco arcillo - arenoso	C	71
Bosque nativo	No aplicable	C	71
Mosaico agropecuario	Franco limoso	A	51
Mosaico agropecuario	Franco arenoso	C	73
Mosaico agropecuario	Franco	D	80
Mosaico agropecuario	No aplicable	D	80
Mosaico agropecuario	Franco arcillo - arenoso	C	73
Páramo	Franco	B	58
Páramo	Franco arenoso	B	58
Páramo	Franco limoso	B	58
Páramo	No aplicable	C	71
Páramo	Areno francoso	A	30
Vegetación arbustiva	Franco	B	41
Vegetación arbustiva	Franco limoso	B	41
Vegetación arbustiva	Franco arenoso	B	41
Vegetación arbustiva	No aplicable	C	71
Vegetación herbácea	Franco	B	41
Vegetación herbácea	Franco arenoso	B	41
Vegetación herbácea	No aplicable	C	71

**Fuente:** Autor.

La figura 4 se puede observar un panorama parecido a la cobertura de la tierra del año 1990, la clase que sigue predominante es el páramo, mientras que el bosque nativo, vegetación arbustiva y vegetación herbácea son las capas que ganan terreno, finalmente la capa de cultivo anual casi desaparece, esto se debe a un error que se tiene en la clasificación supervisada este año, esto podemos apreciar ya que el área que se pierde es demasiado grande para que sea una acción echa por el hombre dentro de un periodo de 10 años es poco probable que exista este cambio tan fuerte.

**Figura 4.** Mapa de cobertura y uso de la tierra 2000



**Fuente:** Autor.

La tabla 3 contiene una información más detallada de los valores del CN, y la cobertura y la taxonomía que más se repite a lo largo del estudio de este periodo de tiempo.

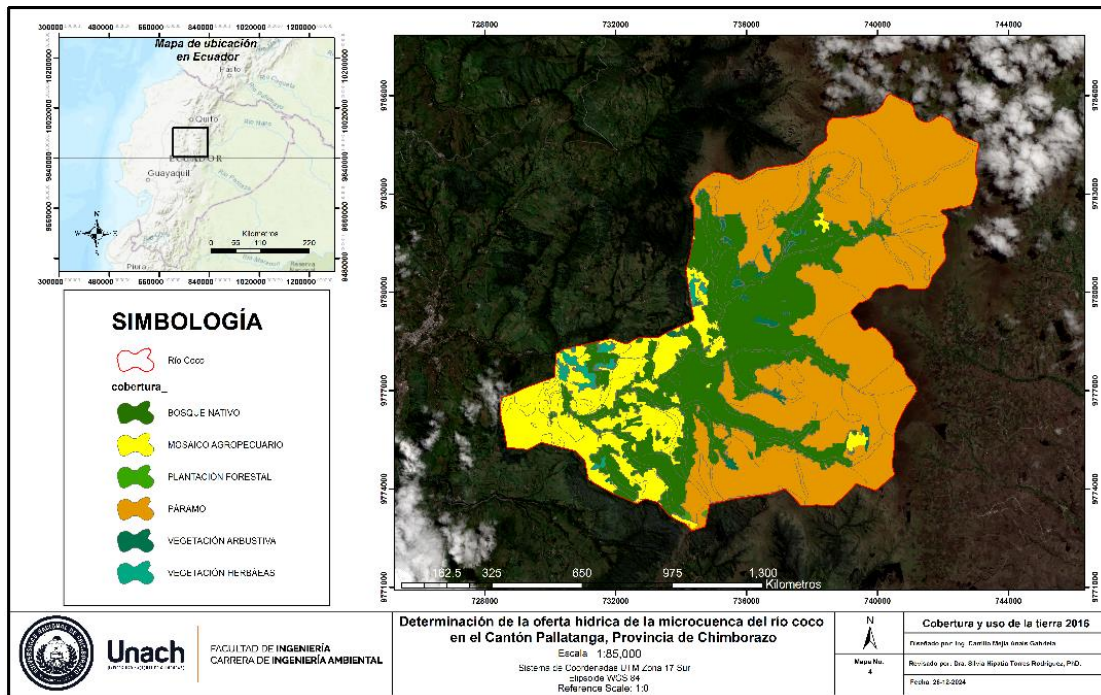
**Tabla 3.** Número de curva río Coco 2000

Cobertura	Taxonomía	Estratos	CN
Bosque nativo	Franco	B	41
Bosque nativo	Franco limoso	B	41
Bosque nativo	Franco arenoso	B	41
Bosque nativo	Franco arcillo - arenoso	C	71
Cultivo anual	Franco limoso	B	67
Cultivo anual	Franco	C	73
Cultivo anual	Franco arenoso	C	73
Páramo	Franco	B	58
Páramo	Franco arenoso	B	58
Páramo	Franco limoso	B	58
Páramo	Areno francoso	A	30
Páramo	Franco arcillo - arenoso	C	71
Páramo	No aplicable	C	71
Plantación forestal	Franco	C	71
Plantación forestal	Franco arenoso	C	71
Vegetación arbustiva	Franco	B	41
Vegetación arbustiva	Franco limoso	B	41
Vegetación arbustiva	Franco arenoso	B	41
Vegetación herbácea	Franco arenoso	C	71

**Fuente:** Autor.

La figura 5, podemos confirmar el error que se tenía anteriormente ya que la capa de mosaico agropecuario vuelve a aparecer, en este año las denominaciones para la cobertura de la tierra cambian, aparece por primera vez la plantación forestal, la cual se puede identificar que las comunidades que se encuentran en la microcuenca empiezan a hacer labores de reforestación.

**Figura 5.** Mapa de cobertura y uso de la tierra 2016



Fuente: Autor.

En la tabla 4, se puede ver claramente las 6 coberturas que existen en este año de estudio, y como varían los valores del CN, de acuerdo a su estrato, taxonomía y cobertura.

**Tabla 4.** Número de curva río Coco 2016

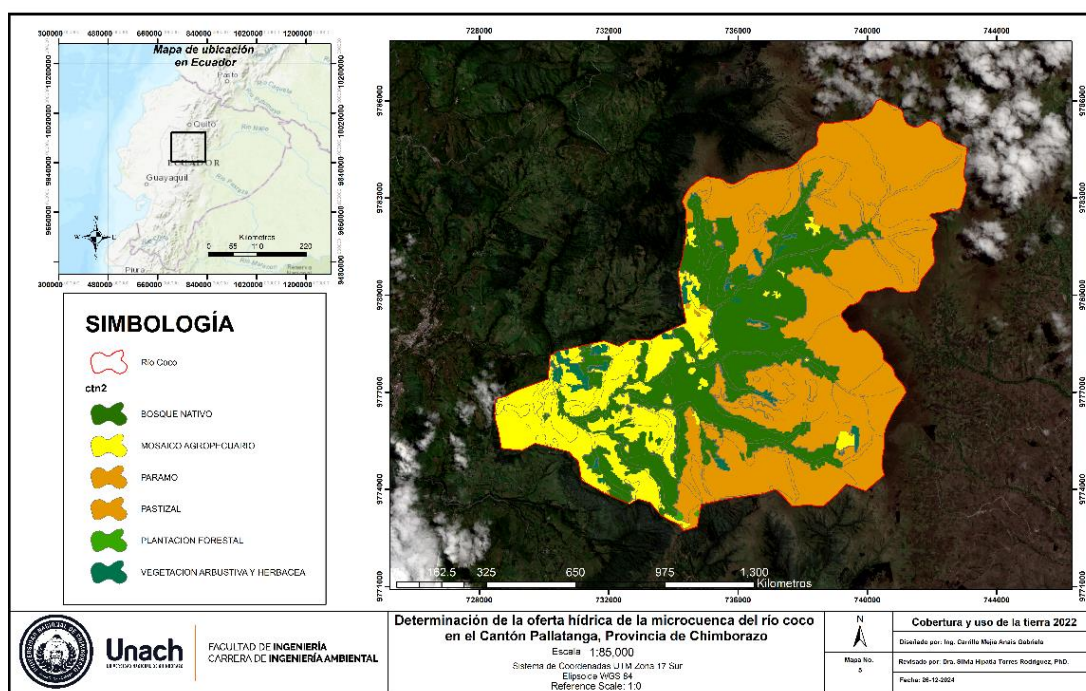
Cobertura	Taxonomía	Estratos	CN
Bosque nativo	Franco	B	41
Bosque nativo	Franco limoso	B	41
Bosque nativo	Franco arenoso	B	41
Bosque nativo	Franco arcillo - arenoso	C	71
Bosque nativo	No aplicable	C	71
Mosaico agropecuario	Franco	B	67
Mosaico agropecuario	Franco limoso	B	67
Mosaico agropecuario	Franco arenoso	B	67
Mosaico agropecuario	Franco arcillo - arenoso	C	73
Páramo	Franco	B	58
Páramo	Franco arenoso	B	58
Páramo	Franco limoso	B	58

Páramo	Areno francoso	A	30
Plantación forestal	Franco	C	71
Plantación forestal	Franco arenoso	C	71
Vegetación arbustiva	Franco	B	41
Vegetación arbustiva	Franco arenoso	B	41
Vegetación arbustiva	Franco limoso	C	71
Vegetación herbácea	Franco limoso	B	41
Vegetación herbácea	Franco	C	71
Vegetación herbácea	Franco arenoso	C	71

Fuente: Autor.

Finalmente, en la figura 6 identificamos 6 clases de cobertura del año 2022, el páramo es la clase que a lo largo del tiempo su afectación es mínima, mientras que las plantaciones forestales, el bosque nativo y la vegetación arbustiva y herbácea, son las capas que más han cambiado a lo largo del tiempo.

Figura 6. Mapa de cobertura y uso de la tierra 2022



Fuente: Autor.

Tabla 5. Numero de curva río Coco 2022

Cobertura	Taxonomía	Estratos	CN
Bosque nativo	Franco	B	41
Bosque nativo	Franco limoso	B	41
Bosque nativo	Franco arenoso	B	41
Bosque nativo	Franco arcillo - arenoso	C	71
Mosaico agropecuario	Franco	B	67
Mosaico agropecuario	Franco limoso	B	67

Mosaico agropecuario	Franco arenoso	B	67
Mosaico agropecuario	Franco arcillo - arenoso	C	73
Paramo	Franco	B	58
Paramo	Franco arenoso	B	58
Paramo	Franco limoso	B	58
Paramo	Areno francoso	A	30
Pastizal	Franco	B	58
Pastizal	Franco arenoso	B	58
Pastizal	Franco limoso	C	71
Plantación forestal	Franco	C	71
Plantación forestal	Franco arenoso	C	71
Vegetación arbustiva y herbácea	Franco limoso	B	41
Vegetación arbustiva y herbácea	Franco	C	71
Vegetación arbustiva y herbácea	Franco arenoso	C	71
Vegetación arbustiva y herbácea	No aplicable	D	78

Fuente: Autor.

#### 4.2.1 Análisis

La tabla 6, exhibe parámetros hidráulicos de la microcuenca donde el valor más alto se concentra en el CN el cual indica mayor escorrentía superficial. Sin embargo, sitios con una buena cobertura vegetal (bosques) muestran un mejor procedimiento hidrológico, deteniendo más agua y generando menos escorrentía. Valores altos de CN (>70) revelan que la escorrentía total alcanza hasta el 55% de la precipitación registrada, lo que preocupa la sostenibilidad hídrica.

**Tabla 6.** Parámetros hidráulicos de la microcuenca del río Coco

Periodo	Área (km <sup>2</sup> )	Lc (km)	Cota mayor (m.s.n.m)	Cota menor (m.s.n.m)	Capacidad de Campo (S)	CN	Tiempo de Retardo (min)	Inicial abstracción
1990					144,73	65,17	3,15	27,15
2000					148,08	64,62	3,14	27,82
2016	97,63	20,54	4364	1785	153,84	63,69	3,12	28,97
2022					156,30	63,29	3,11	29,46

Fuente: Autor.

#### 4.3 Modelamiento del caudal del río Coco mediante el método precipitación – escorrentía

El análisis de la relación entre precipitación y escorrentía se llevó a cabo mediante la metodología de servicio de conservación de suelos (SCS), el cual utiliza datos diarios de precipitación y temperatura de los años 1981-2023 de los satélites MERRA 2 y GEOS

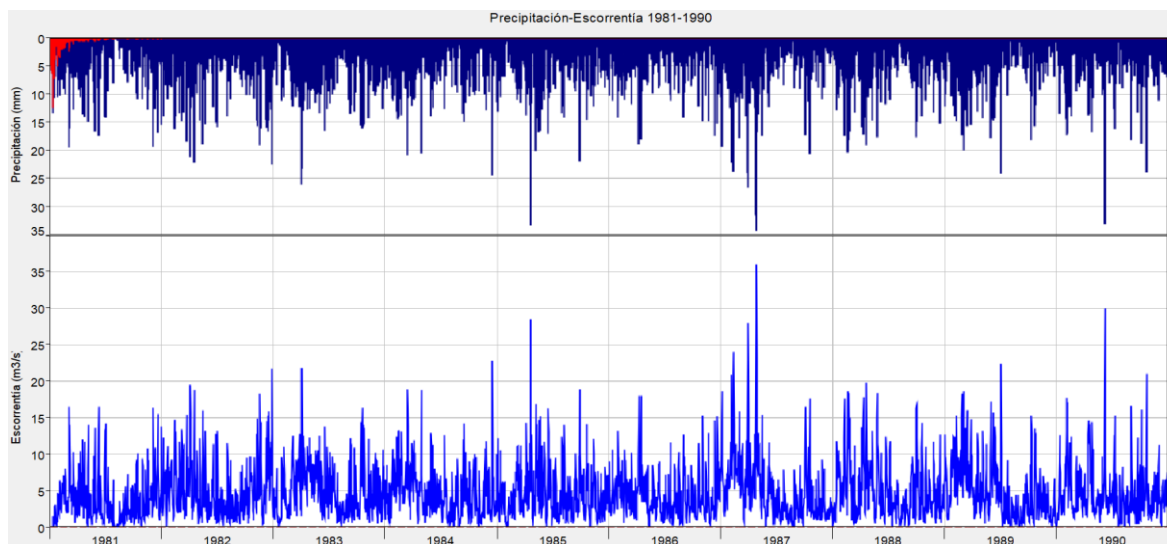


5.12.4. En tal sentido se determinó la precipitación efectiva, perdida y exceso, así como la intervención de varios factores como son, tiempo de retardo, CN y umbral de escorrentía. El método SCS indaga que el enajenamiento inicial es del 20% de la abstracción máxima del suelo, de ahí proviene el 0,20 de ambas.

El modelo HEC-HMS señaló, que la microcuenca del río Coco anticipa valores de precipitación y escorrentía máximos, ensayados en un lapso de 42 años (1981-2023), donde la precipitación media alcanzo 40 mm, con algunos picos en estos últimos años y la escorrentía media fue de 2 mm, lo que indica un buen umbral de infiltración.

El análisis de precipitación y escorrentía realizado en la microcuenca del río Coco durante las décadas de 1981-1990, indican que, en los años 1982, 1983 y 1987 alcanzaron los picos más altos de escorrentía, lo cual se relaciona con periodos de alta precipitación (Figura 7). La distribución estacional de estos eventos expone un comportamiento hidrológico reactivo, donde los valores más altos de caudal corresponden a precipitaciones intensas. Es importante indicar que su comportamiento se relaciona con la geomorfología de la cuenca, ya que presenta pendientes pronunciadas la cual se ve reflejada en un bajo índice de retención hídrica.

**Figura 7.** Precipitación - Escorrentía 1981-1990



**Fuente:** Autor.

La Tabla 7, presenta un análisis cuantitativo de los caudales ofertados en el mismo período, destacando valores máximos entre 3,57 m³/s (1981) y 5,21 m³/s (1987). Los caudales ecológicos promedian 0,45 m³/s, representando el mínimo necesario para mantener el equilibrio ambiental. El caudal autorizado se mantiene constante en 0,53 m³/s, lo cual

establece un límite para usos humanos y agrícolas. Por otro lado, el caudal ofertado varía entre 2,68 m<sup>3</sup>/s y 4,16 m<sup>3</sup>/s, sugiriendo una oferta hídrica suficiente para satisfacer demandas en condiciones normales, aunque susceptible a variaciones en años extremos.

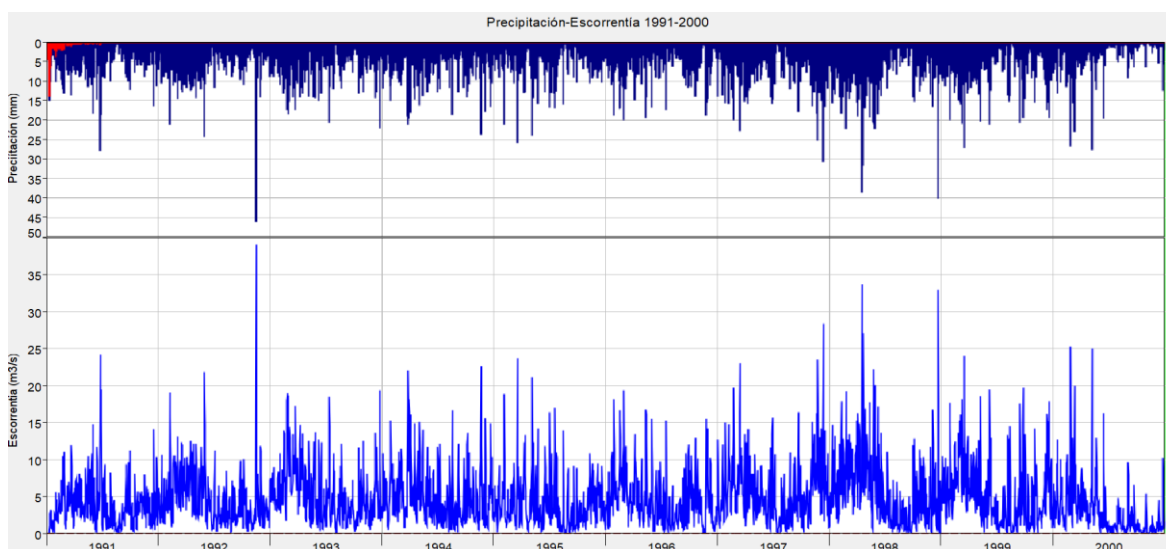
**Tabla 7.** Caudal ofertado 1981-1990

Años	Caudal Máximo (m <sup>3</sup> /s)	Caudal Ecológico (m <sup>3</sup> /s)	Caudal Autorizado (m <sup>3</sup> /s)	Caudal Ofertado (m <sup>3</sup> /s)
1981	3,57	0,36	0,53	2,68
1982	4,98	0,50	0,53	3,95
1983	4,98	0,50	0,53	3,95
1984	4,64	0,46	0,53	3,64
1985	4,59	0,46	0,53	3,60
1986	4,24	0,42	0,53	3,29
1987	5,21	0,52	0,53	4,16
1988	4,96	0,50	0,53	3,93
1989	4,85	0,48	0,53	3,83
1990	4,56	0,46	0,53	3,57

Fuente: Autor.

La Figura 8 presenta picos de precipitación de los años 1993, 1997 y 1998, que concuerdan con incrementos significativos en la escorrentía. Este comportamiento apunta a una respuesta hidrológica rápida del sistema, influenciada por factores geomorfológicos como pendientes acentuadas y restringida capacidad de infiltración en suelos trabajado. Además, se evidencia un aumento progresivo en los volúmenes de escorrentía en comparación con el período anterior (1981-1990), lo que podría estar relacionado con procesos de compactación del suelo producto de las actividades antropogénicas.

**Figura 8.** Precipitación - Escorrentía 1991-2000



Fuente: Autor.

La Tabla 8 presenta un resumen de los caudales registrados durante el período de estudio, donde los valores máximos oscilan entre 3,72 m<sup>3</sup>/s en 1991 y 5,43 m<sup>3</sup>/s en 1998. Respecto al caudal ecológico se conserva en 0,50 m<sup>3</sup>/s lo que permite mantener el flujo ambiental requerido. Sin embargo, este valor está muy próximo al caudal autorizado de 0,53 m<sup>3</sup>/s lo que supone un riesgo para la sostenibilidad del recurso hídrico en años de estiaje. Por otro lado, el caudal propuesto exhibe una media de 3,68 m<sup>3</sup>/s lo que indica cierta estabilidad en el suministro de agua. No obstante, las diferencias detectadas en registros sugieren que el sistema podría ser sensible ante eventos climáticos intensos, lo que resalta la importancia de una gestión adecuada del recurso para mermar posibles impactos.

**Tabla 8.** Caudal ofertado 1991-2000

<b>Años</b>	<b>Caudal Máximo (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Caudal Ecológico (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Caudal Autorizado (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Caudal ofertado (m<sup>3</sup>/s)</b>
1991	3,73	0,37	0,53	2,82
1992	4,60	0,46	0,53	3,61
1993	5,34	0,53	0,53	4,27
1994	5,01	0,50	0,53	3,97
1995	3,98	0,40	0,53	3,05
1996	4,48	0,45	0,53	3,50
1997	5,46	0,55	0,53	4,38
1998	5,81	0,58	0,53	4,70
1999	5,36	0,54	0,53	4,29
2000	2,89	0,29	0,53	2,07

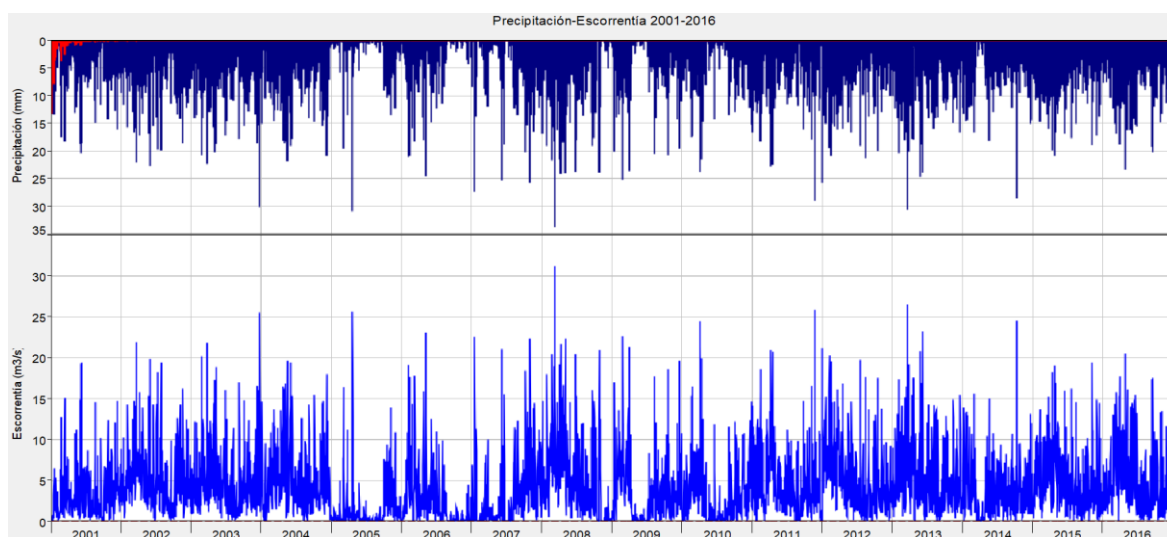
**Fuente:** Autor.

La Figura 9 muestra la relación entre la precipitación y la escorrentía en la microcuenca del río Coco durante los años 2001 y 2016. Se puede notar un patrón hidrológico estable, similar al de años anteriores, donde los picos de escorrentía coinciden con eventos de lluvias intensas. Sin embargo, hacia el final del período analizado, se observan variaciones más marcadas en los valores máximos, lo que sugiere posibles efectos acumulativos de la degradación del suelo o cambios en el uso de la tierra.

Este comportamiento indica que la relación entre precipitación y escorrentía sigue siendo alta, probablemente debido a la presencia de pendientes pronunciadas y suelos con baja capacidad de infiltración, lo que limita la absorción del agua y favorece el escurrimiento superficial.



**Figura 9.** Precipitación - Escorrentía 2001-2016



Fuente: Autor.

La Tabla 9, cuantifica los caudales observados durante el mismo período, con valores máximos que oscilan entre 3,27 m<sup>3</sup>/s (2001) y 5,15 m<sup>3</sup>/s (2002). Los caudales ecológicos promedian 0,45 m<sup>3</sup>/s, proporcionando un mínimo requerido para la preservación ambiental, mientras que el caudal autorizado se mantiene constante en 0,53 m<sup>3</sup>/s. El caudal ofertado muestra un promedio de 3,68 m<sup>3</sup>/s, pero exhibe variaciones notables, con reducciones en años de menor precipitación y aumentos en períodos de lluvias intensas.

**Tabla 9.** Caudal ofertado 2001-2016

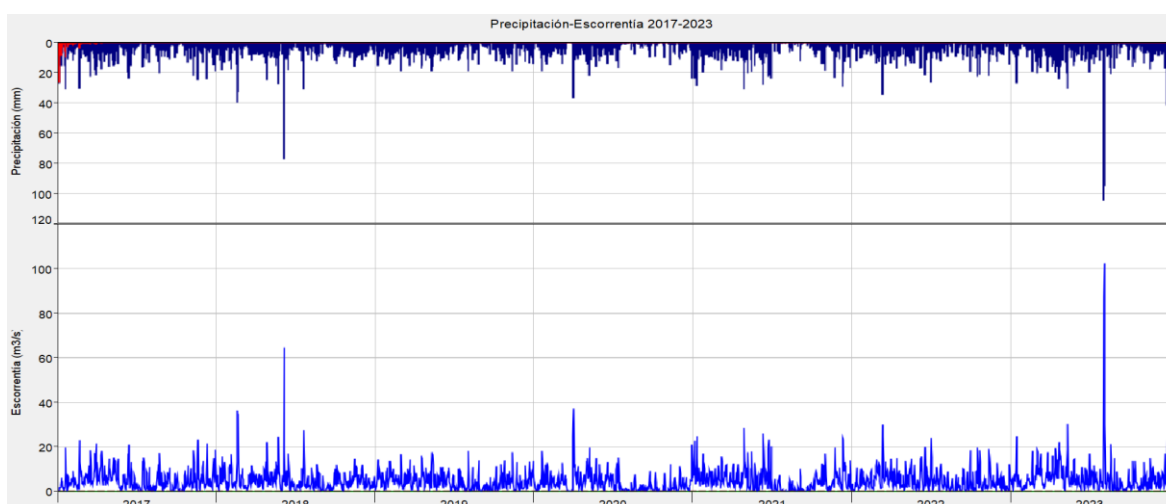
Años	Caudal Máximo (m <sup>3</sup> /s)	Caudal Ecológico (m <sup>3</sup> /s)	Caudal Autorizado (m <sup>3</sup> /s)	Caudal Ofertado (m <sup>3</sup> /s)
U2001	3,27	0,33	0,53	2,41
2002	5,16	0,52	0,53	4,11
2003	4,95	0,50	0,53	3,92
2004	5,15	0,51	0,53	4,10
2005	1,43	0,14	0,53	0,75
2006	2,45	0,25	0,53	1,67
2007	2,75	0,28	0,53	1,95
2008	5,13	0,51	0,53	4,08
2009	3,41	0,34	0,53	2,54
2010	3,18	0,32	0,53	2,33
2011	4,51	0,45	0,53	3,52
2012	5,32	0,53	0,53	4,25
2013	5,20	0,52	0,53	4,14
2014	3,51	0,35	0,53	2,63
2015	4,89	0,49	0,53	3,87
2016	4,81	0,48	0,53	3,80

Fuente: Autor.

La Tabla 9 exhibe caudales registrados en el período analizado, con valores máximos que van desde 3,27 m<sup>3</sup>/s en 2001 a 5,15 m<sup>3</sup>/s en 2002. Respecto al caudal ecológico, el promedio se mantiene en 0,45 m<sup>3</sup>/s, asegurando el valor mínimo para la preservación ambiental, mientras que el caudal autorizado se mantiene constante (0,53 m<sup>3</sup>/s).

Por otro lado, el caudal ofertado tiene un promedio de 3,68 m<sup>3</sup>/s aunque presenta fluctuaciones reveladoras. Es así que, en años con menos lluvias, se observa una reducción en la disponibilidad de agua, mientras que, en tiempos de precipitaciones intensas, los caudales aumentan considerablemente, manifestando la sensibilidad del sistema hidrológico a las variaciones climáticas.

**Figura 10.** Precipitación - Escorrentía 2017-2023



**Fuente:** Autor.

La Tabla 10 presenta un análisis detallado sobre la disponibilidad de caudales durante el período evaluado. Los valores máximos varían entre 3,63 m<sup>3</sup>/s en 2020 y 6,12 m<sup>3</sup>/s en 2023, lo que evidencia un aumento hacia los años actuales.

Respecto del caudal ecológico, este se mantiene en 0,50 m<sup>3</sup>/s, asegurando las condiciones mínimas necesarias para la conservación de la biodiversidad acuática. Por otro lado, el caudal autorizado se mantiene fijo en 0,53 m<sup>3</sup>/s lo que podría representar un reto en años donde la disponibilidad de agua sea menor, limitando su acceso y distribución.

**Tabla 10.** Caudal ofertado 2017-2023

Años	Caudal Máximo (m <sup>3</sup> /s)	Caudal Ecológico (m <sup>3</sup> /s)	Caudal Autorizado (m <sup>3</sup> /s)	Caudal Ofertado (m <sup>3</sup> /s)
2017	5,09	0,51	0,53	4,05
2018	5,16	0,52	0,53	4,11

2019	4,60	0,46	0,53	3,61
2020	3,63	0,36	0,53	2,73
2021	4,99	0,50	0,53	3,96
2022	4,74	0,47	0,53	3,73
2023	6,12	0,61	0,53	4,98

Fuente: Autor.

#### 4.3.1 Oferta hídrica microcuenca del río Coco

La Tabla 11 ofrece un análisis detallado sobre la disponibilidad de agua en la microcuenca del río Coco en distintos años: 1990, 2000, 2016 y 2023. Los datos muestran un aumento progresivo en el caudal máximo, pasando de 4,07 m<sup>3</sup>/s en 2016 a 4,91 m<sup>3</sup>/s en 2023. Este incremento está relacionado con un aumento en eventos de precipitación extrema y cambios en el uso del suelo, lo que subraya la importancia de monitorear continuamente la escorrentía superficial y evaluar los posibles impactos del cambio climático en la dinámica hídrica de la cuenca.

En cuanto al caudal ecológico, los valores promedio se han mantenido cerca de 0,46 m<sup>3</sup>/s, alcanzando 0,49 m<sup>3</sup>/s en 2023. Estos valores indican que, por ahora, se están cumpliendo los requerimientos mínimos para la conservación del ecosistema acuático. Sin embargo, dado que el caudal ecológico está muy cerca del límite autorizado de 0,53 m<sup>3</sup>/s, es fundamental realizar evaluaciones periódicas para evitar que situaciones de escasez de agua afecten el equilibrio ecológico.

El caudal ofertado ha mostrado un crecimiento gradual, pasando de 3,13 m<sup>3</sup>/s en 2016 a 3,88 m<sup>3</sup>/s en 2023, lo que indica una mayor disponibilidad de agua para diferentes usos. No obstante, las variaciones recientes evidencian una posible vulnerabilidad ante eventos climáticos extremos. Esto refuerza la necesidad de aplicar estrategias de manejo integrado del recurso hídrico que permitan garantizar un abastecimiento sostenible en el futuro.

**Tabla 11.** Caudal ofertado promedio

Año	Caudal Máximo (m <sup>3</sup> /s)	Caudal ecológico (m <sup>3</sup> /s)	Caudal autorizado (m <sup>3</sup> /s)	Caudal ofertado (m <sup>3</sup> /s)
1990	4,66	0,47	0,53	3,66
2000	4,67	0,47	0,53	3,67
2016	4,07	0,41	0,53	3,13
2023	4,91	0,49	0,53	3,88

Fuente: Autor.

## **4.4 Discusión**

### **4.4.1 Variabilidad temporal en los caudales máximos**

Los resultados indican un incremento progresivo en los caudales máximos a lo largo de los períodos analizados. En la Tabla 11, se observa un aumento desde 4,0696 m<sup>3</sup>/s (2016) hasta 4,9052 m<sup>3</sup>/s (2023). Este comportamiento puede atribuirse a eventos de precipitación más intensos registrados en los últimos años, lo que evidencia una mayor sensibilidad de la cuenca a precipitaciones extremas. Factores como la pendiente media del 39,66% y la limitada capacidad de infiltración en zonas intervenidas contribuyen a una respuesta hidrológica rápida y a una mayor escorrentía superficial, como se muestra en las Figuras 7, 8, 9 y 10.

### **4.4.2 Evaluación del caudal ecológico**

El caudal ecológico que asegura el volumen mínimo para el equilibrio del sistema, se mantiene bastante constante en los diferentes períodos evaluados ya que presenta un promedio de 0,45 m<sup>3</sup>/s, lo que sugiere en términos generales, la microcuenca es capaz de mantener las condiciones ecológicas mínimas requeridas. Sin embargo, es importante destacar que el valor del caudal ecológico está muy cerca del caudal autorizado de 0,53 m<sup>3</sup>/s, que se destina para consumo humano y actividades agrícolas. Esta proximidad resalta la necesidad de realizar un monitoreo constante para asegurar que exista un equilibrio adecuado entre la extracción de agua y la conservación del ecosistema, sobre todo en años con mínima precipitación.

### **4.4.3 Oferta Hídrica y caudal disponible**

El caudal ofertado muestra valores que han ido variando de 3,13 m<sup>3</sup>/s en 2016 a 3,88 m<sup>3</sup>/s en 2023. Este ligero incremento indica que hay suficiente agua para cubrir las demandas actuales. Sin embargo, las fluctuaciones en los años de análisis ponen de manifiesto la vulnerabilidad de la microcuenca ante efectos del cambio climático y transformaciones en el uso del suelo. Las figuras 7 a 10 exponen picos repentinos en la escorrentía durante lluvias intensas, lo que sugiere que el suelo tiene una capacidad limitada para absorber el agua, aumentando el riesgo de erosión y arrastre de sedimentos.

#### **4.4.4 Impactos del cambio en el uso del suelo**

Los valores elevados de escurrimiento y los tiempos de concentración reducidos (28,32 minutos) registrados en los hidrogramas de los diferentes períodos analizados lo que indican una alteración progresiva de las propiedades del suelo debido a las actividades antrópicas. Este fenómeno es observado en la Figura 10, donde se evidencia una mayor dispersión en los valores de escurrimiento durante el período 2017-2023, lo que sugiere una reducción en la capacidad de retención hídrica y un aumento del flujo superficial durante eventos de precipitación alta.

#### **4.4.5 Sostenibilidad y conservación del recurso hídrico**

La sostenibilidad del recurso hídrico indica que la oferta de agua fue adecuada durante el periodo analizado, sin embargo, las tendencias indican que la microcuenca es susceptible a eventos climáticos extremos. El balance hídrico detallado en los anexos respalda esta vulnerabilidad, destacando la necesidad de adoptar prácticas de manejo sostenible como la restauración de ecosistemas degradados, que permitan el control de la erosión, para garantizar la sostenibilidad de los recursos naturales.

## Capítulo 5

### Conclusiones

Mediante la presente investigación se determinó la oferta hídrica de la microcuenca un modelo basado en la modelación matemática del balance hídrico. Los parámetros hidrológicos analizados fueron: relación precipitación-escorrentía, (55%) caudal ecológico (0,45 m<sup>3</sup>/s), caudal autorizado (0,53 m<sup>3</sup>/s) y caudal ofertado (3,68 m<sup>3</sup>/s). Este análisis proporciona información cuantitativa fundamental para evaluar la sostenibilidad del recurso hídrico. Además, los resultados obtenidos cumplieron con los objetivos específicos planteados, destacando la importancia hidrológica de la microcuenca y su respuesta frente a diversos eventos climáticos intensos.

Los patrones de precipitación y escorrentía revelaron una conducta hidrológica sustancial, caracterizado por tiempos de concentración mínimos (28,32 minutos) y una vertiginosa conversión de precipitación en escorrentía. También se identificó que en promedio el 55% de la precipitación se convierte en escorrentía superficial, evidenciando una capacidad de infiltración limitada en ciertas zonas de la microcuenca. Este comportamiento se relaciona con el tipo de pendientes (>39,66%) y los cambios de uso del suelo, destacando la necesidad de implementar estrategias de conservación para mejorar la capacidad de retención hídrica dentro del sistema.

El balance hídrico analizado permitió estimar caudales máximos durante la época de mayor caudal con valores de 4,07 m<sup>3</sup>/s y 4,91 m<sup>3</sup>/s en el en el 2016 y 2023 respectivamente. Este ligero incremento resalta la incidencia de eventos extremos de precipitación. Por otro lado, el caudal ecológico promedio fue de 0,46 m<sup>3</sup>/s, sin embargo, este caudal alcanzó su valor medio más alto (0,49 m<sup>3</sup>/s) en el 2023. De esta forma se garantiza el mantenimiento de las funciones ecológicas mínimas. Es importante señalar que este valor se debe de monitorear periódicamente para evitar la sobreexplotación del recurso en períodos de estiaje.

En relación con la oferta hídrica, los resultados mostraron valores que variaron entre 3,13 m<sup>3</sup>/s (2016) y 3,88 m<sup>3</sup>/s (2023), evidenciando una capacidad suficiente para satisfacer las demandas actuales. No obstante, las fluctuaciones observadas en los caudales máximos y ofertados resaltan la vulnerabilidad del sistema frente a eventos climáticos extremos y cambios en el uso del suelo. Estas condiciones exigen la implementación de estrategias de

manejo integrado del recurso hídrico para reducir los riesgos asociados a la variabilidad climática y garantizar la sostenibilidad de la microcuenca.

El uso del modelo HEC-HMS resulto ser una herramienta efectiva para simular escenarios hidrológicos, evaluar patrones de esorrentía y programar la oferta hídrica disponible. Su exactitud en la representación de los procesos hidrológicos convierte a este modelo en un recurso esencial para la planificación y gestión sostenible del agua en la microcuenca del río Coco. Con esta información se perfecciona el análisis detallado del balance hídrico, suministrando insumos valiosos para futuras investigaciones y optimización de estrategias de manejo.

## **Recomendaciones**

Implementar estaciones meteorológicas en la microcuenca del río Coco con la finalidad de fortalecer el monitoreo hidrometeorológico y de esta manera contar con información actualizada que permita monitorear periódicamente los sistemas hidrológicos y poder dar respuestas inmediatas a eventos extremos y variaciones climáticas.

Implementar un plan de manejo integral del recurso hídrico priorizando la conservación de las coberturas vegetales propias del sector y la restauración de áreas degradadas. Estas acciones ayudarán a reducir la escorrentía superficial, mejorar la infiltración y minimizar los riesgos de desgaste e inundaciones.

Se recomienda fomentar prácticas agrícolas sostenibles en las áreas productivas de la microcuenca, como técnicas que reduzcan la compactación del suelo, mejoren su capacidad de retención de agua y optimicen el uso del recurso hídrico. Además, es clave implementar programas de capacitación dirigidos a los productores locales para promover un manejo más eficiente del agua.

Finalmente, se sugiere realizar evaluaciones periódicas del impacto del cambio climático sobre la dinámica hidrológica de la cuenca, incorporando escenarios futuros en la planificación hídrica. Esto permitirá adoptar un enfoque flexible en la gestión del agua, anticipando posibles déficits o excesos y estableciendo medidas preventivas para mantener el equilibrio tanto ecológico como productivo.



## Referencias Bibliográficas

- Albarracín, F., Alvarenga, F., Sanclemet, E., & Pauluzek, A. (2021). Aspectos morfológicos de la cuenca del arroyo Nagel (Misiones, Argentina). +*Ingenio*, 2(Jul-Dic 2020 V2 N2), 81–89. <https://doi.org/10.36995/j.masingenio.2021.02.02.007>
- Aldwaik, S. Z., & Pontius, R. G. (2012). Intensity analysis to unify measurements of size and stationarity of land changes by interval, category, and transition. *Landscape and Urban Planning*, 106(1), 103–114. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.02.010>
- Chambers, F., & Beilman, D. (2011). Methods for determining peat humification and for quantifying peat bulk density , organic matter and carbon content for palaeostudies of climate and peatland carbon dynamics. *Mires and Peat*, 7(September 2016), 1–10.
- Churampi, H., & Ibañez, A. (2023). Evaluación de la calidad del agua mediante bioindicadores que emplean macroinvertebrados (índice BMWP-COL) y análisis fisicoquímicos-microbiológicos (índice NSF) en el río Neshuya, departamento Ucayali, Perú. In *[Tesis Pregrado]*, Universidad Nacional de Ucayali.
- Córdoba, E. (2021). Evaluación del índice de escasez para aguas superficiales mediante el cálculo de la oferta y demanda hídrica en la microcuenca del río palo en el municipio de Puerto Tejada (Cauca). In *[Tesis Pregrado]*, Uniautónoma del Cauca. Facultad de Ciencias Ambientales y Desarrollo Sostenible. Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. <http://repositorio.uniautonomia.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/596>
- Daza, M., Hernandez, F., & Triana, F. (2014). Efecto del Uso del Suelo en la Capacidad de Almacenamiento Hídrico en el Páramo de Sumapaz - Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 67(100), 7189–7200.
- Díaz, D. (2018). Determinación de la oferta hídrica superficial mediante aplicación de software Arcgis y Hec – Hms, y del índice de calidad de agua (ICA) en épocas de más lluvia, en la parte media y baja de la microcuenca quebrada la cristalina en el costado oriental del. In *[Tesis Pregrado]*, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. <https://repositorioinstitucional.ufpso.edu.co/xmlui/handle/20.500.14167/1450>
- Díaz, J. (2017). Determinación de la disponibilidad hídrica superficial mediante balance hídrico en la Cuenca del Río Cumbaza-San Martín, 2016. In *[Tesis Pregrado]*, Universidad Peruana Unión. <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/957>
- Duque, P., Cajamarca, R., Wemple, B., & Delgado, M. (2019). Estimación del balance

- hídrico de una cuenca andina tropical. *La Granja*, 29(1), 56–69. <https://doi.org/10.17163/lgr.n29.2019.05>
- Duque, P., Patiño, D., & López, X. (2019). Evaluación del Sistema de Modelamiento Hidrológico HEC-HMS para la Simulación Hidrológica de una Microcuenca Andina Tropical. *Información Tecnológica*, 30(6), 351–362. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642019000600351>
- Escobar Gutiérrez, A. F., & Montoya Moreno, Y. (2019). Los Macroinvertebrados Acuáticos y la Calidad Biológica del Agua en una Quebrada Andina, Antioquía-Colombia. *Revista Politécnica*, 15(29), 65–81.
- Espinales, F., Alulema, R., & Caicedo, M. (2021). Determinación del Número de Curva (CN) de la cuenca del Río Portoviejo. *Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*, SPE2, 1–16.
- Espósito, M., Moreiras, S., & Correas, M. (2023). *Geomorfología de la cuenca del río del Cobre, Malargüe, Mendoza (35 ° S): Un aporte al entendimiento de la inestabilidad de laderas*.
- FAO. (2009). *Guía para la descripción de suelos*.
- GAD Pallatanga. (2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*.
- Gómez, A. (2021). Cálculo de la oferta hídrica superficial de la microcuenca río tejo del municipio de Ocaña, norte de Santander para el año 2020 a través de la metodología lluvia-escorrentía para la conservación, manejo y uso sostenible del recurso hídrico. In *[Tesis Pregrado]*, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.
- Guarderas, F., & Egüez, A. (2019). Geomorfología aplicada a la tectónica activa en la cuenca del río Nangaritza. *Geo Latitud*, 2(1), 2–8.
- Guevara, D. (2015). Propuesta para determinar la oferta hídrica neta de una cuenca contemplando escenarios extremos: Caso de estudio microcuenca del río Upín. In *[Tesis Pregrado]*, Universidad Católica de Colombia.
- Hernando, L. (2017). Oferta hídrica en la microcuenca del río Pará, región central de Costa Rica. In *[Tesis Posgrado]*, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Hoyos, M., Rodríguez, D., & Torres, J. (2018). Evaluación del recurso hídrico superficial en la subcuenca hidrográfica del río Frío en el departamento de Cundinamarca: Oferta,

- demanda y calidad del agua. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(1), 127–136. <https://doi.org/10.22490/21456453.2075>
- Huasacca, E. (2023). Determinación de la oferta hídrica de la microcuenca Usquwillka con fines de represamiento, distrito Quinua – Huamanga – Ayacucho, 2022. In *[Tesis Pregrado]*, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. <https://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/5720>
- Intriago, P., Rodríguez, M., Caicedo, M., & Espinales, F. (2021). Estudio hidromorfológico de la cuenca efímera Maconta con relación al riesgo de inundaciones repentinas. *Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*, 8(no SPE2), 1–21.
- Jaya, V., & Rodriguez, E. (2023). Determinación de la oferta hídrica en las microcuencas de los ríos Ishpi, Daldal, Uldán y quebrada Cachipata, en la Provincia de Chimborazo. In *[Tesis Pregrado]*, Universidad Nacional de Chimborazo. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/10872>
- Larrea, A., & Maldonado, C. (2022). Determinación de la oferta hídrica de la microcuenta Guamote y quebrada Compueñe Gorge, en la provincia de Chimborazo. In *[Tesis Pregrado]*, Universidad Nacional de Chimborazo. [http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/10251/1/Larrea\\_Maldonado\\_2022\\_Determinación de la oferta hídrica de la microcuenta Guamote y quebrada Compueñe Gorge%2C en la provincia de Chimborazo %281%29.pdf](http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/10251/1/Larrea_Maldonado_2022_Determinación%20de%20la%20oferta%20hídrica%20de%20la%20microcuenta%20Guamote%20y%20quebrada%20Compueñe%20Gorge%2C%20en%20la%20provincia%20de%20Chimborazo%20%281%29.pdf)
- León, L., & Garavito, L. (2021). Procesamiento\_Imágenes\_Satelitales. *L'Esprit Ingenieux*, 11, 33–49.
- Lopez, L. (2015). Diccionario de Geografía Aplicada y Profesional. In *Universidad de Leon* (Vol. 59).
- López, L., Peña, R., & Velastegui, J. (2019). Determinación del balance hídrico y mapeo con sistemas de información geográfica de la microcuenca de la quebrada de Quillalli en el cantón Ambato. *Ciencia Digital*, 3(4.2), 129–143. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i4.2.1014>
- Manzanilla, U. (2020). *Clasificación supervisada de imágenes satelitales mediante firmas espectrales: método de máxima verosimilitud*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Mendoza, B., Fiallos, M., Iturralde, S., Santillán, P., Guananga, N., Bejar, J., Lowy, D. A.,

- Vágó, I., & Sándor, Z. (2021). Determination of field capacity in the Chibunga and Guano rivers micro-basins. *F1000Research*, 10, 1–13. <https://doi.org/10.12688/F1000RESEARCH.28143.1>
- Meza, Y. (2014). Determinación de la oferta y demanda hídrica de la microcuenca el silencio localizada en el corregimiento de Otare del municipio de Ocaña en apoyo para su reglamentación. In *[Tesis Pregrado]*, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.
- Moreno, P. (2016). Determinación de la oferta hídrica superficial de la cuenca del río machetá cundinamarca (jurisdicción car), como parte de la evaluación regional del agua (era). *Universidad El Bosque*, 1–116.
- Muñoz, J., Gentili, J., & Bustos, R. (2020). Uso agrícola del suelo y demanda de agua para riego en la cuenca del río Vinces (Ecuador) durante el período 1990 – 2014. *Investigaciones Geográficas*, 59, 91–104. <https://doi.org/10.5354/0719-5370.2020.56958>
- Niño, Y. (2020). Análisis multitemporal mediante imágenes de sensores remotos para la determinación de los cambios de uso de suelo en el municipio de San Francisco de Sales, Cundinamarca (Colombia) entre los años 90's y 2018". In *[Tesis Posgrado]*, Universidad Nacional de la Plata.
- Olaya, V. (2014). *Sistemas de Información Geográfica*.
- ONU. (2014). Informe sobre el primer período de sesiones de la Asamblea de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente del Programa de las Naciones Unidas para el Medioambiente. *Programa de La Naciones Unidas Para El Medio Ambiente*, 1–69.
- Popayan, E., León, J., & Madroño, S. (2019). Evaluación de la regulación hídrica: oferta y calidad de la quebrada Telléz, microcuenca Ortiz. *Boletín Informativo CEI*, 6(2), 92–95. <http://editorial.umariana.edu.co/revistas/index.php/BoletinInformativoCEI/article/view/2013>
- Quiñonez, E. (2022). Determinación del número de curva (CN) a partir de imágenes satelitales, cuenca río Mapuey, municipio Ezequiel Zamora, Estado Cojedes. *Revista Científica VIPICREA*, 3, 1–14.
- Ramirez, U. (2018). Oferta y demanda hídrica de la microcuenca Curpaga para el distrito de

- riego Interveredal, Cacota de Velasco-Norte de Santander. In *[Tesis Pregrado]*, Universidad Pamplona.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.gde.2016.09.008><http://dx.doi.org/10.1007/s00412-015-0543-8><http://dx.doi.org/10.1038/nature08473><http://dx.doi.org/10.1016/j.jmb.2009.01.007><http://dx.doi.org/10.1016/j.jmb.2012.10.008><http://dx.doi.org/10.1038/s41598>
- Rojo, J. (2017). Morfometría de cuencas. *Caracterización De La Cuenca*, 7, 32.
- Saldaña, R., Otalvarez, R., & Herrera, J. (2023). Oferta hídrica superficial del humedal el Gallinazo, ubicado en Aguachica-Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 14(1), 221–249. <https://doi.org/10.22490/21456453.5959>
- Santamaría, A., Malnis, P., Bertona, M., Rothis, L., & Pures, T. (2023). Geomorfología y facies sedimentarias del mega-abanico del río huaco, cuenca del bermejo, San Juan, Argentina. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*, 30(2), 139–161.
- Sequeira, J. (2021). Geología, geomorfología y ocurrencia de deslizamientos en la cuenca alta del Río Virilla, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 66(1), 312–339. <https://doi.org/10.15359/rgac.66-1.12>
- Sofía, L. I., Sergio, G., & Marlon, P. (2020). *Aplicación de índices bióticos para la evaluación de la calidad del agua de un río Andino Amazónico*. May.
- Tassew, B., Belete, M., & Miegel, K. (2019). Application of HEC-HMS Model for Flow Simulation in the Lake Tana Basin: The Case of Gilgel Abay Catchment, Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Hydrology*, 6(21), 1–17. <https://doi.org/10.3390/hydrology6010021>
- Terán, J. (2018). La Cuenca como Unidad de Gestión y Planificación. *Consortio Camaren Sistema de Capacitación Para El Manejo Sostenible de Los Recursos Naturales Renovables*, 1–34.
- Vásconez, M., Mancheno, A., Álvarez, C., Prehn, C., Cevallos, C., & Ortiz, L. (2019). Cuencas Hidrográficas. In Abya-Yala (Ed.), *Universidad Politécnica Salesiana* (1era ed., Vol. 1). Publicación arbitrada de la Universidad Politécnica Salesiana.
- Villamarín, C. (2012). Estructura y composición de las comunidades de macroinvertebrados

acuáticos en ríos altoandinos del Ecuador y Perú . Diseño de un sistema de medida de la calidad del agua con índices multimétricos. *Universitat de Barcelona, Tesis Doct*, 207.

Zarta, S. (2022). Desarrollo de un modelo hidrológico para determinar la oferta hídrica de la microcuenca de la quebrada calostros en el municipio de la Calera, Cundinamarca. In *[Tesis Pregrado], Universidad Católica de Colombia*.

## ANEXOS

### Anexo 1.

**Tabla 12.** Precipitación - Escorrentía 1981-1990

Año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sept	oct	nov	dic	Total
1981	1,1	4,05	5,43	4,98	3,78	3,7	3,62	0,87	2,47	3,33	4,16	5,45	3,57
1982	5,44	5,44	5,82	6,88	4,47	3,75	2,69	3,18	2,89	4,82	6,06	8,36	4,98
1983	2,76	3,92	7,15	8,53	6,79	5,22	4,8	1,83	4,11	5,77	4,42	4,43	4,98
1984	4,39	6,99	6,67	6,27	3,9	4,33	3,19	2,86	4,66	4,26	4,02	4,26	4,64
1985	4,02	2,3	5,43	6,54	6,66	5,09	3,35	4,65	4,53	4,44	4,24	3,69	4,59
1986	4,57	5,43	3,95	6,68	3,9	3,17	2,96	3,34	4,51	3,65	3,88	5,06	4,24
1987	6,19	10,4	7,52	9,85	5,7	4,54	2,76	1,81	2,76	6,14	2,82	2,52	5,21
1988	4,73	8,47	3,53	7,73	6,61	4,7	3,5	2,3	3,59	6,23	4,68	3,71	4,96
1989	6,26	8,23	8,87	4,68	4,47	7,77	3,85	1,81	2,21	4,75	3,62	1,91	4,85
1990	3,57	6,85	4,68	6,86	3,41	5,75	3,95	2,74	4,04	5,45	3,53	4,18	4,56
Total	2,41	3,45	3,32	3,8	2,78	2,64	1,9	1,4	1,97	2,61	2,29	2,42	2,58

Fuente: Autor

### Anexo 2.

**Tabla 13.** Precipitación - Escorrentía 1991-2000

Año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sept	oct	nov	dic	Total
1991	1,07	4,94	4,45	4,75	4,75	6,74	3,02	1,49	3,38	3,1	4,02	3,28	3,73
1992	4,06	6,45	6,63	7,5	6,57	3,96	2,85	2,7	3,59	3,11	4,61	3,32	4,6
1993	5,47	8,72	9,38	6,76	5,55	3,54	5,27	3,61	3,23	3,41	3,73	5,63	5,34
1994	5,49	5,58	7,13	6,59	5,61	4,22	3,37	3,73	3,58	5,14	4,85	4,86	5,01
1995	3,78	3,87	5,29	4,51	5,27	3,75	5,38	2,1	2,6	2,23	4,83	4,18	3,98
1996	5,29	7,03	5,45	5,61	4,55	4,36	3,24	2,15	3,79	5,49	3,81	3,17	4,48
1997	4,5	7,49	7,6	5,66	5,33	4,53	2,76	2,86	5,31	3,28	9,22	7,25	5,46
1998	5,5	8,02	8,07	11,4	8,67	6,12	3,1	2,41	1,26	5,52	3,97	5,86	5,81
1999	5,95	6,99	9,86	6,76	5,38	5,01	2,14	3,32	5,07	3,43	3,48	7,03	5,36
2000	4,45	5,12	5,52	3,94	5,73	2,56	0,77	1,27	2,48	0,74	0,58	1,64	2,89
Total	4,16	5,89	6,36	5,85	5,24	4,09	2,91	2,34	3,14	3,25	3,96	4,25	4,27

Fuente: Autor

### Anexo 3.

**Tabla 14.** Precipitación - Escorrentía 2001-2016

Año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sept	oct	nov	dic	Total
2001	1,61	2,32	3,85	1,99	4,13	5,94	3,26	2,41	1,82	3,45	3,25	5,14	3,27
2002	3,6	5,49	8,3	7,71	5,22	3,93	6,78	3,36	2,09	5,25	5,34	4,78	5,16
2003	4,12	5,34	6,36	6,65	6,62	5,43	3,43	2,3	3,8	4,75	4,17	6,52	4,95
2004	3,04	5,02	6,78	6,83	7,64	5,65	4,43	3,8	3,77	4,45	6,18	4,2	5,15
2005	0,35	0,71	3,51	2,24	0,7	0,38	0,14	0,14	0,25	3,5	4,11	1,12	1,43
2006	2,24	6,67	4,03	3,47	3,32	3,61	2,45	2,35	0,17	0,31	0,2	0,95	2,45
2007	2,17	0,28	2	0,58	1,04	3,08	0,35	4,05	2,89	5,59	6,55	4,28	2,75
2008	5,45	7,33	8,45	9,7	7,21	5,56	4,13	3,62	4,38	4	1,39	0,52	5,13
2009	3,28	7,67	6,02	2,92	0,26	0,25	1,84	4,26	2,6	4,76	2,51	4,81	3,41
2010	2,04	5,51	5,23	6,77	1,09	1,19	0,67	0,62	2,29	4,02	4,2	4,77	3,18
2011	4,63	6,84	4,47	8,44	3,92	3,03	4,57	2,37	2,74	4,01	5,94	3,42	4,51

2012	8,49	8,69	8,66	6,35	4,9	4,52	4	3,36	2,79	4,33	4,87	2,97	5,32
2013	5,01	6,28	7,65	6,19	5,59	4,9	5,14	4,47	3,68	4,88	4,52	4,1	5,2
2014	5,85	4,8	2,56	0,61	3,7	3,68	3,53	3,08	3	4,4	3,01	3,93	3,51
2015	4,82	4,71	7,55	7,48	5,47	5,25	4,32	2,82	2,75	4,34	5,07	4,09	4,89
2016	3,08	5,23	7,83	8,16	5,3	6,76	2,73	2,87	4,59	3,88	3,95	3,51	4,81
Total	3,74	5,19	5,83	5,38	4,13	3,95	3,23	2,87	2,73	4,12	4,08	3,69	4,07

Fuente: Autor

**Anexo 4.**

**Tabla 15.** Precipitación - Escorrentía 2017-2023

Año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sept	oct	nov	dic	Total
2017	3,16	5,22	7,42	7,78	6,5	5,62	3,59	3,48	3,5	3,11	5,51	6,32	5,09
2018	5,42	8,76	4,62	6,1	6,42	6,9	3,94	3,88	1,77	4,73	5,85	3,89	5,16
2019	5,07	6,28	5,16	5,95	5,77	5,31	3,03	3,61	1,38	4,19	4,44	5,14	4,6
2020	4,19	4,19	2,71	7,54	6,76	5,05	3,19	0,97	1,67	1,25	1,75	4,36	3,63
2021	8,49	5,76	6,13	6,41	5,71	7,53	1,68	0,99	1,25	4,45	5,25	6,37	4,99
2022	3,4	4,63	7,75	5,68	5,14	5,64	5,61	2,64	3,12	5,27	4,22	3,72	4,74
2023	4,77	4,44	8,07	9,92	6,92	4,66	5,31	11,6	2,09	3,7	5,11	6,6	6,12
Total	4,93	5,6	5,98	7,05	6,17	5,82	3,76	3,88	2,11	3,81	4,59	5,2	4,9

Fuente: Autor