



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución - 4.0 Internacional \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Vea una copia de esta licencia en <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>





## UNIDAD DE POSGRADO

UNIDAD POSGRADO DE LA FACULTAD DE ECOLOGÍA  
PROGRAMA DE MAESTRIA EN CIENCIAS

Tesis

# Disponibilidad hídrica de la cuenca Rumiycacu para el abastecimiento poblacional de la ciudad Moyobamba utilizando el modelo hidrológico determinístico

Para optar el grado académico de Maestro en Ciencias con mención  
en Gestión Ambiental

### Autor:

Marco Antonio Ramírez Pérez  
<https://orcid.org/0000-0003-1511-1996>

### Asesor:

Ing. M.Sc. Marcos Aquiles Ayala Díaz  
<https://orcid.org/0000-0001-6391-7981>

### Coasesor:

Lic. Dr. Fabián Centurión Tapia  
<https://orcid.org/0000-0003-2213-1856>

Tarapoto, Perú

2024



## UNIDAD DE POSGRADO

UNIDAD POSGRADO DE LA FACULTAD DE ECOLOGÍA  
PROGRAMA DE MAESTRIA EN CIENCIAS

Tesis

# Disponibilidad hídrica de la cuenca Rumiycacu para el abastecimiento poblacional de la ciudad Moyobamba utilizando el modelo hidrológico determinístico

Para optar el grado académico de Maestro en Ciencias con mención  
en Gestión Ambiental

### Autor:

Marco Antonio Ramírez Pérez

Sustentado y aprobado el 17 de abril del 2024, por los siguientes jurados

**Presidente de Jurado**

Ing. M.Sc. Santiago Alberto Casas  
Luña

**Secretario de Jurado**

Ing. M.Sc. Mirtha Felicita Valverde  
Vera

**Miembro de Jurado**

Ing. M. Sc. Gerardo Cáceres Bardález

**Asesor**

Ing. M.Sc. Marcos Aquiles Ayala Díaz

**Coasesor**

Lic. Dr. Fabián Centurión Tapia

Tarapoto, Perú

2024



## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos para estudiar y escuchar la sustentación y defensa del Trabajo de Tesis, modo presencial, presentado por:

**Bach. Marco Antonio Ramírez Pérez**

Con el asesoramiento del Ing. M.Sc. Marcos Aquiles Ayala Diaz.

**“Disponibilidad hídrica de la cuenca Rumiycu para el abastecimiento poblacional de la ciudad Moyobamba utilizando el modelo hidrológico determinístico”**

Teniendo en consideración los méritos del referido trabajo, así como los conocimientos demostrados por el sustentante, lo declaramos:

APROBADO

Con el calificativo (\*)

BUENO

En consecuencia, queda en condición de ser considerado APTO por el Consejo Universitario y recibir el Grado Académico de Maestro, de conformidad con lo estipulado en el Artículo 30° del Reglamento de Tesis de la Escuela de Posgrado de la UNSM.

Tarapoto, 17 de abril de 2024.

  
Ing. M.Sc. Santiago Alberto Casas Luna  
Presidente

  
Ing. M.Sc. Mirtha Felicita Valverde Vera  
Secretario

  
Ing. M.Sc. Gerardo Cáceres Bardález  
Miembro

  
Ing. M.Sc. Marcos Aquiles Ayala Diaz  
Asesor

  
Lic. Dr. Fabian Centurion Tapia  
Co Asesor

(\*) De acuerdo con el Artículo 40° del Reglamento General de Ciencia, Tecnología e Innovación (RG - CTI) la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, estas deberán ser calificadas con términos de: BUENO, MUY BUENO, EXCELENTE, también considerar la nota







## UNIDAD DE POSGRADO

UNIDAD POSGRADO DE LA FACULTAD DE ECOLOGÍA  
PROGRAMA DE MAESTRIA EN CIENCIAS

Tesis


# Disponibilidad hídrica de la cuenca Rumiycu para el abastecimiento poblacional de la ciudad Moyobamba utilizando el modelo hidrológico determinístico

Para optar el grado académico de Maestro en Ciencias, con mención en Gestión Ambiental

Los suscritos declaran que el presente trabajo de tesis, es original en su contenido y forma.

  
.....  
Marco Antonio Ramírez Pérez  
**Ejecutor**

  
.....  
Ing. M.Sc. Marcos Aquiles Ayala Díaz  
**Asesor**

  
.....  
Lic. Dr. Fabián Centurión Tapia  
**Coasesor**

Tarapoto, Perú

2024

## Declaratoria de autenticidad

**Marco Antonio Ramírez Pérez**, con DNI N° 72941636, egresado de la Escuela Posgrado, Programa de Maestría en Ciencias, con mención en Gestión Ambiental de la Universidad Nacional de San Martín, autor de la tesis titulada: **Disponibilidad hídrica de la cuenca Rumiyacu para el abastecimiento poblacional de la ciudad Moyobamba utilizando el modelo hidrológico determinístico.**

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencias de las fuentes bibliográficas consultadas.
3. Toda la información que contiene la tesis no ha sido auto plagiada;
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumo bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de mi accionar, sometiéndome a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín.

Tarapoto, 17 de abril del 2024.

  
  
**Marco Antonio Ramírez Pérez**  
DNI N° 72941636

## Ficha de identificación

<p><b>Título del proyecto</b></p> <p>Disponibilidad hídrica de la cuenca Rumiyacu para el abastecimiento poblacional de la ciudad Moyobamba utilizando el modelo hidrológico determinístico.</p>	<p><b>Área de investigación:</b> Ciencia y Tecnología Ambiental</p> <p><b>Línea de investigación:</b> Hidráulica y Saneamiento Ambiental</p> <p><b>Sublínea de investigación:</b> Abastecimiento de Agua para Consumo Humano</p> <p><b>Grupo de investigación:</b> Hidráulica y Saneamiento Básico (Resolución N° 137-2023-UNSM/CF/FE)</p> <p><b>Tipo de investigación:</b> Aplicada</p>
<p><b>Autor:</b></p> <p><b>Marco Antonio Ramírez Pérez</b></p>	<p>Facultad de Ecología Unidad de Posgrado</p> <p><a href="https://orcid.org/0000-0003-1511-1996">https://orcid.org/0000-0003-1511-1996</a></p>
<p><b>Asesor:</b></p> <p><b>Ing. M.Sc. Marcos Aquiles Ayala Díaz</b></p>	<p><b>Dependencia local de soporte:</b></p> <p>Facultad de Ecología Unidad de Posgrado</p> <p><a href="https://orcid.org/0000-0001-6391-7981">https://orcid.org/0000-0001-6391-7981</a></p>
<p><b>Coasesor:</b></p> <p><b>Lic. Dr. Fabián Centurión Tapia</b></p>	<p><b>Contraparte científica:</b></p> <p>Facultad o Institución: Ecología Unidad o Laboratorio: Ingeniería Sanitaria País: Perú</p> <p><a href="https://orcid.org/0000-0003-2213-1856">https://orcid.org/0000-0003-2213-1856</a></p>



## **Dedicatoria**

Dedico este informe a aquel que guía mis pasos y fortalece mi camino con Su luz divina. A Dios, fuente inagotable de inspiración y fortaleza, gracias por ser mi guía constante.

A mi mujer y mi hijo, por ser el motor y motivo para seguir adelante día a día, venciendo siempre las adversidades.

**Marco Antonio Ramírez Pérez**

## **Agradecimientos**

Quisiera expresar mi profunda gratitud a mi amada esposa Gina Hidalgo por su apoyo incondicional y amor constante. Tu paciencia y aliento fueron fundamentales en cada etapa de este proceso.

A mis padres Carlomagno y Albina, quienes siempre creyeron en mí y me brindaron su inquebrantable respaldo. Sus sacrificios y enseñanzas son la base de mis logros.

Además, agradezco a Dr. Fabian Centurión y Ing. Marcos Ayala, por su valioso aporte y colaboración en este proyecto.

Este informe no solo representa mi esfuerzo individual, sino también el resultado del apoyo desinteresado de aquellos que han estado a mi lado. Gracias a todos los que han contribuido de alguna manera.

## Índice general

Ficha de identificación.....	7
Dedicatoria.....	8
Agradecimientos .....	9
Índice general.....	10
Índice de tablas.....	12
Índice de figuras.....	13
RESUMEN.....	14
ABSTRACT .....	15
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN .....	16
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	19
2.1. Antecedentes de la investigación .....	19
2.2. Fundamentos teóricos.....	23
2.2.1. Gestión de los recursos hídricos.....	23
2.2.2. Balance Hídrico. ....	24
2.2.3. Disponibilidad hídrica.....	24
2.2.4. Estimación del volumen medio anual de escurrimiento. ....	25
2.2.5. Determinación de la oferta hídrica en la cuenca (OHT) .....	25
2.2.5 Caudales de diseño .....	26
2.2.6 Polígono de Thiessen. ....	27
2.2.7 Abastecimiento poblacional. ....	27
2.2.8. Pendiente de la cuenca .....	27
2.2.9. Índice de compacidad o coeficiente de Gravelius (Ic) .....	28
2.2.10 Clasificación de pendientes en una cuenca .....	28
2.2.11. Curva hipsométrica. ....	28
2.2.12 La pendiente media ponderada (Smp).....	28
2.2.13 Periodo de retorno (T).....	29
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS .....	30
3.1. Ámbito y condiciones de la investigación .....	30
3.1.1 Contexto de la investigación .....	30
3.1.2 Periodo de ejecución .....	30
3.1.3 Autorizaciones y permisos .....	30
3.1.4 Control ambiental y protocolos de bioseguridad .....	30

3.1.5 Aplicación de principios éticos internacionales .....	30
3.2. Sistema de variables .....	30
3.2.1 Variables principales.....	30
3.3 Procedimientos de la investigación .....	31
3.3.1. Determinación de la demanda hídrica de la ciudad de Moyobamba.....	31
3.3.2. Determinación de la oferta hídrica de la cuenca Rumiyacu .....	32
3.3.3. Evaluación del balance hídrico de la cuenca Rumiyacu .....	32
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
4.1. Determinación de la demanda hídrica de la ciudad de Moyobamba .....	33
4.2. Determinación de la oferta hídrica de la cuenca Rumiyacu.....	35
4.3. Evaluación del balance hídrico de la cuenca Rumiyacu .....	44
CONCLUSIONES .....	60
RECOMENDACIONES .....	62
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	63
ANEXOS .....	70

## Índice de tablas

Tabla 1 Clasificación de pendiente de cuenca .....	28
Tabla 2 Descripción de variables por objetivo específico .....	31
Tabla 3 Cantidad de habitantes abastecidos por sistema de agua potable .....	33
Tabla 4 Caudal producido y demanda de consumo .....	33
Tabla 5 Parámetros geomorfológicos de la cuenca.....	35
Tabla 6 Datos de las estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio .....	35
Tabla 7 Datos históricos de precipitación estación meteorológica Jepelacio.....	36
Tabla 8 Valores máximos, mínimos y medios de la precipitación anual .....	37
Tabla 9 Información necesaria para calcular la oferta hídrica .....	38
Tabla 10 Caudales de oferta hídrica ( $m^3 \cdot s^{-1}$ ) .....	38
Tabla 11 Caudales promedios mensualizados ( $m^3 \cdot s^{-1}$ ).....	39
Tabla 12 Caudal efectivo ( $m^3/mes$ ) .....	40
Tabla 13 Tiempo de retorno y probabilidad de ocurrencia.....	41
Tabla 14 Datos de caudal real y teórico .....	43
Tabla 15 Balance hídrico elaborado con caudales mínimos ( $Q_{min}$ ).....	44
Tabla 16 Balance hídrico elaborado con caudales medios ( $Q_{med}$ ).....	45
Tabla 17 Balance hídrico elaborado con caudales máximos ( $Q_{max}$ ) .....	46
Tabla 18 Evaluación de la disponibilidad hídrica con caudal mínimo y caudal ecológico .....	49
Tabla 19 Evaluación de la disponibilidad hídrica con caudal medio y caudal ecológico .....	50
Tabla 20 Evaluación de la disponibilidad hídrica con caudal máximo y caudal ecológico .....	51

## Índice de figuras

Figura 1. Gráfica de sección longitudinal.....	25
Figura 2. Grafica del perfil de un río .....	26
Figura 3. Cálculo de área promedio .....	26
Figura 4. Representación de una curva hipsométrica .....	28
Figura 5. “Grafica de la pendiente media y media ponderada de un cauce” .....	29
Figura 6. Gráfica de la demanda de agua de la ciudad de Moyobamba.....	34
Figura 7. Curva de precipitación anual de la cuenca Rumiycu .....	38
Figura 8. Curva del caudal promedio mensual .....	39
Figura 9. Caudal de ocurrencia .....	42
Figura 10. Comparación de caudales (teórico y real) .....	43
Figura 11. Caudales de ocurrencia de la cuenca Rumiycu. A) Caudal mínimo. B) Caudal medio. C) Caudal máximo. ....	47
Figura 12. Grafica de la Curva Hipsométrica y Frecuencia de Altitudes.....	48
Figura 13. Disponibilidad hídrica de la cuenca Rumiycu. A) Caudal mínimo. B) Caudal medio. C) Caudal máximo .....	52



## RESUMEN

Disponibilidad hídrica de la cuenca Rumiyacu para el abastecimiento poblacional de la ciudad Moyobamba utilizando el modelo hidrológico determinístico

El desarrollo demográfico impacta las fuentes hídricas, afectando la disponibilidad de agua esencial para la subsistencia y el crecimiento económico. A nivel mundial, la demanda excesiva de agua agota los recursos, afectando especialmente a zonas urbanas. Perú, a pesar de tener abundantes recursos hídricos, enfrenta desafíos debido a su distribución geográfica. Moyobamba, específicamente, enfrenta reducciones en el suministro de agua, y se busca evaluar la disponibilidad hídrica mediante un modelo hidrológico para informar la toma de decisiones. El objetivo general fue evaluar la disponibilidad hídrica de la cuenca Rumiyacu para el abastecimiento poblacional de la ciudad de Moyobamba utilizando el modelo hidrológico determinístico. El estudio se desarrolló en la cuenca Rumiyacu, distrito de Moyobamba, provincia de Moyobamba, ejecutándose de marzo hasta setiembre del 2022. La investigación de tipo aplicada, con nivel correlacional. Para determinar el valor de la demanda hídrica se contó con el estudio tarifario (2021-2026) de la EPS Moyobamba SA. Para el cálculo de la oferta hídrica se realizó la caracterización topográfica y geomorfológica de la cuenca. El balance hídrico se realizó con el modelamiento hidrológico determinístico, considerando diversos escenarios hidrológicos. Los resultados han demostrado que la demanda hídrica de la población de Moyobamba fue de  $0,130 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} <> 129,93 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ . La oferta hídrica fue en tres escenarios: i) Caudal máximo ( $Q_{\text{max}}$ ) con  $0,203 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , ii) Caudal medio ( $Q_{\text{med}}$ ) con  $0,107 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , y i) Caudal mínimo ( $Q_{\text{min}}$ ) con  $0,028 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . El balance y la disponibilidad hídrica evidencian que para los caudales mínimos y medios existe déficit hídrico, o sea, la demanda es mayor a la oferta. Para caudales mínimos existe un porcentaje de excedencia promedio de aproximadamente  $-359,88\%$ , mientras que para los caudales medios es  $-21,05\%$ . Para caudales máximos, el porcentaje de excedencia es positivo con un valor de  $35,89\%$ . La investigación revela patrones estacionales en la oferta hídrica de la cuenca Rumiyacu. El balance hídrico destaca meses críticos y excedentes. La evaluación de disponibilidad hídrica muestra la capacidad de la cuenca para satisfacer demandas, considerando caudales mínimo, medio y máximo. Estos hallazgos subrayan la importancia de la gestión adaptativa y el monitoreo continuo para abordar desafíos en el uso sostenible del agua en la cuenca Rumiyacu.

**Palabras clave:** Agua, población, superávit, déficit, Rumiyacu.

## ABSTRACT

Water availability of the Rumiycu watershed for the population supply of the city of Moyobamba using the deterministic hydrological model

Population growth impacts water sources, affecting the availability of water that is essential for subsistence and economic growth. Globally, excessive demand for water depletes resources, especially affecting urban areas. Peru, despite having abundant water resources, faces challenges due to its geographic distribution. More specifically, Moyobamba is facing reductions in water supply, and the purpose of this study was to evaluate water availability using a hydrological model to inform decision making. The overall objective was to evaluate the water availability of the Rumiycu watershed for the population supply of the city of Moyobamba using the deterministic hydrological model. The study was carried out in the Rumiycu basin, district of Moyobamba, province of Moyobamba, from March to September 2022. The research was applied, with a correlational level. To determine the value of the water demand, the tariff study (2021-2026) of the EPS Moyobamba SA was used. The topographic and geomorphological characterization of the basin was used to calculate the water supply. The water balance was calculated using deterministic hydrological modeling, considering different hydrological scenarios. The results showed that the water demand of the population of Moyobamba was  $0.130 \text{ m}^3.\text{s}^{-1} \leftrightarrow 129.93 \text{ L}.\text{s}^{-1}$ . The water supply was in three scenarios: i) maximum flow ( $Q_{\max}$ ) with  $0.203 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ , ii) average flow ( $Q_{\text{med}}$ ) with  $0.107 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ , and i) minimum flow ( $Q_{\min}$ ) with  $0.028 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ . The water balance and availability show that there is a water deficit for the minimum and average flows, i.e., the demand is greater than the supply. For minimum flows an average exceedance percentage of approximately -359.88% exists, while for average flows it is -21.05%. For maximum flows, the percentage of excess is positive with a value of 35.89%. The study reveals seasonal patterns in the water supply of the Rumiycu watershed. The water balance highlights critical and surplus months. The water availability assessment shows the watershed's capacity to meet demands, considering minimum, average and maximum flows. These findings underscore the importance of adaptive management and continuous monitoring to address challenges in sustainable water use in the Rumiycu watershed.

**Keywords:** Water, population, surplus, deficit, Rumiycu.



## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN

El crecimiento demográfico ha sido un factor determinante en las transformaciones del entorno, especialmente afectando a los recursos hídricos (Li et al., 2020). El agua, recurso vital para el sustento humano y el progreso económico, está sometida a una demanda cada vez mayor como consecuencia de la expansión demográfica y los esfuerzos económicos. Sin embargo, esta demanda creciente se ve contrarrestada por una disminución en la disponibilidad del recurso, influenciada por la deforestación y prácticas agrícolas inapropiadas en las áreas de captación de aguas (Yang et al., 2021). En México, la distribución del recurso hídrico no se ajusta adecuadamente a la densidad poblacional. En promedio, cada habitante cuenta con aproximadamente 4 028 metros cúbicos de agua renovable al año. No obstante, se observan marcadas disparidades entre las regiones del sureste y el norte del país. Mientras algunas áreas enfrentan una evidente escasez de agua, otras son propensas a inundaciones recurrentes, ocasionando daños a la infraestructura comunitaria (Consejo Consultivo del Agua, 2017).

La evaluación de la disponibilidad individual de agua plantea la posibilidad de una futura crisis, especialmente considerando que la población y las principales actividades económicas se concentran en áreas con una oferta hídrica naturalmente limitada en Colombia. Esta situación ya está generando disputas en torno a su uso y distribución. A nivel global, Colombia se sitúa en el puesto 24 de 203 países en términos de disponibilidad per cápita de agua. En comparación, países como Singapur, Malta, Qatar y Bahamas ocupan las últimas posiciones, con disponibilidades per cápita inferiores a 150 m<sup>3</sup> por habitante al año (Angulo, 2019).

Las pruebas de la investigación sugieren la existencia de contaminación en el agua, lo que indica que no cumple los criterios necesarios para ser utilizada en su estado original. La contaminación del agua se refiere a cualquier alteración en la composición o el estado del agua causada por actividades humanas, ya sea directa o indirectamente. Desde esta perspectiva, la evolución de este recurso tendrá un impacto significativo en la gestión de diversas enfermedades relacionadas con el agua. Se estima que alrededor de cuatro billones de casos de diarrea ocurren anualmente en todo el mundo debido a la disponibilidad y calidad del agua potable (Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 2023).

La escasez de agua es uno de los problemas socioambientales más significativos en los asentamientos humanos en términos de la calidad de este recurso. Este desafío se

destaca por un acceso desigual y está estrechamente relacionado con problemas sociales. Además, no está limitado por la magnitud de la población o el tamaño de los asentamientos, ya que se observa tanto en comunidades pequeñas como en aquellas de tamaño mediano o grande (García, 1996).

Los desafíos ambientales adquieren una dimensión crítica a nivel mundial debido al uso indiscriminado de los recursos naturales por parte del ser humano. El agua, como uno de estos recursos, refleja esta problemática a nivel nacional y regional, especialmente en las zonas elevadas de los Andes venezolanos. La disponibilidad y el suministro futuro de este recurso se ven amenazados debido a esta situación (Montilla, 2007). Después del oxígeno, el agua es uno de los recursos naturales más cruciales, ya que juega un papel vital en la preservación de la vida. A menudo se percibe de manera errónea como un recurso ilimitado, pero la realidad es diferente. La creciente demanda mundial está ejerciendo una presión excesiva sobre las fuentes de agua existentes, especialmente en las ciudades desarrolladas y en desarrollo, lo que resulta en un suministro deficiente en algunas áreas (Gil-Mora et., 2022).

Hoy en día, el agua se ha convertido en un recurso de gran valor, y frecuentemente surgen desafíos en cuanto a su gestión y asignación. Los conflictos suelen surgir, principalmente, debido a cuestiones relacionadas con la cantidad de agua disponible en una determinada cuenca (Urtega, 2013).

De acuerdo con estudios recientes, el Perú se posiciona en el octavo lugar a nivel mundial en cuanto a disponibilidad de agua, representando cerca del 2% de las reservas de agua dulce del planeta. Se estima que la cantidad anual de agua disponible por habitante es de aproximadamente 59 mil metros cúbicos. A pesar de esta relativa abundancia, muchas regiones del país enfrentan desafíos de escasez hídrica (Carrascal y Londoño, 2022). El territorio peruano, de 1.285.216 kilómetros cuadrados, está situado en la costa occidental de Sudamérica. Se caracteriza por la influencia de la corriente de Humboldt, también conocida como corriente peruana, así como por la presencia de la cordillera de los Andes y la selva amazónica. “La población de Perú es de aproximadamente 28.220.764 millones de habitantes. Estos factores contribuyen a la variación del clima y a la desigual distribución de los recursos hídricos en la nación” (Kuroiwa, 2010).

“El crecimiento económico y demográfico experimentado por la sociedad peruana en los últimos años ha generado mayor demanda de agua, esto está llevando a una creciente escasez del recurso, especialmente en regiones con intensas actividades productivas y rápido crecimiento poblacional” (Panfichi y Coronel, 2011). En la zona central y norte del país, donde reside aproximadamente un tercio de la población y se genera la mayor parte del Producto Bruto Interno (PBI), solo se dispone de alrededor del 32% del agua

renovable disponible. En contraste, en la región sur, que cuenta con el 68% del agua, solo vive el 23% de la población y contribuye con el 21% del PBI nacional. Se proyecta que hacia el año 2030, el Perú enfrentará significativas repercusiones de la escasez de agua. Sedapal ha informado que, en Lima, 720 mil residentes sufren de escasez de agua potable en sus hogares, a pesar de lo cual, hay poca conciencia sobre el uso de este recurso. En promedio, un habitante de Lima consume 251 litros de agua al día, una cantidad que duplica la necesaria para un ciudadano promedio de Francia o Suiza en el mismo período (Sybila, 2013).

En Moyobamba la quebrada Rumiyacu está reduciendo su volumen de agua por diferentes factores ambientales y esto afecta significativamente al abastecimiento poblacional generando cortes en el servicio de agua potable e incomodidad en los usuarios; es por ello que se busca evaluar la disponibilidad hídrica de la cuenca Rumiyacu para el abastecimiento poblacional utilizando el modelo hidrológico determinístico; ya que es probable mediante este método se obtendría resultados que benefician en la toma de decisiones para el aprovechamiento hídrico de la quebrada, prevención de caudales máximos y conservación del agua. Es por ello que el problema se refleja en la siguiente pregunta; ¿Se puede evaluar la disponibilidad hídrica de la cuenca Rumiyacu para el abastecimiento poblacional en la ciudad de Moyobamba utilizando el modelo hidrológico determinístico?, también se han planteado un objetivo general que es evaluar la disponibilidad hídrica de la cuenca Rumiyacu para el abastecimiento poblacional de la ciudad de Moyobamba utilizando el modelo hidrológico determinístico, el mismo que cuenta con tres objetivos específicos que se muestran a continuación; determinar la demanda hídrica de la ciudad de Moyobamba, determinar la oferta hídrica de la cuenca Rumiyacu y evaluar el balance hídrico de la cuenca Rumiyacu.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de la investigación**

##### **A nivel internacional**

Alvarez (2018), en su investigación titulada "Disponibilidad y Demanda de los Recursos Hídricos Superficiales: Estudio de Caso de la Subcuenca Zamora Huayco, Ecuador", las variables estudiadas tienen una asociación significativa, como lo demuestra un número de curva de 70 y un coeficiente de eficiencia de Nash de 0,61%. Se prevé que el caudal producido en las microcuencas cubra las necesidades de agua potable de la ciudad de Loja, que ascienden a 17.585.583 metros cúbicos anuales. Para 2040, está previsto que cada residente disponga de una dotación de 100 litros diarios, de acuerdo con las normas establecidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización de las Naciones Unidas (ONU). Aunque parece haber un exceso de agua, la investigación indica que hay una cantidad significativa de agua que se pierde y se filtra del sistema de distribución de agua potable, que asciende al 58,3%. Esto supera el límite establecido por la RAS. Este descubrimiento pone de manifiesto la necesidad de hacer frente con prontitud y eficacia a las pérdidas y fugas para garantizar la gestión sostenible del abastecimiento de agua.

Izabá y García (2019), llevaron a cabo un estudio bajo el título "Estimación de la disponibilidad hídrica superficial en la microcuenca del río Mapachá, San Lorenzo, Boaco". Se enfocaron en factores como la geología, el uso del suelo y las actividades humanas que influyen en la disponibilidad de agua. Mediante análisis hidrológicos y geológicos, mediciones de caudal y pruebas de infiltración, calcularon la disponibilidad hídrica utilizando el Balance Hídrico de Suelo (BHS). Los resultados mostraron que la evapotranspiración real, la escorrentía superficial y la recarga potencial son las principales pérdidas de agua, representando una proporción significativa de la precipitación total. La disponibilidad anual de agua era de 0,30 millones de metros cúbicos, lo que provocaba una ausencia total de caudal base en los principales ríos. Los investigadores determinaron que la reposición de la reserva de agua subterránea y el flujo continuo de agua en los ríos se ven afectados por los factores ambientales dentro de la pequeña zona geográfica.

Trujillo (2018), en su investigación "Evaluación del impacto de escenarios de cambio climático en la disponibilidad de agua superficial en la cuenca del río Saldaña", destaca cómo las fluctuaciones climáticas a nivel global han afectado significativamente las



condiciones meteorológicas, incluyendo la precipitación, temperatura y caudal de los ríos en las cuencas hidrográficas. Se centra en la cuenca del río Saldaña, situada en el Tolima, una región agrícola altamente susceptible a estos cambios. El objetivo principal de su estudio es evaluar cómo estas variaciones climáticas están influyendo en la disponibilidad de agua superficial en la cuenca, utilizando las proyecciones proporcionadas por el IDEAM. A través del modelo hidrológico TETIS, lleva a cabo simulaciones que incorporan los cambios esperados en temperatura y precipitación. Los hallazgos adquiridos son muy significativos para la gestión integral del recurso hídrico en el Tolima, ya que proporcionan información vital sobre la disponibilidad del agua para fines esenciales como el consumo humano y la agricultura.

### **A nivel nacional**

Palomino (2022), en su investigación busca identificar patrones de desempeño del sector público en las regiones del Perú (2007-2019) mediante análisis de series de tiempo conglomeradas. Se emplearon indicadores de frontera de posibilidades de producción y distancia de deformación del tiempo, con Silueta y Calinski para determinar conglomerados. Destaca la eficiencia de regiones como Moquegua, Ica y Lima, contrastando con la ineficiencia de otras como Ayacucho y Huancavelica. Se observa una subdivisión predominante en dos conglomerados a nivel sectorial y global. Este estudio ofrece una visión detallada del desempeño regional, informando posibles políticas y estrategias de desarrollo, y recomienda investigaciones adicionales para comprender factores influyentes y replicar el análisis en otros contextos.

León et al. (2019), en su estudio "Simulación de la disponibilidad de agua del río Piura, Perú", lograron modelar con éxito la escurrentía superficial para diferentes escenarios climáticos proyectados hasta el año 2050. La mayoría de los resultados indican una disminución anual promedio del 12 % en la escurrentía, excepto en el escenario HADGEM2 – ES RCP 8,5, que muestra un aumento del 4 %. El modelo utilizado permite proyectar estas reducciones específicamente por estación, revelando incrementos en la temporada húmeda y reducciones en la estación seca, fenómeno que se intensifica con el paso del tiempo. Las estimaciones indican que habrá un aumento medio del 71,8% en la escurrentía mensual durante la estación lluviosa y un descenso medio del -66,1% en la estación seca. La investigación no establece una correlación clara entre temperatura, evapotranspiración y escurrentía. Sin embargo, pone de relieve la influencia del cambio climático en la cuenca del río Piura. Las insuficientes precipitaciones del invierno pueden aumentar la necesidad de agua, sobre todo para usos agrícolas y urbanos, poniendo así en peligro el equilibrio ecológico y dificultando la ejecución de las próximas iniciativas de infraestructuras hídricas. En resumen, se

insiste en que la aplicación de medidas preventivas, como los sistemas de alerta temprana y la gestión adecuada de los embalses, es crucial para hacer frente a las dificultades actuales y futuras de la cuenca.

Meléndez (2019), en su investigación "Simulación hidrológica distribuida de la cuenca del río Lurín a escala diaria", destacan las fluctuaciones anuales de las precipitaciones, la evapotranspiración y el caudal en la cuenca del río Lurín, con valores que oscilan entre 8 y 1174 mm, 1005 y 1230 mm, y 5,4 y 3,6 m<sup>3</sup>/s, respectivamente, en diferentes altitudes desde lugares bajos a altos. La cuenca está definida principalmente por una combinación de desierto costero y pastizal andino. Los parámetros de conductividad hidráulica del suelo, conductividad hidráulica del acuífero y almacenamiento estático oscilan entre 0,02 y 1,8 mm/h, 0,001 y 0,99 mm/h, y 9,1 y 106,00 mm, respectivamente. Estos valores suelen ser mayores en lugares elevados debido a la presencia de vegetación y a determinadas características del suelo. Se utilizó el análisis de doble masa para realizar correcciones en los datos de precipitaciones recogidos en numerosas estaciones meteorológicas entre septiembre de 1969 y agosto de 2017. El análisis del balance hídrico reveló una deficiencia en los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero. Este déficit puede estar relacionado con el aumento del uso agrícola del agua durante estos meses, que fue el único objeto de la investigación.

En su investigación, Olano (2019), el estudio se centra en la evaluación de la disponibilidad de agua en la cuenca del río Amojú, en Jaén, mediante el modelo determinístico-estocástico de Lutz Scholz. La investigación consta de tres fases: en primer lugar, se han determinado las características físicas y geomorfológicas de la cuenca, y se ha examinado la fiabilidad de los datos meteorológicos para conocer sus patrones hidrológicos. En la segunda fase, se calcularon las precipitaciones medias mensuales y la evapotranspiración de la cuenca. En la tercera fase, se utilizó el modelo de Lutz Scholz para calcular los caudales mensuales accesibles. Esta estimación tuvo en cuenta factores como los coeficientes de escorrentía, la retención de la cuenca y los caudales medios anuales. No obstante, se reconocieron algunos límites debido a la topología de la cuenca.

Quiroz (2019), el presente estudio tiene como objetivo estimar la disponibilidad hídrica de la microcuenca del Jadibamba utilizando el modelo determinístico-estocástico de Lutz Scholz y el volumen transpuesto de la cuenca Tres Ríos. Se delimitó la microcuenca y se calcularon sus características geomorfológicas, fijando el punto de emisión en el puente Tacarpo del río Jadibamba. La precipitación media mensual se calculó mediante la técnica de Isoyetas, a partir de datos pluviométricos recogidos en

cinco estaciones meteorológicas. Se realizó una comparación entre los caudales obtenidos a partir del modelo de Lutz Scholz y el modelo determinístico de transposición de caudales para los meses de mayo a septiembre, y los caudales registrados durante los mismos meses. Finalmente, se concluyó que el modelo determinístico-estocástico de Lutz Scholz es el más adecuado para representar los caudales observados en la microcuenca Jadibamba en 2017.

Yshpilco (2019), el objetivo de este estudio fue evaluar la disponibilidad de recursos hídricos en la microcuenca del río Llantén en el distrito de Catilluc, provincia de San Miguel - Cajamarca. Para ello se utilizó el modelo determinístico-estocástico de Lutz Scholz. Se calcularon los caudales medios mensuales tanto para el año medio como para un periodo de 40 años que abarca desde el 2018 hasta el 2057. Se identificaron los meses más lluviosos, como marzo, abril, mayo, noviembre y diciembre, con caudales superiores a 2.0 m<sup>3</sup>/s, mientras que julio y agosto presentaron los caudales más bajos, inferiores a 1.0 m<sup>3</sup>/s. Los resultados del modelo mostraron discrepancias significativas en comparación con los caudales mensuales obtenidos mediante aforos con el método de Tubo de Pitot. Además, se realizó una estimación de la disponibilidad hídrica por niveles de persistencia para diferentes usos, revelando caudales máximos en marzo y mínimos en agosto para aplicaciones agrícola-pecuarias, doméstico-poblacionales, industriales y hidroenergéticas.

### **A nivel local**

Sabino et al. (2022), llevaron a cabo una investigación titulada "Evaluación hidrológica para fines de riego en la subcuenca del río Tumbaro - región de San Martín". El objetivo principal fue estimar el recurso hídrico superficial mediante un análisis hidrológico de la subcuenca del río Tumbaro para evaluar su disponibilidad hídrica para usos agrícolas. El enfoque de la investigación fue cuantitativo, con un diseño no experimental y un nivel explicativo. Los caudales disponibles en la subcuenca del río Tumbaro se determinaron a diferentes niveles de persistencia, siendo 8,63 m<sup>3</sup>/seg al 5 %, 7,61 m<sup>3</sup>/seg al 10 %, 5,31 m<sup>3</sup>/seg al 30 %, 3,95 m<sup>3</sup>/seg al 50 %, 2,85 m<sup>3</sup>/seg al 75 %, 2,53 m<sup>3</sup>/seg al 85 %, 2,39 m<sup>3</sup>/seg al 90 %, 2,26 m<sup>3</sup>/seg al 95 %, y 2,17 m<sup>3</sup>/seg al 99 %. Asimismo, se calculó un caudal específico para fines agrícolas en la subcuenca del río Tumbaro utilizando un modelo adimensional, resultando en 2,85 m<sup>3</sup>/seg.

Ramírez (2018), en su estudio sobre la quebrada Santa Clara y su uso poblacional, destaca la presencia de excedentes de agua en los tres escenarios analizados: caudales mínimos, medios y máximos. La disponibilidad hídrica sin proyecto presenta fluctuaciones, alcanzando cifras de 343,755 m<sup>3</sup>/año, 1 292,220 m<sup>3</sup>/año y 2 748,820

m<sup>3</sup>/año, respectivamente, mientras que las asignaciones de agua para el proyecto se mantienen constantes en 11,029 m<sup>3</sup>/año en todos los casos. Estos hallazgos sugieren la viabilidad de utilizar la fuente de abastecimiento para cubrir las necesidades de la población en el punto de captación de la quebrada Santa Clara. Sin embargo, los análisis de laboratorio revelan alteraciones en los parámetros microbiológicos del agua, con niveles de coliformes totales y fecales que exceden los límites establecidos por el D.S. N° 004-2017-MINAM. Por consiguiente, se recomienda la implementación de un tratamiento de potabilización centrado en la desinfección. Dadas las condiciones climáticas, características del suelo y cobertura vegetal, se aconseja considerar la aplicación de pre-tratamientos adicionales para evitar interrupciones en el servicio y garantizar la calidad del agua.

Díaz (2017), en su trabajo de investigación titulado "Determinación de la disponibilidad hídrica superficial mediante balance hídrico en la Cuenca del Río Cumbaza-San Martín, 2016", concluye que, la cuenca del río Cumbaza, de 571,2 km<sup>2</sup>, se caracteriza por su forma alargada, entre ovalada y rectangular, y por su propensión a las inundaciones graduales y prolongadas. La altitud de la cuenca oscila entre 200 y 1.800 metros sobre el nivel del mar. Además, la cantidad de precipitaciones es constante a lo largo de los 12 meses del año, con un total medio anual de 1487,5 mm. La cuenca tiene una oferta media de agua de 5,37 m<sup>3</sup>/s y una demanda media de agua de 3,13 m<sup>3</sup>/s, lo que da como resultado un excedente medio de 2,28 m<sup>3</sup>/s. Cabe mencionar que este exceso se presenta de forma constante a lo largo del año, oscilando entre un mínimo de 1,14 m<sup>3</sup>/s en agosto y un máximo de 3,72 m<sup>3</sup>/s en enero.

## **2.2. Fundamentos teóricos**

### **2.2.1. Gestión de los recursos hídricos**

La gestión de los recursos hídricos conlleva la implementación de proyectos y acciones destinadas a conservar y utilizar el agua de manera eficiente. Este enfoque busca establecer complementariedades y disminuir conflictos entre diversos usos del recurso. Cuando se abordan y resuelven los problemas identificados en el uso del agua de manera holística, se denomina gestión integrada de los recursos hídricos (Balairón, 2021).

La gestión de la cuenca se refiere al conjunto de acciones dirigidas a utilizar, administrar, restaurar, proteger y conservar los recursos naturales, empleando enfoques integrales y socioambientales, donde el agua desempeña un papel fundamental como recurso unificador en la cuenca (Garros y Safar, 2020). La cogestión se refiere a un proceso de

colaboración en el que diversos actores locales, incluyendo gobiernos locales, entidades privadas, organizaciones no gubernamentales e instituciones nacionales, trabajan juntos para tomar decisiones e implementar estrategias y acciones que promuevan la sostenibilidad en la gestión de las cuencas hidrográficas. “El objetivo principal es aunar esfuerzos para obtener resultados sostenibles en la administración de estos sectores” (García, 2009).

### **2.2.2. Balance Hídrico.**

El balance hídrico es un instrumento básico que sirve para el cálculo de disponibilidad de agua en las cuencas hidrológicas, sus componentes facilitan el análisis de los elementos relevantes que están relacionados directamente con el sistema hidráulico de la cuenca. El estudio del balance hidráulico describe el comportamiento de las magnitudes importantes de la cuenca, como la disponibilidad del agua natural, explotación de acuíferos, fugas en las redes de abastecimiento, etc. (Ruiz et al., 2012).

La evaluación del balance hídrico implica la medición y suma de los flujos de entrada y salida de una cuenca, junto con su consumo y retorno, con el fin de calcular la variación del volumen de agua a lo largo del período analizado. Este proceso requiere una amplia gama de datos estadísticos y geográficos de la cuenca, que incluyen información sobre la elevación del terreno, precipitación, temperatura, tasas de evaporación, así como detalles sobre el tipo de suelo, uso de la tierra y cobertura vegetal, y la eficiencia en los procesos de distribución y tratamiento del agua. Además, algunos aspectos del balance hídrico se estiman en lugar de medirse directamente, como aquellos relacionados con fenómenos hidrológicos como la lluvia, la evapotranspiración y la infiltración. Esto introduce cierta incertidumbre en la evaluación de la disponibilidad de agua, ya que existen diversos algoritmos para calcular estos volúmenes. Por lo tanto, es crucial contar con métodos estandarizados para obtener los componentes del balance hídrico en las cuencas, ya que la selección y desarrollo de los algoritmos para determinar los volúmenes de agua están estrechamente vinculados a la disponibilidad de datos (García, 2009). La ecuación general del balance hídrico se presenta en el anexo 5 (Fórmula 1).

### **2.2.3. Disponibilidad hídrica.**

“Es la disponibilidad de agua en la cuenca hidrográfica se refiere al volumen total de agua que ya ha caído sobre ella y que puede ser utilizada para diversos fines, como riego, generación de energía eléctrica y abastecimiento de agua potable” (Senamhi, 2017).

#### 2.2.4. Estimación del volumen medio anual de escurrimiento.

Martínez et al. (2015), sugieren que al analizar una cuenca, considerando aspectos como las pendientes principales, la configuración de la red de drenaje, la vegetación presente, la permeabilidad del suelo y otros datos relevantes, es posible determinar el coeficiente de escurrimiento adecuado para cada caso particular. Esto puede lograrse mediante el uso de tablas de datos experimentales obtenidos de la literatura o comparando información de cuencas similares a la que se está estudiando. En situaciones donde no se disponga de suficiente información sobre la cuenca en cuestión, se pueden aplicar prácticas hidrológicas convencionales que suelen utilizar un coeficiente estándar de "0,12".

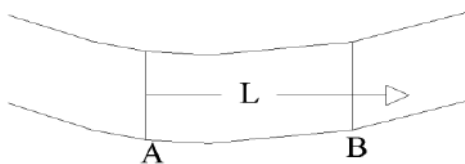
El volumen promedio de escorrentía se calcula teniendo en cuenta el impacto diverso de las distintas combinaciones de suelos y plantas que se encuentran en una cuenca hidrográfica, utilizando el coeficiente de escorrentía. La fórmula para calcular este valor está disponible en el anexo 5 (fórmula 2).

#### 2.2.5. Determinación de la oferta hídrica en la cuenca (OHT)

Según Arrueta (2009), la oferta hídrica total para un período de un año se calcula utilizando la Fórmula 3, como se muestra en el Anexo 5. Se recomienda disponer de una serie temporal de al menos 10 años que contenga datos mensuales de precipitación. Esto facilitaría establecer con mayor precisión un patrón promedio en los resultados de la OHT, como se indica en la Fórmula 4 del Anexo 5.

#### 2.2.4 Aforos con flotadores.

El método propuesto por Villón (2002) ofrece una manera práctica de estimar el caudal de un curso de agua utilizando el método de aforo con flotadores. "Este enfoque implica la medición de la velocidad superficial ( $v$ ) de la corriente y el área de la sección transversal ( $A$ ). Posteriormente, aplicando la ecuación de continuidad con estos valores", se puede calcular el caudal utilizando la Fórmula 5 del Anexo 5. Para realizar este proceso de aforo de manera efectiva, se sugiere seleccionar idealmente una sección recta del cauce con una longitud  $L$ .



**Figura 1**  
Gráfica de sección longitudinal



### Medida de la velocidad superficial de la corriente

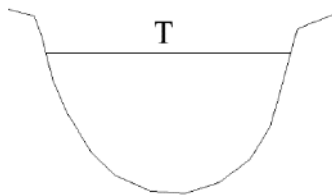
Para calcular la velocidad, se procede de la siguiente manera: primero, se mide la longitud (L) del tramo AB. Luego, se registra el tiempo (T) que tarda el desplazamiento del flotador a lo largo de este tramo. Finalmente, se calcula la velocidad superficial dividiendo la longitud del tramo por el tiempo registrado.

### Cálculo del área promedio del tramo

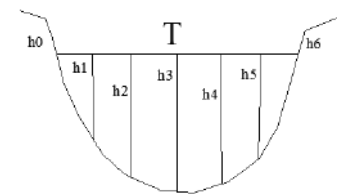
Para calcular el área promedio del tramo, sigue estos pasos: i) calcula el área en la sección A ( $A_a$ ), luego calcula el área en la sección B ( $A_b$ ), y ii) finalmente obtén el promedio de estas dos áreas.

#### 2.2.4.3 Cálculo del área en una sección.

Para determinar el área en una sección, puedes seguir estos pasos: primero, mide la longitud del cuerpo de agua (T); después, divídela en intervalos de cinco o diez partes, tomando medidas en cada 0.20, 0.30, 0.50, etc.; registra la profundidad en ambos extremos de cada intervalo. Luego, calcula el área promedio para cada segmento utilizando el método del trapecio.



**Figura 2**  
Grafica del perfil de un río



**Figura 3**  
Cálculo de área promedio

#### 2.2.5 Caudales de diseño

En un proyecto de suministro de agua potable, es crucial considerar los caudales fundamentales, que comprenden el caudal medio diario ( $Q_m$ ), el caudal máximo diario

(Q máx. d) y el caudal máximo horario (Q máx.). Estos caudales se determinan mediante relaciones específicas en los cálculos.

$$Q_m = \frac{\text{"modulo de consumo x poblaciones futura"}}{\text{"86,400 seg (24 hrs)"}}$$

Este método se emplea para estimar la demanda de servicios de agua y saneamiento en proyectos relacionados con la población (García, 2009).

### **2.2.6 Polígono de Thiessen.**

El método del Polígono de Thiessen, como menciona Villón (2002), demanda una precisa ubicación de las estaciones en el área de estudio. Es esencial delimitar cuidadosamente la extensión de influencia de cada estación dentro del conjunto total de estaciones disponibles para su aplicación efectiva. El procedimiento se desglosa en los siguientes pasos: distribuir estaciones tanto dentro como fuera de la cuenca, conectarlas formando triángulos, trazar las mediatrices de los lados para definir polígonos, establecer el área de influencia para cada estación, calcular el área correspondiente a cada estación y, finalmente, determinar la precipitación media. Este último se obtiene calculando la media ponderada de las precipitaciones de cada estación, con la región de impacto correspondiente como factor de ponderación (consultar Fórmula 6 en el Anexo 5).

### **2.2.7 Abastecimiento poblacional.**

La acción o tarea de proveer bienes esenciales a alguien o algo. Cuando esta tarea es realizada por la Administración pública, puede ser considerada como un servicio público, como ocurre en el suministro de agua a la población mediante un sistema integral de infraestructuras diseñadas para captar, transportar, tratar, almacenar y distribuir agua potable a los consumidores, cumpliendo con los estándares de cantidad y calidad establecidos en esta disposición (RAE, 2023).

### **2.2.8. Pendiente de la cuenca**

La pendiente de una cuenca emerge como un parámetro crucial en el análisis exhaustivo de cualquier sistema hidrográfico. De acuerdo con Villón (2002), "no se puede exagerar la naturaleza básica y complicada de su interacción con la infiltración, la escorrentía superficial, la humedad del suelo y la aportación de aguas subterráneas a la escorrentía". Tiene una función crucial en el control del momento de la escorrentía, la concentración de la precipitación en los canales de drenaje y tiene un impacto directo en la intensidad de las inundaciones.

### 2.2.9. Índice de compacidad o coeficiente de Gravelius (Ic)

El Índice de Compacidad o Coeficiente de Gravelius (Ic), según Villón (2002), se determina como la proporción entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo con el mismo área que la cuenca (consultar Fórmula 7 en el Anexo 5).

### 2.2.10 Clasificación de pendientes en una cuenca

Villón (2002) explica que el valor de la pendiente posibilita la clasificación del relieve o topografía del terreno según la Tabla 1.

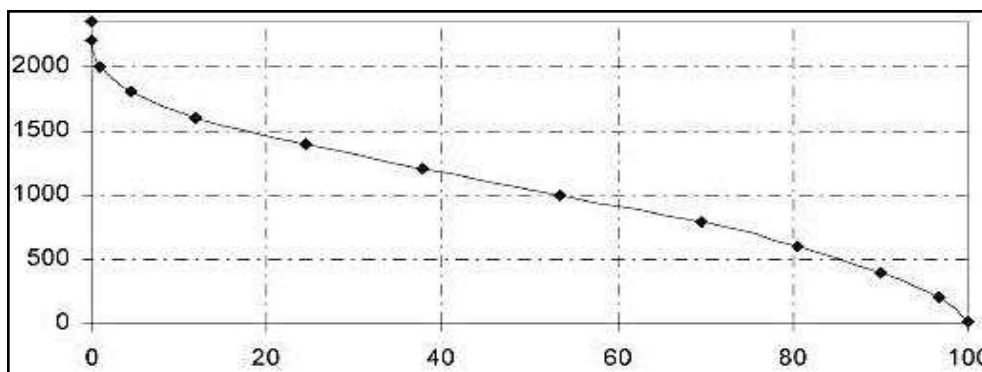
**Tabla 1**

*Clasificación de pendiente de cuenca*

Pendiente (%)	Tipo de terreno
2	Plano
5	Suave
10	Accidentado medio
15	Accidentado
25	Fuertemente accidentado
50	Escarpado
> 50	Muy escarpado

### 2.2.11. Curva hipsométrica.

La curva hipsométrica representa gráficamente el relieve de una cuenca, mostrando el porcentaje de área de la cuenca que se encuentra por encima de una cota específica, expresada en kilómetros cuadrados. Esta representación se realiza en coordenadas rectangulares, como señala Villón (2002).

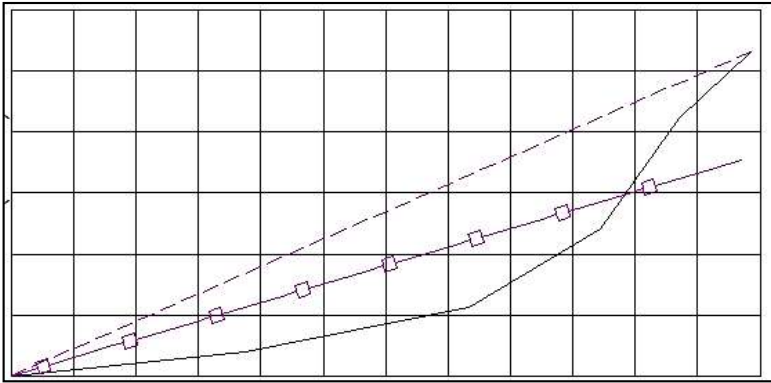


**Figura 4**

Representación de una curva hipsométrica

### 2.2.12 La pendiente media ponderada (Smp)

La pendiente media ponderada (Smp) se describe como la inclinación de la hipotenusa de un triángulo con su vértice en el punto de salida de la cuenca. Esta área se extiende desde la longitud del río hasta la cota mínima del cauce principal, como se ilustra en la figura 5 según la explicación de Villón (2002).



**Figura 5**  
 Grafica de la pendiente media y media ponderada de un cauce

### 2.2.13 Periodo de retorno (T)

El periodo de retorno es un parámetro crucial en el diseño de infraestructuras hidráulicas para resistir eventos de inundación y para estructuras que atraviesan cuerpos de agua. Se define como el intervalo promedio en años (T) entre la ocurrencia de un evento de magnitud específica o superior, interpretado como el inverso de la probabilidad del evento m-ésimo en n registros (Fórmula 8, Anexo 5). El periodo de retorno utilizado para dimensionar una obra varía según su importancia, medida en términos de interés económico, socioeconómico, estratégico o turístico. También se consideran las vías alternativas disponibles y los posibles daños asociados a su fallo, como la pérdida de vidas humanas y los costos de reconstrucción, según lo señalado por Martínez et al. (2015).

## **CAPÍTULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Ámbito y condiciones de la investigación**

##### **3.1.1 Contexto de la investigación**

Cuenca Rumiyacu, distrito de Moyobamba, provincia de Moyobamba, departamento San Martín (Anexo 2).

##### **3.1.2 Periodo de ejecución**

El tiempo de ejecución de la investigación fueron de 6 meses, desde marzo hasta setiembre del 2022.

##### **3.1.3 Autorizaciones y permisos**

No aplica.

##### **3.1.4 Control ambiental y protocolos de bioseguridad**

El desarrollo del proyecto no conlleva riesgo ambiental alguno, los equipos y materiales a utilizar no tienen características de peligrosidad en cuanto a ser corrosivos, explosivos e inflamables. Se tomó en cuenta todas las medidas de bioseguridad frente al COVID 19, a fin de no exponer al equipo de investigadores y colaboradores.

##### **3.1.5 Aplicación de principios éticos internacionales**

Aplicación de principios éticos internacionales: Durante el desarrollo de este trabajo de investigación se practicarán los principios éticos de conducta responsable en investigación.

#### **3.2. Sistema de variables**

##### **3.2.1 Variables principales**

Variable Independiente: Disponibilidad Hídrica

Variable Dependiente: Abastecimiento poblacional

**Tabla 2**  
*Descripción de variables por objetivo específico*

<b>Objetivo específico Nº 1: Determinar la demanda hídrica de los usuarios de la ciudad de Moyobamba.</b>			
Variable abstracta	Variable concreta	Medio de registro	Unidad de medida
Demanda hídrica	Caudal requerido	Fichas de evaluación	L.s <sup>-1</sup>
	Volumen requerido	Tablas y figuras	m <sup>3</sup>
<b>Objetivo específico Nº 2: Determinar la oferta hídrica de la cuenca Rumiyacu.</b>			
Oferta hídrica	Caudal disponible	Fichas de evaluación	L.s <sup>-1</sup>
	Volumen disponible	Tablas y figuras	m <sup>3</sup>
<b>Objetivo específico Nº 3: Evaluar el balance hídrico de la cuenca Rumiyacu</b>			
Balance hídrico	Estrés hídrico	Tablas y figuras	L.s <sup>-1</sup> y m <sup>3</sup>
	Superávit		

### 3.3 Procedimientos de la investigación

#### 3.3.1. Determinación de la demanda hídrica de la ciudad de Moyobamba

Para abordar este objetivo, se obtuvieron datos del estudio tarifario (2021-2026) proporcionado por la EPS Moyobamba SA. (SUNASS, 2021). Este estudio ofreció información detallada sobre la población de la ciudad y sus respectivas demandas hídricas a lo largo del período considerado. Los datos extraídos incluyeron proyecciones de crecimiento poblacional y patrones de consumo de agua para el abastecimiento urbano.

Para validar y complementar la información proporcionada por la EPS Moyobamba SA, se implementó la fórmula del caudal promedio de consumo humano. Esta fórmula, basada en estándares reconocidos, permitió corroborar las cifras de demanda de consumo poblacional de agua, asegurando una precisión adicional en la evaluación de las necesidades hídricas de la población.

$$Q_p = \frac{p \times D}{F_c}$$

Donde:

$Q_p$  = Caudal promedio

$P$  = Numero de población

$D$  = Dotación

$F_c$  = Factor de conversión (86 400 s)

El proceso de combinación de datos provenientes del estudio tarifario y la aplicación de la fórmula del caudal promedio de consumo humano no solo garantizó la solidez de los

datos utilizados en este estudio, sino que también proporcionó una comprensión completa y precisa de la demanda hídrica de los usuarios de la ciudad de Moyobamba.

### **3.3.2. Determinación de la oferta hídrica de la cuenca Rumiyacu**

Para abordar este objetivo, se llevó a cabo una caracterización exhaustiva de la cuenca Rumiyacu, comenzando con un análisis morfológico detallado. Este proceso permitió comprender las características topográficas clave que influyen en la distribución y flujo del agua en la cuenca.

Posteriormente, se aplicó el método del polígono de Thiessen para determinar la distribución espacial de la precipitación en el área de estudio. Esta técnica proporcionó una representación más precisa de los patrones de precipitación, considerando la variabilidad espacial característica de la cuenca.

Con la información de precipitación obtenida, se procedió al cálculo de los caudales. Integrando el área de la cuenca y el coeficiente de escorrentía, junto con las precipitaciones registradas, se determinó de manera cuantitativa la oferta hídrica disponible en la cuenca Rumiyacu.

Este enfoque, que combina análisis morfológicos, técnicas de interpolación espacial y cálculos de oferta hídrica, garantizó una evaluación completa y precisa de la disponibilidad de agua en la cuenca.

### **3.3.3. Evaluación del balance hídrico de la cuenca Rumiyacu**

Con el esquema previamente establecido, se procedió a la validación del modelo hidrológico. Este proceso fue esencial para garantizar la confiabilidad de las predicciones y la aplicabilidad del modelo a la realidad de la cuenca Rumiyacu.

La validación se llevó a cabo meticulosamente, considerando diversos escenarios hidrológicos, que abarcaban desde caudales máximos hasta caudales mínimos. Esta amplia variedad de condiciones permitió evaluar la robustez del modelo frente a situaciones hidrológicas extremas y comunes.

Los resultados de la validación proporcionaron una evaluación integral del balance hídrico y la disponibilidad de agua en la cuenca Rumiyacu. La atención especial se centró en los caudales máximos, medianos y mínimos, permitiendo una comprensión detallada de cómo el sistema hidrológico respondía en diferentes contextos.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Determinación de la demanda hídrica de la ciudad de Moyobamba

De acuerdo con el Informe N°058-2020-EPS-M/GG/GO/DCPM y los datos del estudio tarifario (2021-2026) de la EPS Moyobamba SA (SUNASS, 2021), la tabla 3 muestra la población abastecida por cada sistema de agua potable de la ciudad de Moyobamba. Estos datos son esenciales para calcular la demanda hídrica y planificar el suministro de agua de manera eficiente de acuerdo con las necesidades de la creciente población.

**Tabla 3**

*Cantidad de habitantes abastecidos por sistema de agua potable*

Sistemas de Agua Potable (SAP)	Población abastecida (hab)	Porcentaje %
SAP San Mateo	51028	74.50
SAP Juninguillo	13292	19.40
SAP Almendra	4154	6.15

La tabla 4 muestra los caudales máximos diarios de agua disponible en la ciudad de Moyobamba por cada sistema de abastecimiento poblacional. El SAP San Mateo tiene un caudal producido de 89,00 L.s<sup>-1</sup> para una demanda de consumo de 129,93 L.s<sup>-1</sup>, el SAP Juninguillo tiene un caudal producido de 24,40 L.s<sup>-1</sup> para una demanda de consumo de 33,85 L.s<sup>-1</sup> y el SAP Almendra tiene un caudal producido de 13,80 L.s<sup>-1</sup> para una demanda de consumo de 10,58 L.s<sup>-1</sup> como se puede apreciar en la figura 6 solo el SAP Almendra satisface la necesidad de abastecimiento poblacional al sector que abastece.

**Tabla 4**

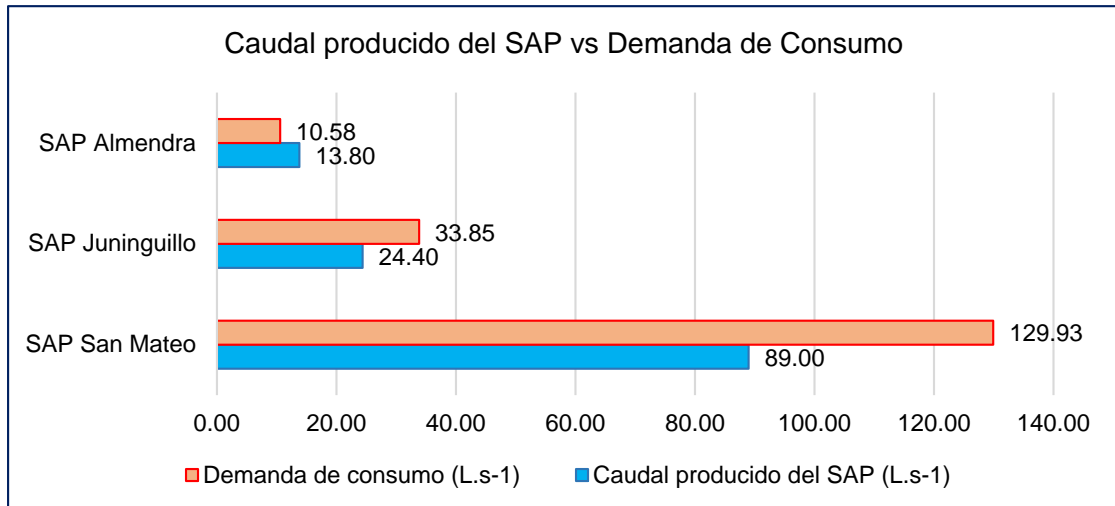
*Caudal producido y demanda de consumo*

Sistemas de Agua Potable (SAP)	Población abastecida (hab)	Caudal producido del SAP (L.s <sup>-1</sup> )	Demanda de consumo (L.s <sup>-1</sup> )	Variación %
SAP San Mateo	51028	89,00	129,93	-45,99
SAP Juninguillo	13292	24,40	33,85	-38,73
SAP Almendra	4154	13,80	10,58	23,33

En la Figura 6, se observa un comparativo entre el caudal producido y la demanda de consumo de agua, medido en litros por segundo (L.s<sup>-1</sup>), el cual muestra la variación de caudales; asimismo, precisar que de los tres SAP que administra la EPS Moyobamba S.A. solo el sistema de abastecimiento poblacional Almendra cubre la necesidad de consumo del sector que abastece que es el sector 3 Almendra, mientras que el sistema



de agua potable San Mateo no cubre la necesidad de consumo de los dos sectores que abastece que son el sector 2 centro de la ciudad y sector 4 Algarrobos, también el SAP Juninguillo no satisface la demanda de consumo del sector 1 Zaragoza (consultar anexo 7)



**Figura 6**

Gráfica de la demanda de agua de la ciudad de Moyobamba

Los datos proporcionados por el Informe N°058-2020-EPS-M/GG/GO/DCPM y el Estudio Tarifario de la EPS Moyobamba (Tabla 3 y 4), fueron corroborados por la fórmula del caudal promedio de consumo humano o demanda de consumo poblacional de agua. El cual está determinada por el número de la población (P) multiplicado por la dotación (D), sobre factor de conversión (86 400 s).

$$Q_p = \frac{p \times D}{F_c}$$

Donde:

$Q_p$  = Caudal promedio

P = Numero de población (51 028)

D = Dotación (220 L/hab/día)

$F_c$  = Factor de conversión (86 400 s)

$$Q_p = \frac{51\,028\,hab \times 220\,L/Hab/dia}{86\,400\,s}$$

$$Q_p = 129,93\,L.s^{-1}$$

Los resultados arrojan un valor del caudal promedio de consumo humano o demanda de consumo poblacional de agua de 129,93 L.s<sup>-1</sup>.

#### 4.2. Determinación de la oferta hídrica de la cuenca Rumiayacu.

Para determinar la oferta hídrica de la cuenca Rumiayacu, se realizó una caracterización morfológica, el cual se presenta a continuación:

**Tabla 5**

*Parámetros geomorfológicos de la cuenca*

<b>Características morfológicas</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Área de la subcuenca	588,11	Ha
Perímetro de la cuenca	10,83	Km
Longitud del curso principal	3,565	Km
Ancho de la quebrada	2,8	M
Cota máxima	1606	M
Cota mínima	1030	M
Cota media	1315,2	m
Coeficiente de escorrentía	0,45	-

Se utilizaron las informaciones de 6 estaciones meteorológicas que se encuentren dentro y adyacente al área de estudio (Tabla 6). Esto permitió elaborar un polígono de Thiessen, para determinar la precipitación en la cuenca.

**Tabla 6**

*Datos de las estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio*

<b>Item</b>	<b>Coordenadas</b>		<b>Estación</b>	<b>Altitud (msnm)</b>
	<b>X</b>	<b>Y</b>		
<b>1</b>	288068,7	9325211,1	Jepelacio	1000
<b>2</b>	282308	9336404,8	Moyobamba	860
<b>3</b>	295334,8	9305113,3	Pacayzapa 1	924
<b>4</b>	303286,3	9308151,5	Pacayzapa 2	900
<b>5</b>	260149,7	9331158,8	Rioja	880
<b>6</b>	269323,2	9321392,9	Soritor	890

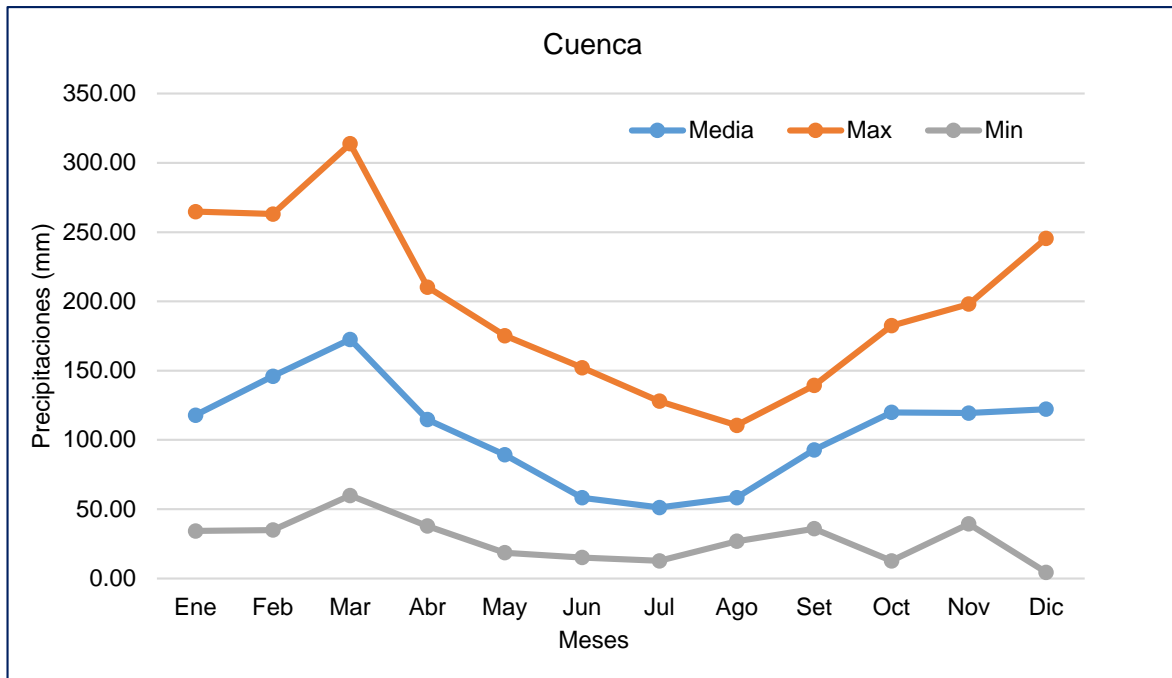
**Tabla 7***Datos históricos de precipitación estación meteorológica Jepelacio.*

<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Promedio anual</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Pp total acumulado (mm/año)</b>
1981	74.01	180.84	195.06	103.71	68.56	30.91	45.29	40.37	35.88	59.05	96.7	130.9	88.44	30.91	195.06	1061.28
1982	77.87	68.77	137.41	74.3	48.71	78.99	38.5	33.48	50.39	160.43	183.55	141.08	91.12	33.48	183.55	1093.48
1983	145.54	111.87	59.83	43.86	52.91	37.37	37.09	29.3	60.52	103.47	58.98	103.78	70.38	29.30	145.54	844.52
1984	149.99	167.15	163.85	109.58	89.03	86.39	33	45.8	70.06	120.15	166.27	54.19	104.62	33.00	167.15	1255.46
1985	80.13	71.24	188.49	56.79	108.22	28.44	33.52	40.16	88.87	55.86	66.38	61.19	73.27	28.44	188.49	879.29
1986	90.54	135.78	147.86	83.15	97.17	41.07	44.32	83.77	46.65	12.64	78.02	83.7	78.72	12.64	147.86	944.67
1987	138.51	102.47	94.67	104.05	58.23	25.46	57.17	28.67	69.79	61.93	150.13	53.06	78.68	25.46	150.13	944.14
1988	96.98	135.95	111.94	109.61	71.24	15.09	22.67	48.89	37.94	59.33	95.02	82.99	73.97	15.09	135.95	887.65
1989	152.88	161.02	178.95	129.11	59.82	55.1	17.08	28.66	123.51	175.17	111.15	4.38	99.74	17.08	178.95	1196.83
1990	152.7	116.86	142.17	100.94	44.34	43.36	36.28	51.1	119.55	151.92	154.74	130.03	103.67	36.28	154.74	1243.99
1991	144.93	213.11	212.27	86.18	67.71	54.84	46.09	70.03	71.57	87.34	39.32	41	94.53	39.32	213.11	1134.39
1992	34.21	88.71	148.2	37.8	18.59	30.84	44.28	98.37	109.36	88.06	108.08	104.58	75.92	18.59	148.20	911.08
1993	84.93	152.33	306.68	105.95	106.51	49.85	37.69	52.03	87.34	122.55	122.39	122.71	112.58	37.69	306.68	1350.96
1994	100.43	140.53	155.1	210.28	64.38	67.96	79.88	37.62	93.57	106.85	144.49	153.82	112.91	37.62	210.28	1354.91
1995	62.25	71.38	219.9	80.64	43.2	67.67	41.68	40.77	136.37	83.87	119.17	166.11	94.42	40.77	219.90	1133.01
1996	110.76	143.23	194.05	109.19	58.21	35.65	12.71	80.24	89.71	163.87	78.97	133.4	100.83	12.71	194.05	1209.99
1997	64.71	263.08	109.79	115.69	97.89	31.64	32.21	74.84	129.18	85.33	107.3	119.82	102.62	31.64	263.08	1231.48
1998	123.62	107.05	143.92	192.05	113.34	36.47	31.6	66.93	93.96	168.38	60.68	101.66	103.31	31.60	192.05	1239.66
1999	264.83	240.84	142.31	119.52	175.27	109.72	65.65	77.1	71.84	136.05	145.68	126.61	139.62	65.65	264.83	1675.42
2000	151.77	177.09	146.06	146.59	94.77	67	80.73	104.61	122.35	72.12	48.54	157.37	114.08	48.54	177.09	1369.00
2001	61.51	141.63	238.03	141.28	124.52	64.88	82.23	63.59	132.95	176.55	124.78	245.51	133.12	61.51	245.51	1597.46
2002	109.2	133.25	142.2	164.88	120.79	33.28	110.29	46.28	48.64	126.82	108.16	79.72	101.96	33.28	164.88	1223.51
2003	144.79	127.8	150.53	65.29	128.17	117.73	31.62	70.6	99.76	120.22	92.85	210.41	113.31	31.62	210.41	1359.77
2004	41.36	92.12	126.15	118.4	106.58	53.85	87.75	46.7	98.34	147.87	146.11	125.55	99.23	41.36	147.87	1190.78

2005	67.25	179.48	120.92	136.3	82.22	48.66	44.37	27.45	46.68	145.7	198.02	149.59	103.89	27.45	198.02	1246.64
2006	135.69	145.37	166.41	83.99	44.86	51.16	49.24	72.73	104.04	118.92	83.42	146.53	100.20	44.86	166.41	1202.36
2007	115.09	34.91	187.58	124.91	101.04	19	57.61	76.15	139.31	170.06	181.9	113.17	110.06	19.00	187.58	1320.73
2008	95.47	208.83	238.15	118.96	80.55	112.14	51.7	44.8	128.95	138.11	134.94	112.75	122.11	44.80	238.15	1465.35
2009	164.74	143.89	139.14	180.42	103.35	137.72	61.41	69.71	103.16	96.61	92.04	59.48	112.64	61.41	180.42	1351.67
2010	49.53	177.07	99.14	120.35	112.99	40.59	82.58	30.07	72.96	133.12	124.18	107.95	95.88	30.07	177.07	1150.53
2011	95.77	91.87	266.8	95.84	66.36	53.92	64.38	47.29	91.67	120.47	173.16	189.66	113.10	47.29	266.80	1357.19
2012	149.81	155.19	231.06	155.36	90.59	71.33	33.28	26.87	102.73	172.14	132.33	161	123.47	26.87	231.06	1481.69
2013	126.8	90.79	313.83	74.7	119.2	57.17	52.39	110.51	113.41	117.16	128.38	86.33	115.89	52.39	313.83	1390.67
2014	134.39	135.24	239.22	159.11	54.97	79.23	52.65	76.69	83.82	182.41	156.09	188.14	128.50	52.65	239.22	1541.96
2015	193.7	188.56	207.3	172.43	122.06	46.69	74.1	64.43	77.35	139.66	155.75	212.61	137.89	46.69	212.61	1654.64
2016	55.15	186.07	179.61	137.43	65.91	36.04	30.31	41.77	132.3	125.07	68.23	97.85	96.31	30.31	186.07	1155.74
2017	172.71	230.14	165.6	61.88	149.02	152.14	21.38	95.28	119.1	82.6	112.32	92.57	121.23	21.38	230.14	1454.74
2018	188.4	136.7	157.82	119.37	131.54	30.74	42.9	78.83	101.2	151.49	123.38	139.13	116.79	30.74	188.40	1401.50
2019	193.54	245.06	160.74	121.65	136.84	70.13	127.97	50.93	114.11	136.14	183.2	175.21	142.96	50.93	245.06	1715.52
<b>Media</b>	117.86	145.98	172.53	114.65	89.22	58.21	51.17	58.29	92.79	119.88	119.35	122.19	105.18	35.40	201.70	1262.15
<b>Max</b>	264.83	263.08	313.83	210.28	175.27	152.14	127.97	110.51	139.31	182.41	198.02	245.51	142.96	65.65	313.83	1715.52
<b>Min</b>	34.21	34.91	59.83	37.80	18.59	15.09	12.71	26.87	35.88	12.64	39.32	4.38	70.38	12.64	135.95	844.52
<b>Varianza</b>	2410.34	2680.57	2963.91	1530.51	1139.03	989.86	601.67	513.54	839.17	1586.87	1602.71	2497.13	333.47	174.70	1867.51	48019.33
<b>Des. Stan.</b>	49.10	51.77	54.44	39.12	33.75	31.46	24.53	22.66	28.97	39.84	40.03	49.97	18.26	13.22	43.21	219.13

**Tabla 8***Valores máximos, mínimos y medios de la precipitación anual*

Pp (mm)	Meses											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Media	117.86	145.98	172.53	114.65	89.22	58.21	51.17	58.29	92.79	119.88	119.35	122.19
Max	264.83	263.08	313.83	210.28	175.27	152.14	127.97	110.51	139.31	182.41	198.02	245.51
Min	34.21	34.91	59.83	37.80	18.59	15.09	12.71	26.87	35.88	12.64	39.32	4.38



**Figura 7**  
Curva de precipitación anual de la cuenca Rumiyacu

**Tabla 9**  
Información necesaria para calcular la oferta hídrica

	Valor	Unidad
Área de la cuenca	5881186.28	m <sup>2</sup>
Coefficiente de escorrentía	0.45	--
Pp(max)	1.72	m.año <sup>-1</sup>
Pp(med)	1.26	m.año <sup>-1</sup>
Pp(min)	0.84	m. año <sup>-1</sup>

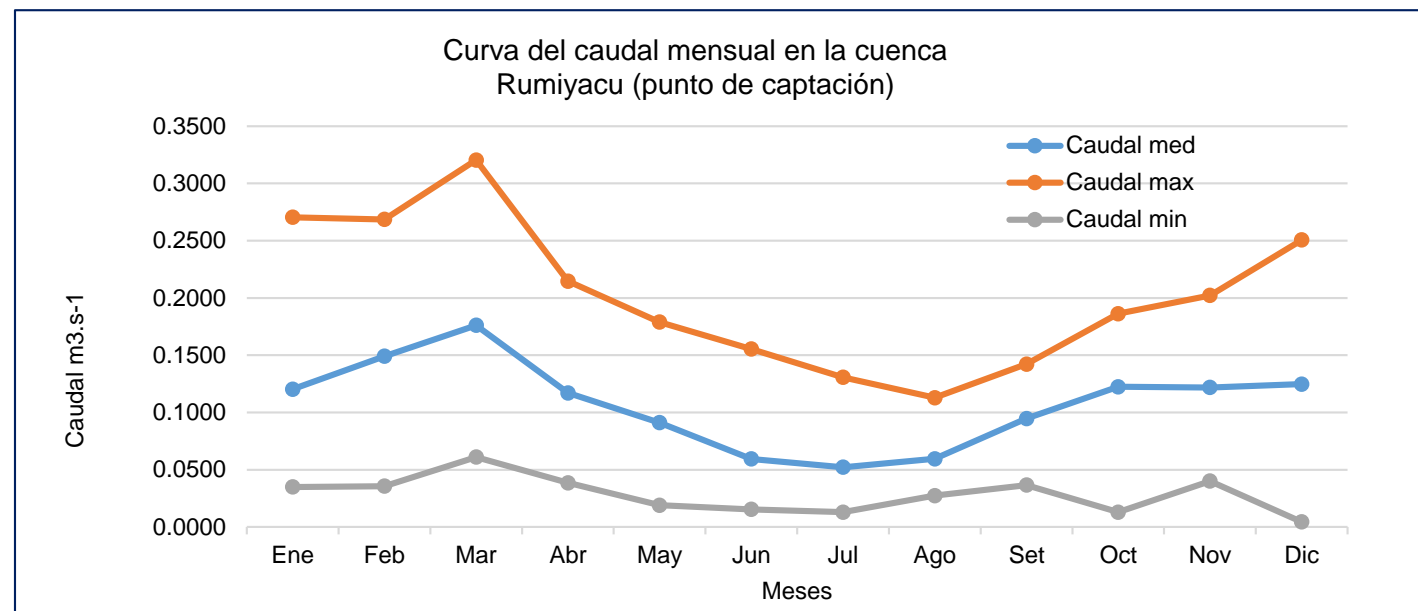
**Tabla 10**  
Caudales de oferta hídrica (m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>)

Cálculo de caudales	Valor	Unidad
$\text{Caudal max} = Q_{max}\left(\frac{m^3}{s}\right) = \frac{Ac(m^2) \times Pp\left(\frac{m}{año}\right)(Max) \times Ce}{31104000}$	0.1460	m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>
$\text{Caudal med} = Q_{med}\left(\frac{m^3}{s}\right) = \frac{Ac(m^2) \times Pp\left(\frac{m}{año}\right)(Med) \times Ce}{31104000}$	0.1074	m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>
$\text{Caudal min} = Q_{min}\left(\frac{m^3}{s}\right) = \frac{Ac(m^2) \times Pp\left(\frac{m}{año}\right)(Min) \times Ce}{31104000}$	0.0719	m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>

Tabla 11

Caudales promedios mensualizados ( $m^3.s^{-1}$ )

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Promedio mensual
<b>Media (mm)</b>	117.86	145.98	172.53	114.65	89.22	58.21	51.17	58.29	92.79	119.88	119.35	122.19	105.18
<b>Max (mm)</b>	264.83	263.08	313.83	210.28	175.27	152.14	127.97	110.51	139.31	182.41	198.02	245.51	198.60
<b>Min (mm)</b>	34.21	34.91	59.83	37.80	18.59	15.09	12.71	26.87	35.88	12.64	39.32	4.38	27.69
<b>Caudal med</b>	0.1203	0.1491	0.1762	0.1171	0.0911	0.0594	0.0522	0.0595	0.0947	0.1224	0.1219	0.1248	0.1074
<b>Caudal max</b>	0.2704	0.2686	0.3204	0.2147	0.1790	0.1553	0.1307	0.1128	0.1422	0.1862	0.2022	0.2507	0.2028
<b>Caudal min</b>	0.0349	0.0356	0.0611	0.0386	0.0190	0.0154	0.0130	0.0274	0.0366	0.0129	0.0401	0.0045	0.0283



**Figura 8**  
Curva del caudal promedio mensual

**Tabla 12**  
*Caudal efectivo (m<sup>3</sup>/mes)*

Caudales (m <sup>3</sup> /mes)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Promedio anual
Caudal med	311917.08	386344.40	456611.23	303438.00	236129.18	154056.77	135421.10	154273.92	245577.30	317278.01	315873.99	323388.79	278359.15
Caudal max	700881.55	696250.12	830561.71	556513.13	463857.98	402643.66	338676.93	292468.45	368688.63	482754.24	524066.63	649750.52	525592.80
Caudal min	90537.92	92390.50	158342.12	100038.98	49199.06	39936.20	33637.44	71112.36	94957.63	33452.19	104061.71	11591.82	73271.49

Los resultados obtenidos para el caudal efectivo (m<sup>3</sup>/mes) en diferentes meses son fundamentales para comprender la dinámica del recurso hídrico en la cuenca Rumiyacu. El caudal medio mensual oscila significativamente a lo largo del año, alcanzando su punto máximo en marzo con un valor de 456,611.23 m<sup>3</sup>/mes. Esta variabilidad puede deberse a las condiciones climáticas y patrones de precipitación asociados con las estaciones del año.

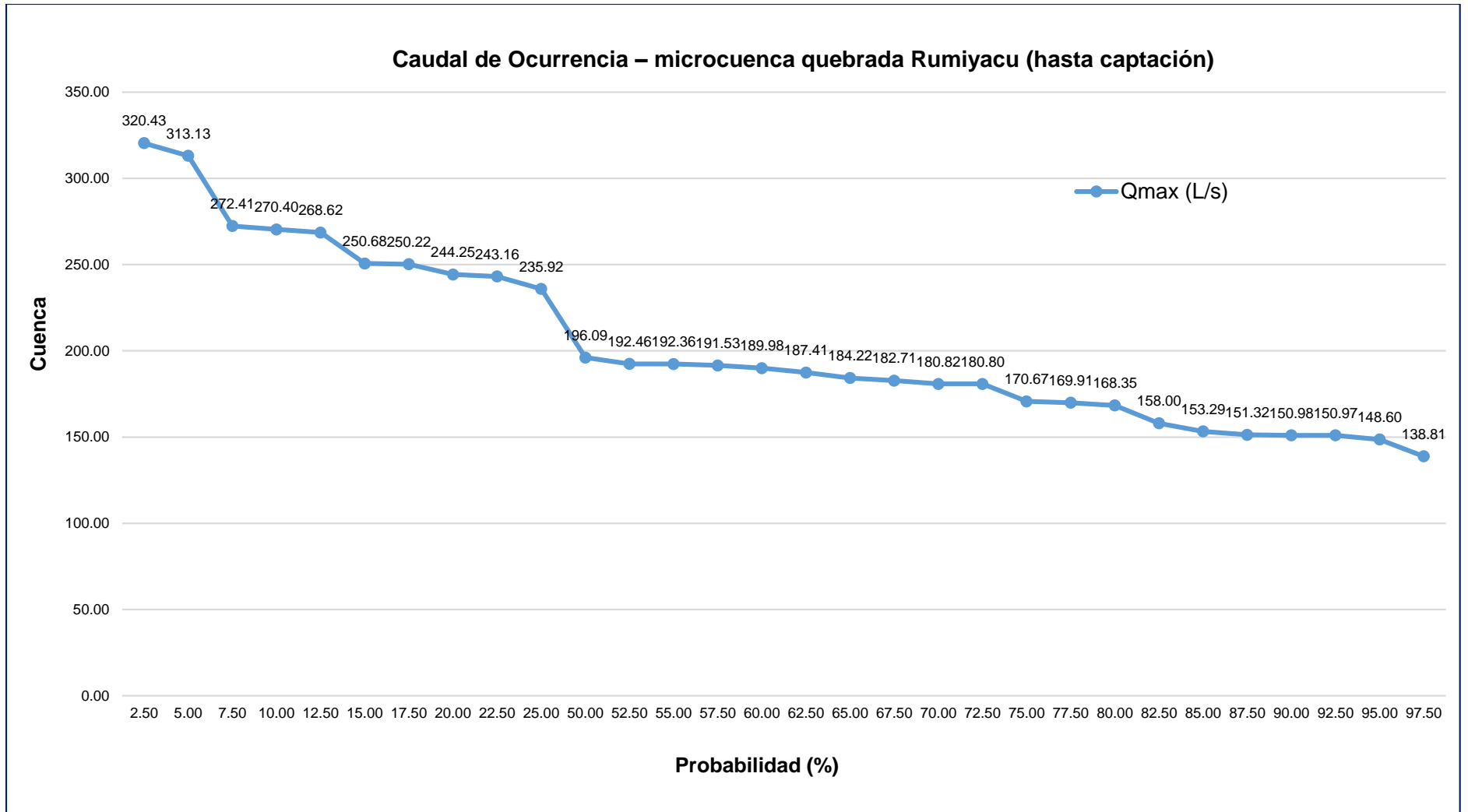
Se observa que los caudales máximos son considerablemente más elevados, destacando particularmente en los meses de marzo, abril y mayo. Estos valores, como el máximo registrado en marzo con 830,561.71 m<sup>3</sup>/mes, indican períodos de alta disponibilidad de agua, posiblemente asociados a eventos climáticos intensos o estacionales.

Los caudales mínimos, registrados principalmente en diciembre y enero, reflejan periodos de menor disponibilidad hídrica. Estos meses podrían estar asociados a estaciones secas o de menor precipitación. El caudal promedio anual, calculado considerando todos los meses, se sitúa en 278,359.15 m<sup>3</sup>/mes. Este valor proporciona una visión general de la oferta hídrica en la cuenca durante el periodo analizado.

**Tabla 13***Tiempo de retorno y probabilidad de ocurrencia*

<b>Año</b>	<b>“Pp max” (anual)</b>	<b>“Pp max ord.”</b>	<b>“N° de orden” (m)</b>	<b>“Qmax” (L/s)</b>	<b>“Periodo de retorno T” (años)</b>	<b>“Probabilidad” P (%)</b>
1981	195.1	313.83	1	320.43	40.00	2.50
1982	183.6	306.68	2	313.13	20.00	5.00
1983	145.5	266.80	3	272.41	13.33	7.50
1984	167.2	264.83	4	270.40	10.00	10.00
1985	188.5	263.08	5	268.62	8.00	12.50
1986	147.9	245.51	6	250.68	6.67	15.00
1987	150.1	245.06	7	250.22	5.71	17.50
1988	136.0	239.22	8	244.25	5.00	20.00
1989	179.0	238.15	9	243.16	4.44	22.50
1990	154.7	231.06	10	235.92	4.00	25.00
1991	213.1	230.14	11	234.98	3.64	27.50
1992	148.2	219.90	12	224.53	3.33	30.00
1993	306.7	213.11	13	217.59	3.08	32.50
1994	210.3	212.61	14	217.08	2.86	35.00
1995	219.9	210.41	15	214.84	2.67	37.50
1996	194.1	210.28	16	214.70	2.50	40.00
1997	263.1	198.02	17	202.19	2.35	42.50
1998	192.1	195.06	18	199.16	2.22	45.00
1999	264.8	194.05	19	198.13	2.11	47.50
2000	177.1	192.05	20	196.09	2.00	50.00
2001	245.5	188.49	21	192.46	1.90	52.50
2002	164.9	188.40	22	192.36	1.82	55.00
2003	210.4	187.58	23	191.53	1.74	57.50
2004	147.9	186.07	24	189.98	1.67	60.00
2005	198.0	183.55	25	187.41	1.60	62.50
2006	166.4	180.42	26	184.22	1.54	65.00
2007	187.6	178.95	27	182.71	1.48	67.50
2008	238.2	177.09	28	180.82	1.43	70.00
2009	180.4	177.07	29	180.80	1.38	72.50
2010	177.1	167.15	30	170.67	1.33	75.00
2011	266.8	166.41	31	169.91	1.29	77.50
2012	231.1	164.88	32	168.35	1.25	80.00
2013	313.8	154.74	33	158.00	1.21	82.50
2014	239.2	150.13	34	153.29	1.18	85.00
2015	212.6	148.20	35	151.32	1.14	87.50
2016	186.1	147.87	36	150.98	1.11	90.00
2017	230.1	147.86	37	150.97	1.08	92.50
2018	188.4	145.54	38	148.60	1.05	95.00
2019	245.1	135.95	39	138.81	1.03	97.50

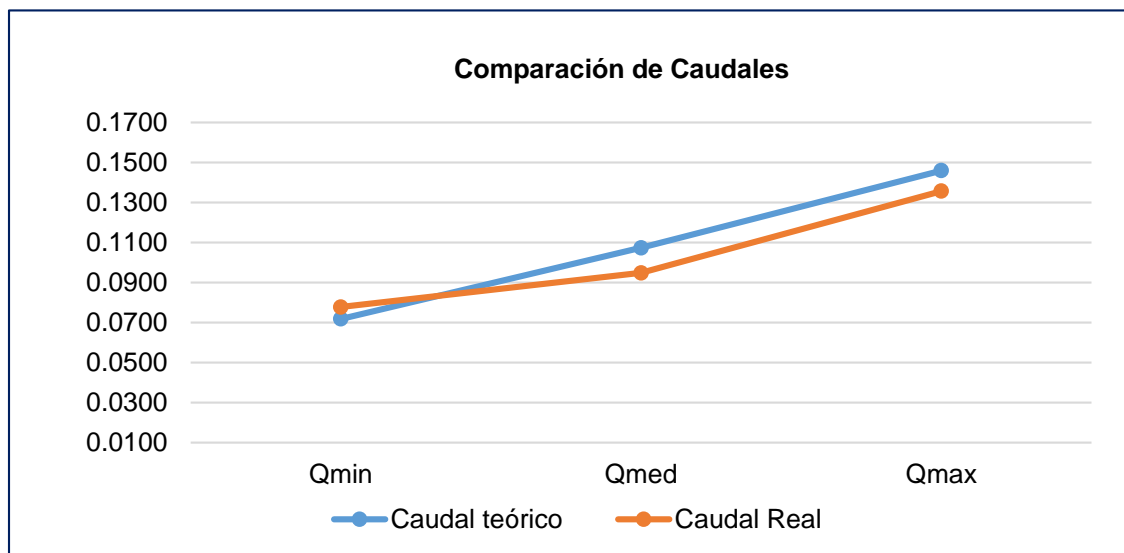




**Figura 9**  
Caudal de ocurrencia

**Tabla 14***Datos de caudal real y teórico*

	<b>Pp diseño acumulado anual (mm)</b>	<b>Caudal teórico (m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>)</b>	<b>Caudal real (m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>)</b>	<b>Coef. esco.</b>	<b>Perdidas en m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup></b>
Q <sub>min</sub>	844.52	0.0719	0.0778	0.45	-0.0059
Q <sub>med</sub>	1262.15	0.1074	0.0949	0.45	0.0125
Q <sub>max</sub>	1715.52	0.1460	0.1357	0.45	0.0103

**Figura 10**

Comparación de caudales (teórico y real)

La Tabla 14 proporciona datos importantes para comparar los caudales teóricos y reales, así como los coeficientes de escorrentía y las pérdidas en el sistema. El Caudal Mínimo, muestra un Caudal Teórico de 0.0719 m<sup>3</sup>/s y un Caudal Real de 0.0778 m<sup>3</sup>/s. Las pérdidas en el sistema son negativas (-0.0059 m<sup>3</sup>/s), lo que indica que el caudal real es mayor que el caudal teórico para el periodo de caudal mínimo. Esto podría deberse a factores como infiltración, recarga de acuíferos u otras fuentes de agua no consideradas en el modelo.

Para el Caudal Medio, evidencian un Caudal Teórico: 0.1074 m<sup>3</sup>/s y un Caudal Real: 0.0949 m<sup>3</sup>/s. Las pérdidas en el sistema son positivas (0.0125 m<sup>3</sup>/s), lo que indica que el caudal real es menor que el caudal teórico para el periodo de caudal medio. Esto podría deberse a factores como la evaporación, uso humano o pérdidas en el transporte del agua.

Por otro lado, el Caudal Máximo muestran Caudal Teórico: 0.1460 m<sup>3</sup>/s y Caudal Real: 0.1357 m<sup>3</sup>/s. Las pérdidas en el sistema son positivas (0.0103 m<sup>3</sup>/s), indicando que el caudal real es menor que el caudal teórico para el periodo de caudal máximo. Esto también podría estar relacionado con factores de uso del agua y pérdidas en el sistema.

El coeficiente de escurrimiento se mantiene constante en 0.45 para todos los casos, lo que sugiere una uniformidad en la respuesta de la cuenca a la precipitación. Estos resultados indican que existe una discrepancia entre los caudales teóricos y reales, lo que podría deberse a diversos factores, incluidas las condiciones locales y los elementos no considerados en el modelo.

En conclusión, la evaluación de la oferta hídrica destaca la necesidad de un enfoque equilibrado y adaptable para aprovechar al máximo el potencial hídrico de la cuenca Rumiyacu, gestionando eficazmente la variabilidad estacional y garantizando la sostenibilidad a largo plazo del abastecimiento poblacional.

#### 4.3. Evaluación del balance hídrico de la cuenca Rumiyacu

En general la tabla 15, el balance hídrico con caudales mínimos muestra un déficit significativo en todos los meses, con una excedencia negativa que varía desde -2,806.88% hasta -112.81%. Los meses de junio, julio, octubre y diciembre muestran los mayores déficits, lo que indica una mayor demanda hídrica en comparación con los caudales mínimos disponibles. La excedencia negativa en todos los meses sugiere que los caudales mínimos no son suficientes para satisfacer la demanda hídrica en la cuenca Rumiyacu durante el año (Figura 11-A).

**Tabla 15**

*Balance hídrico elaborado con caudales mínimos ( $Q_{min}$ )*

Meses	Demanda Hídrica Total (m <sup>3</sup> /s)	Qmin (m <sup>3</sup> /s)	Balance Hídrico (año 2018)		Excedencia (%)
			(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /día)	
Ene	0.130	0.035	-0.095	-8214.069	-272.176
Feb	0.130	0.036	-0.094	-8152.317	-264.713
Mar	0.130	0.061	-0.069	-5953.929	-112.805
Abr	0.130	0.039	-0.091	-7897.367	-236.829
May	0.130	0.019	-0.111	-9592.031	-584.891
Jun	0.130	0.015	-0.115	-9900.793	-743.746
Jul	0.130	0.013	-0.117	-10110.752	-901.741
Ago	0.130	0.027	-0.103	-8861.588	-373.842
Set	0.130	0.037	-0.093	-8066.746	-254.853
Oct	0.130	0.013	-0.117	-10116.927	-907.288
Nov	0.130	0.040	-0.090	-7763.276	-223.808
Dic	0.130	0.004	-0.126	-10845.606	-2806.878
<b>Promedio anual</b>	<b>0.168</b>	<b>0.028</b>	<b>-0.102</b>	<b>-8789.617</b>	<b>-359.879</b>

La tabla 16, en contraste con los caudales mínimos, el balance hídrico con caudales medios muestra una mejora en la excedencia, aunque sigue siendo negativa en los meses de enero, abril, mayo, junio, julio, agosto, setiembre, octubre, noviembre y diciembre. La excedencia negativa varía desde -148.82% hasta -4.20%, por lo que disminuye en comparación con los caudales mínimos, indicando una mejor capacidad para satisfacer la demanda hídrica en comparación con los caudales mínimos. Los meses de febrero y marzo muestran un pequeño superávit por ello se cuenta con variación positiva desde 26.20% hasta 12.78%, lo que indica que los caudales medios pueden satisfacer la demanda hídrica durante esos meses (Figura 11-B).

**Tabla 16**

*Balance hídrico elaborado con caudales medios (Q med)*

Meses	Demanda Hídrica Total (m <sup>3</sup> /s)	Q med (m <sup>3</sup> /s)	Balance Hídrico (año 2018)		Excedencia (%)
			(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /día)	
Ene	0.130	0.120	-0.010	-834.764	-8.029
Feb	0.130	0.149	0.019	1646.147	12.782
Mar	0.130	0.176	0.046	3988.374	26.204
Abr	0.130	0.117	-0.013	-1117.400	-11.047
May	0.130	0.091	-0.039	-3361.027	-42.702
Jun	0.130	0.059	-0.071	-6096.774	-118.725
Jul	0.130	0.052	-0.078	-6717.963	-148.824
Ago	0.130	0.060	-0.070	-6089.536	-118.417
Set	0.130	0.095	-0.035	-3046.090	-37.211
Oct	0.130	0.122	-0.008	-656.066	-6.203
Nov	0.130	0.122	-0.008	-702.867	-6.675
Dic	0.130	0.125	-0.005	-452.374	-4.197
<b>Promedio anual</b>	<b>0.130</b>	<b>0.107</b>	<b>-0.023</b>	<b>-1953.362</b>	<b>-21.052</b>

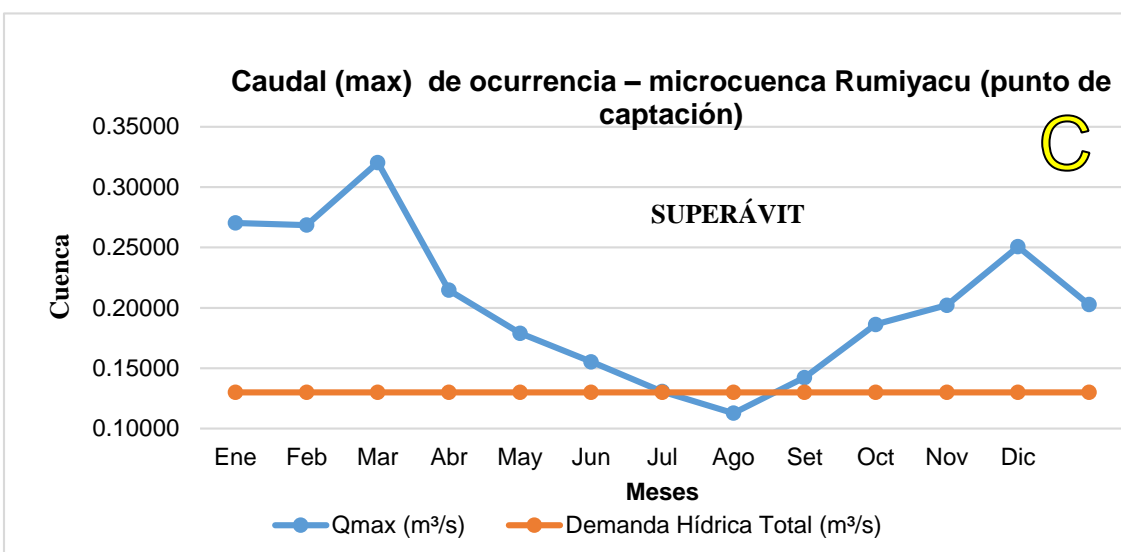
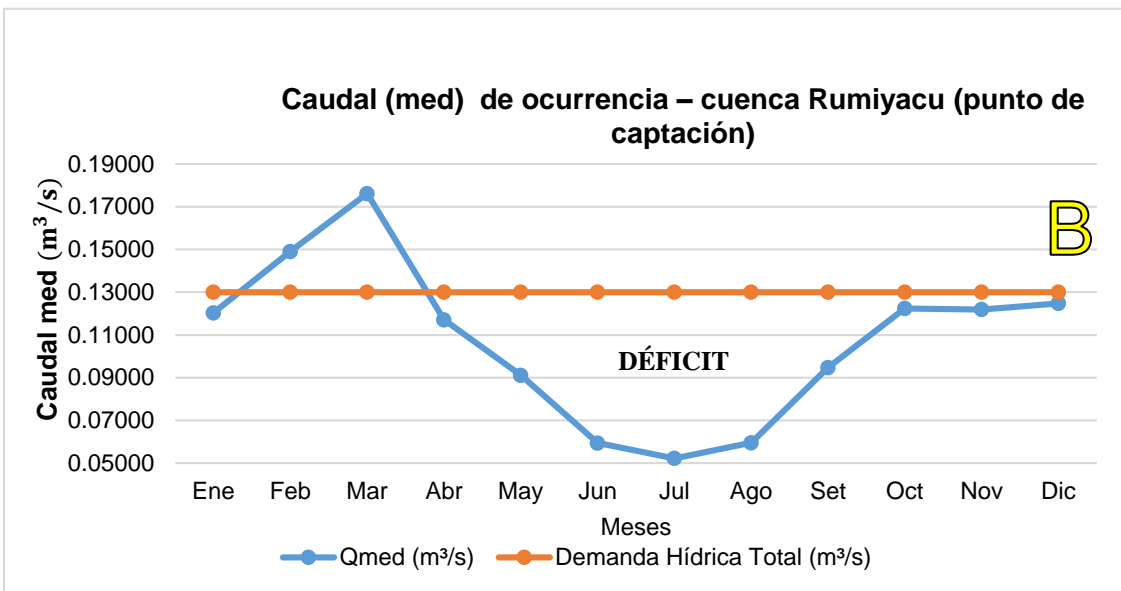
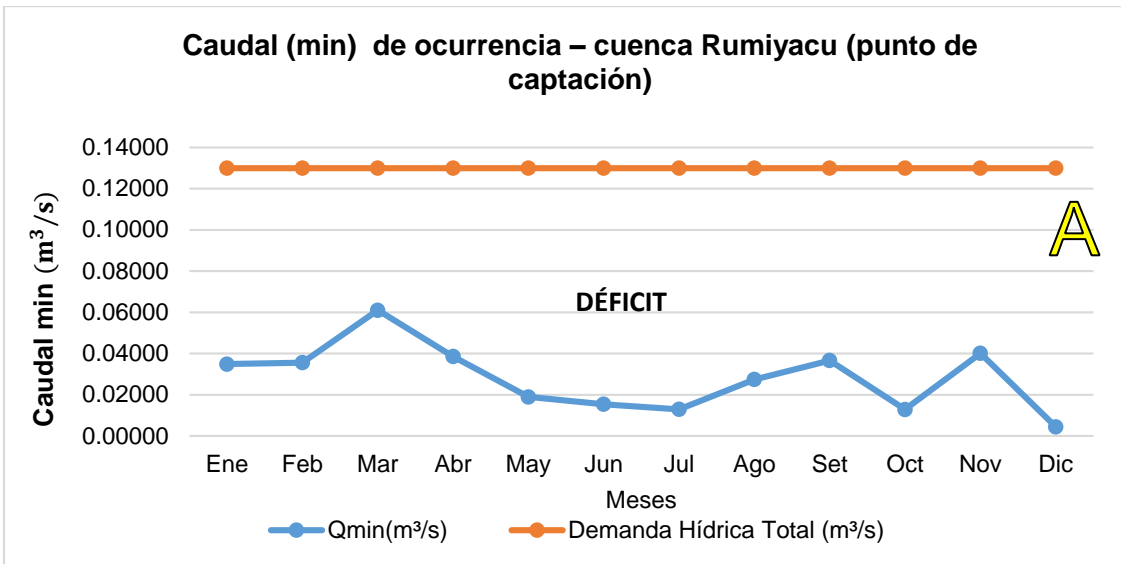
En la tabla 17 muestra el balance hídrico con caudales máximos, la cuenca muestra una excedencia positiva en casi todos los meses a excepción del mes de agosto, indicando que los caudales máximos son capaces de satisfacer la demanda hídrica. La excedencia positiva varía desde 59.43% hasta 0.51%, siendo marzo el mes con la mayor excedencia. Esto sugiere que, en términos de balance hídrico, los caudales máximos son más

adecuados para satisfacer la demanda hídrica en comparación con los caudales mínimos y medios, pero hay que tener en cuenta que los caudales máximos alteran los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos (Figura 11-C).

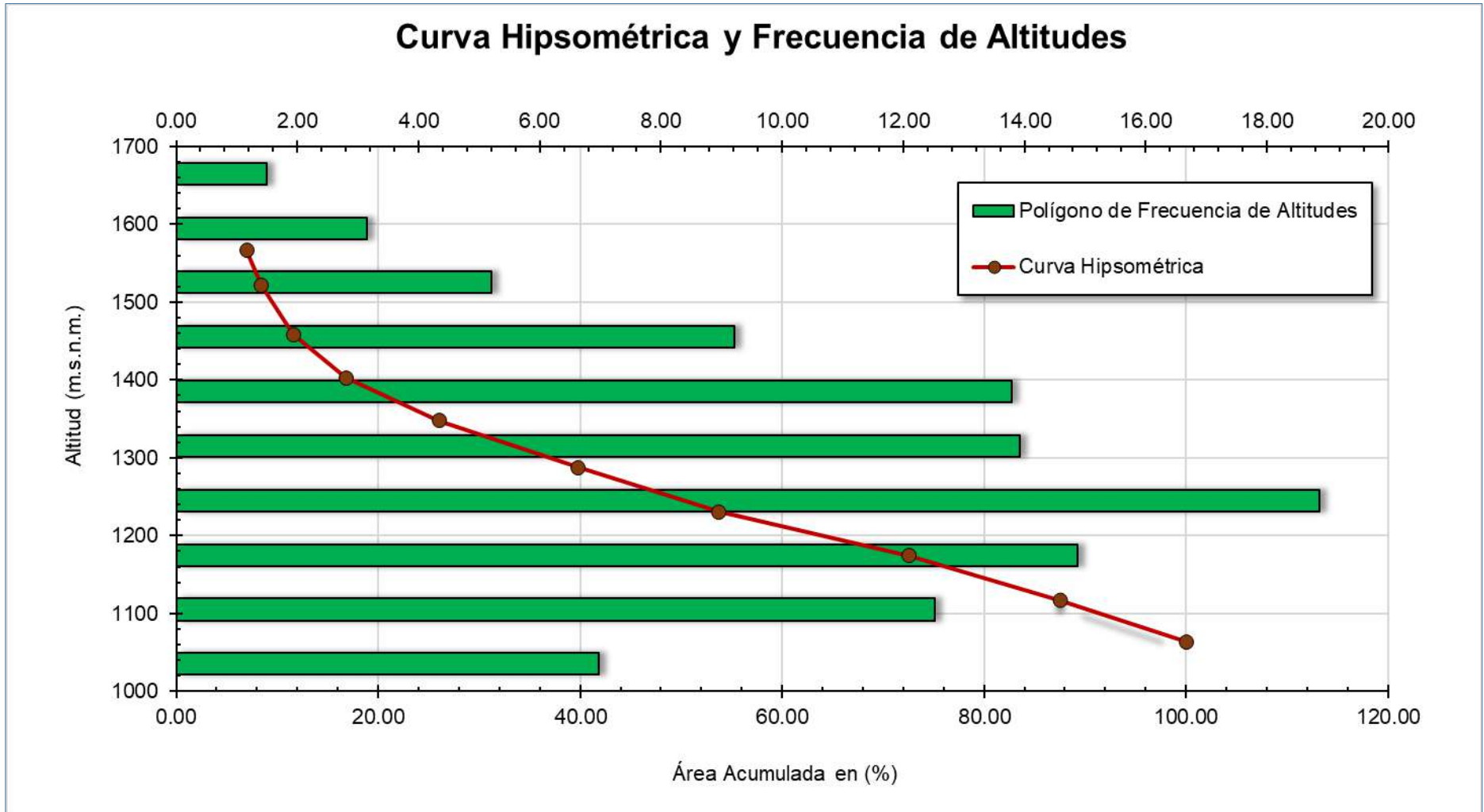
**Tabla 17**

*Balance hídrico elaborado con caudales máximos (Q max)*

Meses	Demanda Hídrica Total (m <sup>3</sup> /s)	Q max (m <sup>3</sup> /s)	Balance Hídrico (año 2018)		Excedencia (%)
			(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /día)	
Ene	0.130	0.270	0.140	12130.718	51.923
Feb	0.130	0.269	0.139	11976.337	51.604
Mar	0.130	0.320	0.190	16453.390	59.430
Abr	0.130	0.215	0.085	7318.438	39.452
May	0.130	0.179	0.049	4229.933	27.357
Jun	0.130	0.155	0.025	2189.455	16.313
Jul	0.130	0.131	0.001	57.231	0.507
Ago	0.130	0.113	-0.017	-1483.052	-15.212
Set	0.130	0.142	0.012	1057.621	8.606
Oct	0.130	0.186	0.056	4859.808	30.201
Nov	0.130	0.202	0.072	6236.888	35.703
Dic	0.130	0.251	0.121	10426.351	48.140
<b>Promedio anual</b>	<b>0.130</b>	<b>0.203</b>	<b>0.073</b>	<b>6287.760</b>	<b>35.890</b>



**Figura 11**  
Caudales de ocurrencia de la cuenca Rumiyacu. A) Caudal mínimo. B) Caudal medio. C) Caudal máximo.



**Figura 12**

Grafica de la Curva Hipsométrica y Frecuencia de Altitudes

**Tabla 18***Evaluación de la disponibilidad hídrica con caudal mínimo y caudal ecológico*

<b>Balance Hídrico</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Total</b>
Oferta hídrica en el punto de interés (L/s)	34.93	35.64	61.09	38.60	18.98	15.41	12.98	27.44	36.63	12.91	40.15	4.47	
Oferta hídrica en el punto de interés (m <sup>3</sup> )	93,556	86,231	163,620	100,039	50,839	39,936	34,759	73,483	94,958	34,567	104,062	11,978	<b>888,028</b>
Demanda de agua de terceros (m <sup>3</sup> )	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
Demanda de agua del caudal ecológico (m <sup>3</sup> )	9,356	8,623	16,362	10,004	5,084	3,994	3,476	7,348	9,496	3,457	10,406	1,198	<b>88,803</b>
<b>Disponibilidad hídrica sin proyecto (m<sup>3</sup>)</b>	<b>84,200</b>	<b>77,608</b>	<b>147,258</b>	<b>90,035</b>	<b>45,755</b>	<b>35,943</b>	<b>31,283</b>	<b>66,134</b>	<b>85,462</b>	<b>31,111</b>	<b>93,656</b>	<b>10,780</b>	<b>799,225</b>
Demanda de agua del proyecto (L/s)	129.930	129.930	129.930	129.930	129.930	129.930	129.930	129.930	129.930	129.930	129.930	129.930	
Demanda de agua del proyecto (m <sup>3</sup> )	348,005	314,327	348,005	336,779	348,005	336,779	348,005	348,005	336,779	348,005	336,779	348,005	<b>4,097,472</b>
<b>Acreditación de agua para el proyecto (m<sup>3</sup>)</b>	<b>348,005</b>	<b>314,327</b>	<b>348,005</b>	<b>336,779</b>	<b>348,005</b>	<b>336,779</b>	<b>348,005</b>	<b>348,005</b>	<b>336,779</b>	<b>348,005</b>	<b>336,779</b>	<b>348,005</b>	<b>4,097,472</b>

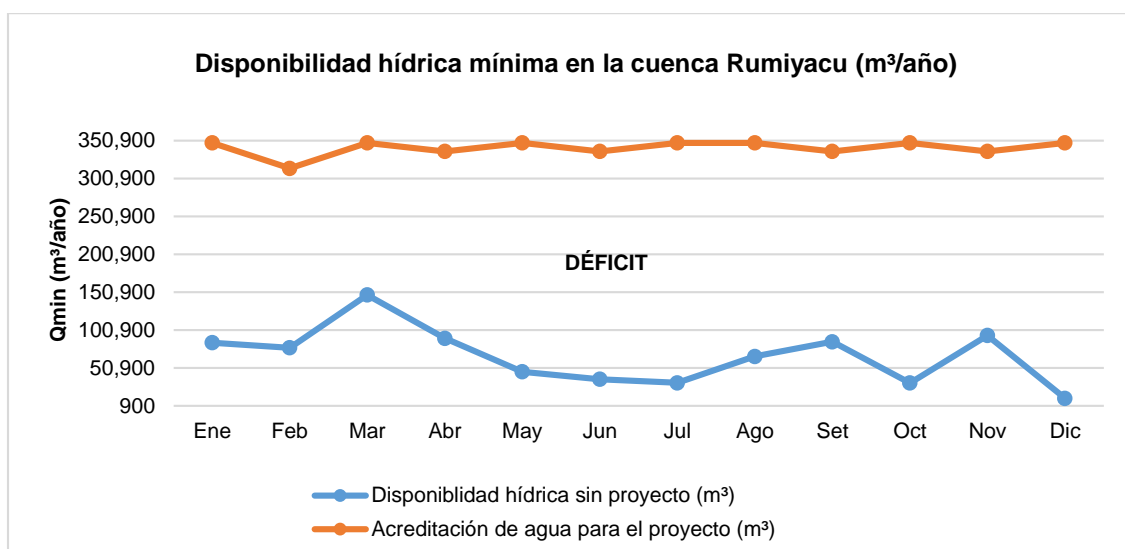


**Tabla 19***Evaluación de la disponibilidad hídrica con caudal medio y caudal ecológico*

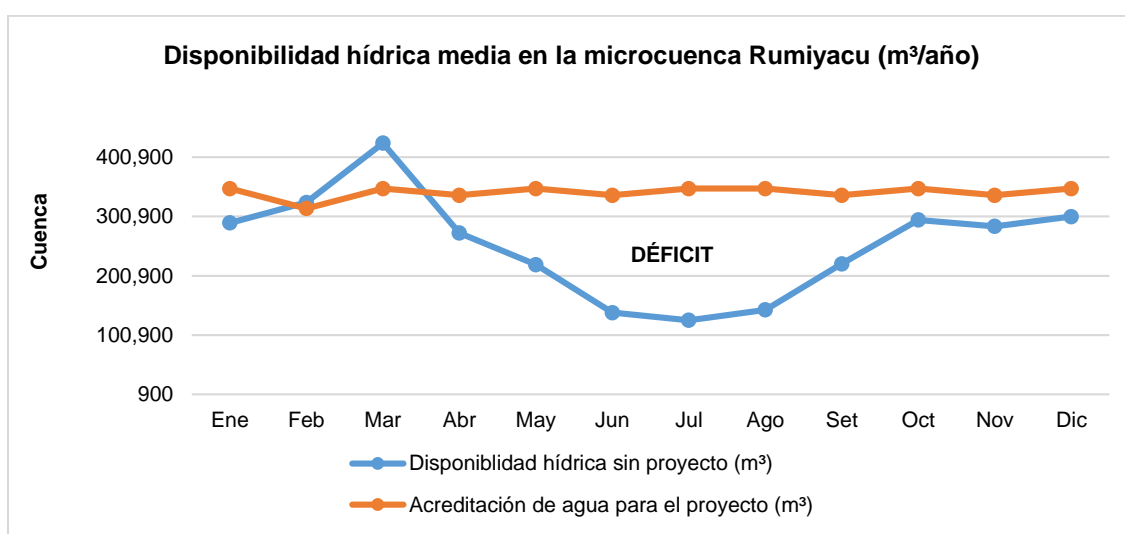
<b>Balance Hídrico</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Total</b>
Oferta hídrica en el punto de interés (L/s)	120.34	149.05	176.16	117.07	91.10	59.44	52.25	59.52	94.74	122.41	121.86	124.76	
Oferta hídrica en el punto de interés (m³)	322,314	360,588	471,832	303,438	244,000	154,057	139,935	159,416	245,577	327,854	315,874	334,168	<b>3,379,054</b>
Demanda de agua de terceros (m³)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
Demanda de agua del caudal ecológico (m³)	32,231	36,059	47,183	30,344	24,400	15,406	13,994	15,942	24,558	32,785	31,587	33,417	<b>337,905</b>
<b>Disponibilidad hídrica sin proyecto (m³)</b>	<b>290,083</b>	<b>324,529</b>	<b>424,648</b>	<b>273,094</b>	<b>219,600</b>	<b>138,651</b>	<b>125,942</b>	<b>143,475</b>	<b>221,020</b>	<b>295,069</b>	<b>284,287</b>	<b>300,752</b>	<b>3,041,149</b>
Demanda de agua del proyecto (L/s)	129.930	129.930	129.930	129.930	129.930	129.930	129.930	129.930	129.930	129.930	129.930	129.930	
Demanda de agua del proyecto (m³)	348,005	314,327	348,005	336,779	348,005	336,779	348,005	348,005	336,779	348,005	336,779	348,005	<b>4,097,472</b>
<b>Acreditación de agua para el proyecto (m³)</b>	<b>348,005</b>	<b>314,327</b>	<b>348,005</b>	<b>336,779</b>	<b>348,005</b>	<b>336,779</b>	<b>348,005</b>	<b>348,005</b>	<b>336,779</b>	<b>348,005</b>	<b>336,779</b>	<b>348,005</b>	<b>4,097,472</b>

**Tabla 20***Evaluación de la disponibilidad hídrica con caudal máximo y caudal ecológico*

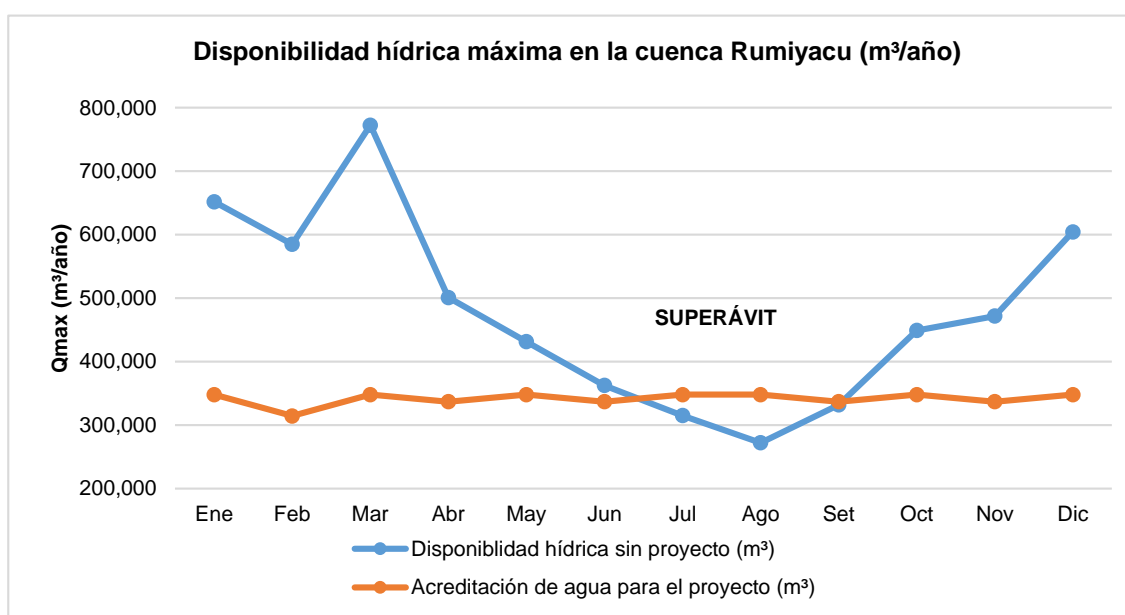
<b>Balance Hídrico</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Total</b>
Oferta hídrica en el punto de interés (L/s)	270.40	268.62	320.43	214.70	178.96	155.34	130.66	112.84	142.24	186.25	202.19	250.68	
Oferta hídrica en el punto de interés (m <sup>3</sup> )	724,244	649,833	858,247	556,513	479,320	402,644	349,966	302,217	368,689	498,846	524,067	671,409	<b>6,385,995</b>
Demanda de agua de terceros (m <sup>3</sup> )	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
Demanda de agua del caudal ecológico (m <sup>3</sup> )	72,424	64,983	85,825	55,651	47,932	40,264	34,997	30,222	36,869	49,885	52,407	67,141	<b>638,600</b>
<b>Disponibilidad hídrica sin proyecto (m<sup>3</sup>)</b>	<b>651,820</b>	<b>584,850</b>	<b>772,422</b>	<b>500,862</b>	<b>431,388</b>	<b>362,379</b>	<b>314,970</b>	<b>271,996</b>	<b>331,820</b>	<b>448,961</b>	<b>471,660</b>	<b>604,268</b>	<b>5,747,396</b>
Demanda de agua del proyecto (L/s)	129.930	129.930	129.930	129.930	129.930	129.930	129.930	129.930	129.930	129.930	129.930	129.930	
Demanda de agua del proyecto (m <sup>3</sup> )	348,005	314,327	348,005	336,779	348,005	336,779	348,005	348,005	336,779	348,005	336,779	348,005	<b>4,097,472</b>
<b>Acreditación de agua para el proyecto (m<sup>3</sup>)</b>	<b>348,005</b>	<b>314,327</b>	<b>348,005</b>	<b>336,779</b>	<b>348,005</b>	<b>336,779</b>	<b>348,005</b>	<b>348,005</b>	<b>336,779</b>	<b>348,005</b>	<b>336,779</b>	<b>348,005</b>	<b>4,097,472</b>



A



B



C

**Figura 13** Disponibilidad hídrica de la cuenca Rumiayacu. A) Caudal mínimo. B) Caudal medio. C) Caudal máximo

En la Tabla 18 se lleva a cabo una evaluación detallada de la disponibilidad hídrica, considerando tanto el caudal mínimo de 888,028 m<sup>3</sup>/año como el caudal ecológico de 88,803 m<sup>3</sup>/año. Se analiza la variación mensual de la oferta hídrica en el punto de interés, junto con la demanda de agua de terceros. Asimismo, se presenta la disponibilidad hídrica sin proyecto con un caudal de 799,225 m<sup>3</sup>/año, que representa la cantidad de agua disponible después de satisfacer las demandas mencionadas. Además, se detalla la demanda del proyecto y la acreditación de agua para el proyecto que es un caudal de 4,097,472 m<sup>3</sup>/año, indicando la cantidad requerida y disponible para el consumo del sector 2 y 4 de la ciudad de Moyobamba respectivamente, pero según los resultados se puede apreciar déficit hídrico en todos los meses, porque dicho balance consiste en la diferencia de valores de la disponibilidad hídrica sin proyecto y la demanda del proyecto y la acreditación de agua para el proyecto (Figura 13 – A).

En la Tabla 19 se lleva a cabo una evaluación detallada de la disponibilidad hídrica, considerando tanto el caudal medio de 3,379,054 m<sup>3</sup>/año como el caudal ecológico de 337,905 m<sup>3</sup>/año. Se analiza la variación mensual de la oferta hídrica en el punto de interés, junto con la demanda de agua de terceros. Asimismo, se presenta la disponibilidad hídrica sin proyecto con un caudal de 3,041,149 m<sup>3</sup>/año, que representa la cantidad de agua disponible después de satisfacer las demandas mencionadas. Además, se detalla la demanda del proyecto y la acreditación de agua para el proyecto que es un caudal de 4,097,472 m<sup>3</sup>/año, indicando la cantidad requerida y disponible para el consumo del sector 2 y 4 de la ciudad de Moyobamba respectivamente, pero según los resultados se puede apreciar déficit hídrico a excepción de los meses de febrero y marzo que se presenta superávit de agua. (Figura 13 – B).

En la Tabla 20 se lleva a cabo una evaluación detallada de la disponibilidad hídrica, considerando tanto el caudal máximo de 6,385,995 m<sup>3</sup>/año como el caudal ecológico de 638,600 m<sup>3</sup>/año. Se analiza la variación mensual de la oferta hídrica en el punto de interés, junto con la demanda de agua de terceros. Asimismo, se presenta la disponibilidad hídrica sin proyecto con un caudal de 5,747,396 m<sup>3</sup>/año, que representa la cantidad de agua disponible después de satisfacer las demandas mencionadas. Además, se detalla la demanda del proyecto y la acreditación de agua para el proyecto que es un caudal de 4,097,472 m<sup>3</sup>/año, indicando la cantidad requerida y disponible para el consumo del sector 2 y 4 de la ciudad de Moyobamba respectivamente, pero según los resultados se puede apreciar superávit de agua a excepción de los meses de julio, agosto y setiembre que se presenta déficit hídrico, cabe precisar que los balances hídricos con los caudales máximos no son favorables dado que la calidad del agua en cuerpos superficiales no es la óptima cuando ocurren dichos eventos. (Figura 13 – C).

## Discusión de los resultados

La investigación presenta resultados significativos al abordar la importancia práctica de los hallazgos en términos de la planificación y gestión del recurso hídrico. Para alcanzar el objetivo general, se llevó a cabo la determinación de la demanda, oferta y balance hídrico, con el propósito de calcular la disponibilidad hídrica de la cuenca Rumiyacu para el abastecimiento de la población de la ciudad de Moyobamba, empleando un modelo hidrológico determinístico.

En este contexto, el modelado hidrológico se posiciona como una herramienta poderosa para generar escenarios que brinden alternativas para la gestión sostenible de los recursos hídricos (Paul et al., 2021). En consecuencia, se han desarrollado una amplia variedad de modelos hidrológicos que abarcan diversos procesos medioambientales y escalas espaciotemporales (Zhang et al., 2020; Bai et al., 2020 y Nagdeve et al., 2021). Martínez y Patiño (2012), señalan que cada modelo posee características distintivas y emplea parámetros específicos para lograr un ajuste óptimo.

La mayoría de los modelos hidrológicos han sido diseñados teniendo en mente naciones desarrolladas. Sin embargo, los países en desarrollo enfrentan limitaciones en cuanto a su capacidad para la modelación, debido a la falta de recursos técnicos suficientes para desarrollar y mantener estos modelos, además de los altos costos computacionales necesarios para llevar a cabo los cálculos requeridos. Por esta razón, la mayoría de los países en desarrollo optan por utilizar modelos hidrológicos desarrollados para otras regiones, simplificando así el proceso de modelado y contribuyendo a reducir las vulnerabilidades en la gestión de los recursos hídricos.

De acuerdo con este análisis sobre lo importante que es utilizar las herramientas de la hidrología, dada la realidad en el contexto y ámbito de la investigación se utilizó un modelo hidrológico determinístico. Jajarmizadeh et al., (2012), mencionan que este modelo es un enfoque que utiliza conceptos y métodos de la teoría de la probabilidad para describir y analizar eventos hidrológicos, como precipitación, caudales de ríos, y otros fenómenos relacionados con el ciclo hidrológico. Estos modelos reconocen la variabilidad inherente en los procesos hidrológicos y buscan representarla mediante distribuciones de probabilidad.

Investigaciones a nivel internacional utilizaron este modelo determinístico, como en el caso de la microcuenca del río Mapachá en Nicaragua (Izabá y García, 2019), sub cuenca río Zamora en Ecuador (Alvarez, 2018), cuenca alta del río Sauce Grande (Fernández et al., 2019), entre otros.

Izabá y García (2019), en su detallado análisis sobre la disponibilidad de agua en la microcuenca del río Mapachá, situada en San Lorenzo-Boaco, Nicaragua, resaltan una

situación crítica en cuanto a la cantidad de agua disponible. La ausencia de caudal base en los ríos principales, principalmente debido a las altas pérdidas por evapotranspiración, la escorrentía superficial y la recarga potencial, subraya la presión bajo la cual se encuentra el sistema hídrico en esta área. La interacción directa de factores naturales, como las características geológicas, junto con las actividades humanas, como la agricultura y la ganadería, se revela como elementos fundamentales en la restricción de los recursos hídricos.

Por otro lado, en el contexto de Ecuador, Alvarez (2018), realizó una investigación exhaustiva que no solo examinó el balance hídrico, sino que también amplió su análisis para evaluar los efectos del cambio de uso del suelo y la precipitación en la disponibilidad de agua en la subcuenca Zamora. Sus hallazgos revelaron que no existe un déficit hídrico, gracias a las precipitaciones intensas, las bajas temperaturas y la presencia de neblina. En ambos estudios, el uso de un modelo determinístico facilitó la determinación del balance hídrico. Además, Fernández et al. (2019) se centraron en la calibración de un modelo de simulación hidrológica determinístico. Los resultados estadísticos obtenidos fueron muy satisfactorios, lo que indica que el modelo representa de manera adecuada la respuesta de la cuenca ante eventos reales. Esto proporciona una herramienta valiosa para comprender y prever la dinámica hidrológica en la región estudiada.

Estos análisis de las investigaciones no solo arrojan luz sobre la gran utilidad de la aplicación de los modelos hidrológicos determinísticos, sino que también resalta la importancia de considerar estos resultados para desarrollar estrategias de manejo hídrico adaptadas a las condiciones específicas de los ámbitos de estudios. En contraste con nuestros resultados, que existe un déficit hídrico en una de las principales fuentes de captación de agua para Moyobamba, esto debería centrarse en cómo las autoridades y las comunidades locales pueden colaborar para mitigar los impactos negativos, preservar la disponibilidad de agua y promover prácticas que favorezcan la sostenibilidad a largo plazo en el contexto de la creciente presión sobre los recursos hídricos.

En el ámbito nacional, se han llevado a cabo diversos estudios de balance hídrico utilizando el método determinístico en cuencas relevantes del país. Por ejemplo, Palomino (2022) aplicó el modelado determinístico en la cuenca alta del río Huallaga, ubicada entre los departamentos de Huánuco y Cerro de Pasco, con el fin de estimar los caudales medios mensuales. Los resultados de este estudio mostraron un ajuste "bueno" al modelo, lo que resalta la utilidad de este enfoque integral y la capacidad del modelo para prever los caudales en la cuenca del río Huallaga. En el departamento de Cajamarca, también se han llevado a cabo varias investigaciones de balance hídrico utilizando el modelo determinístico. Por ejemplo, Solano (2019) estudió la disponibilidad hídrica de la cuenca

del río Amojú en Jaén, donde el modelo demostró ser muy útil para alcanzar los objetivos del estudio. Sin embargo, se identificaron algunas limitaciones relacionadas con la morfología específica de la cuenca.

En estudios realizados en la microcuenca del río Llantén en la provincia de San Miguel (Yshipilco, 2019) y en la microcuenca del río Jadibamba en la provincia de Celendín (Quiroz, 2019), se aplicó el modelo determinístico-estocástico de Lutz Scholz. Ambos estudios utilizaron este modelo para calcular los caudales mensuales, lo que proporcionó una mejor comprensión de los caudales máximos y mínimos en las cuencas. Sin embargo, los valores calculados con el modelo en ambas investigaciones mostraron una discrepancia con los caudales mensuales obtenidos mediante aforos realizados en el sitio. Este resultado es similar a los hallazgos de la presente investigación, donde se observó una pequeña variación entre los valores calculados por el modelo y los datos recopilados en campo. Esto sugiere que el modelo determinístico puede presentar pequeños márgenes de error en algunos casos.

Los estudios de balance y disponibilidad hídrica son extremadamente útiles, ya que su aplicación no se limita únicamente al consumo humano, como se ilustra en la presente investigación. Este campo de estudio tiene un alcance amplio que abarca desde aplicaciones agrícolas (Sancho, 2022) hasta contextos relacionados con el cambio climático (León, Portuguez, y Chávarri, 2019). Ambos estudios son significativos, ya que destacan la importancia del balance hídrico tanto en la agricultura como en la adaptación al cambio climático. En el sector agrícola, estos estudios son fundamentales para la toma de decisiones relacionadas con el agua, lo que contribuye a optimizar su uso y gestión. Por otro lado, en el contexto del cambio climático, los estudios de balance hídrico proporcionan una herramienta esencial para comprender y enfrentar los desafíos cambiantes en la disponibilidad de agua y la gestión de riesgos agrícolas.

En el ámbito local, se han realizado diversas investigaciones de balance hídrico en varias subcuencas, como la del río Tumbaro para fines de riego (Díaz, 2017), la microcuenca del río Cumbaza (Zamora et al., 2022) y el río Santa Clara (Ramírez, 2018), estas últimas enfocadas en el abastecimiento de agua para consumo humano.

Los análisis realizados demuestran que el modelado hidrológico es una herramienta invaluable para calcular la disponibilidad y oferta de agua en diversos contextos, como se ha detallado anteriormente. En todos estos casos, los estudios de balance hídrico han sido fundamentales para abordar los desafíos presentes y futuros, lo que ha permitido una gestión más efectiva y sostenible de los recursos hídricos.

Estos hallazgos están respaldados por antecedentes proporcionados en la literatura. Por ejemplo, Izabá-Ruiz y García (2019) llevaron a cabo un estudio similar en Nicaragua utilizando el Balance Hídrico de Suelo (BHS) para estimar la disponibilidad hídrica. Además, tanto Yshpilco (2019) como Sabino et al., (2022) destacan la importancia de utilizar herramientas como el modelo determinístico estocástico de Lutz Scholz para estimar la disponibilidad hídrica en diferentes contextos, lo cual se ha reflejado en la presente investigación.

Los resultados coinciden con los antecedentes proporcionados en términos de la importancia del modelamiento hidrológico para calcular la disponibilidad hídrica y la presencia de déficit hídrico en ciertos escenarios. Esto sugiere una consistencia en los hallazgos y resalta la relevancia de tu estudio en el contexto de la gestión sostenible de los recursos hídricos. Si deseas agregar más detalles o profundizar en algún aspecto específico, no dudes en hacerlo.

Para la evaluación del balance y la disponibilidad hídrica, evidencian que para los caudales mínimos y medios existe déficit hídrico, o sea, la demanda es mayor a la oferta. Para caudales mínimos existe un porcentaje de excedencia promedio de aproximadamente -494,30% (Tabla 15), mientras que para los caudales medios es -56,44% (Tabla 16). Para caudales máximos, el porcentaje de excedencia es positivo con un valor de 17,15% (Tabla 17), siendo esto aún un valor muy bajo. Estos valores están sujetos a las temporadas climáticas, pues en la figura 11 y 13, se muestra como los caudales tienen picos altos en los meses marzo y abril, noviembre y diciembre, esto relacionado con la época de lluvias en esta parte de la amazonia.

En la evaluación del balance y la disponibilidad hídrica, se evidenció un fenómeno consistente con hallazgos previos. Por ejemplo, estudios como el de Díaz (2017) en la Cuenca del Río Cumbaza-San Martín ya habían señalado la presencia de un superávit hídrico en ciertas épocas del año. Sin embargo, este superávit no parece ser generalizado, ya que, de acuerdo con Meléndez (2019) en su tesis sobre la cuenca del río Lurín, se identificó un déficit hídrico en meses específicos atribuido al aumento de la demanda agraria. Este patrón también se refleja en tu investigación, donde se observa que para los caudales mínimos y medios existe un déficit hídrico, indicando que la demanda es mayor que la oferta. Este resultado está en consonancia con las conclusiones de Meléndez (2019) y respalda la importancia de considerar la variabilidad temporal en la disponibilidad hídrica, como lo indican también los estudios de León et al., (2019) sobre la cuenca del río Piura y Ramírez (2018) sobre la quebrada Santa Clara. Además, la influencia de las temporadas climáticas en los caudales, como lo mencionas en tu investigación, coincide con lo observado por otros autores en contextos similares, como Yshpilco (2019) en su estudio



sobre la microcuenca del río Llantén en Cajamarca. El análisis de la disponibilidad hídrica se alinea con las tendencias identificadas en estudios previos y refuerza la necesidad de gestionar de manera efectiva y sostenible los recursos hídricos en la zona de estudio.

La investigación realizada sobre la cuenca Rumiyacu ha proporcionado una visión integral de la oferta hídrica, balance hídrico y disponibilidad del recurso en el contexto de consumo humano. A través de tres objetivos claramente definidos, se exploraron diversos aspectos que contribuyen significativamente al entendimiento y gestión del agua en la región.

Los resultados obtenidos respecto a la oferta hídrica revelan una variabilidad estacional en los caudales a lo largo de los meses, lo que refleja la compleja interacción de factores climáticos en la cuenca. Estas observaciones coinciden con las conclusiones de Trujillo (2018) en su evaluación del impacto del cambio climático en la disponibilidad hídrica en la cuenca del río Saldaña, donde también se resaltó la influencia de los factores climáticos en la variabilidad de los caudales. Además, la necesidad de considerar patrones específicos para una gestión efectiva de los recursos hídricos ha sido subrayada por Sabino et al., (2022) en su evaluación hidrológica para fines de riego en la subcuenca del río Tumbo en la región de San Martín.

El análisis minucioso del balance hídrico ha puesto de manifiesto la influencia directa del caudal ecológico en la disponibilidad del recurso, tal como lo mencionó Álvarez (2018), en su investigación sobre la disponibilidad y demanda de los recursos hídricos en la subcuenca Zamora Huayco en Ecuador. Esta relación resulta fundamental para la gestión sostenible del agua, como también destacaron Izabá y García (2019), en su estudio sobre la estimación de la disponibilidad hídrica superficial en la microcuenca del río Mapachá en Boaco, Nicaragua.

La curva hipsométrica y la distribución de altitudes ofrecen una perspectiva valiosa sobre la topografía de la cuenca, una observación que coincide con los hallazgos de Quiroz (2019), en su estudio sobre la estimación de la disponibilidad hídrica de la microcuenca Jadibamba. Además, la relación entre la altitud y la oferta hídrica resalta zonas críticas que deben ser consideradas en la planificación de proyectos, un aspecto que también fue destacado por Palomino (2022), en su investigación sobre la identificación de patrones de desempeño del sector público en las regiones del Perú.

Finalmente, esta investigación proporciona una base sólida para la planificación y gestión de recursos hídricos en la cuenca Rumiyacu, con hallazgos que se alinean con estudios previos en hidrología y que destacan la importancia de considerar la variabilidad climática y los aspectos topográficos en la gestión del agua. Basados en línea con las

recomendaciones de León et al., (2019) y Meléndez (2019), estos resultados contribuyen tanto al conocimiento académico como a las aplicaciones prácticas en el diseño y gestión de proyectos de agua, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones sustentables en el desarrollo de recursos hídricos.

## CONCLUSIONES

Para determinar demanda hídrica, los valores fueron extraídos del Informe N°058-2020-EPS-M/GG/GO/DCPM y del Estudio Tarifario de la EPS Moyobamba SA, el cual nos muestra escenarios población y de consumo en relación al tipo de abastecimiento poblacional que son tres: SAP San Mateo, SAP Juninguillo y SAP Almendra, es así que se tomó el valor de consumo del SAP San Mateo que fue de  $0,130 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} < 129,93 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$  para una población de 51 028 habitantes correspondientes al sector 2 centro de la ciudad y sector 4 Algarrobos, cabe precisar que los tres SAP que administra la EPS Moyobamba S.A. tiene una cobertura de 68 474 habitantes. Además, estos valores fueron corroborados por la fórmula del caudal promedio de consumo humano o demanda de consumo poblacional de agua, teniendo como resultados un valor del caudal promedio de consumo humano o demanda de consumo poblacional de agua de  $129,93 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ .

La oferta hídrica en la cuenca Rumiayacu muestra una clara variabilidad estacional. Los meses de febrero, marzo y octubre presentan caudales medios significativamente altos, mientras que los caudales mínimos se observan en los meses de junio, julio y agosto. El caudal medio anual indica un potencial significativo para la dotación de agua en la ciudad de Moyobamba. La variabilidad estacional podría afectar la eficiencia operativa, y se deben implementar estrategias para gestionar estos cambios. Los caudales máximos, especialmente en los meses de febrero, marzo y octubre, ofrecen un potencial considerable. Sin embargo, se debe prestar atención a la gestión de estos caudales para evitar posibles riesgos de inundaciones. Los caudales mínimos, especialmente en los meses de junio, julio y agosto, presentan desafíos que se deben considerar estrategias para garantizar la continuidad operativa durante estos periodos críticos. A pesar de la variabilidad mensual, el promedio anual muestra una oferta hídrica consistente, asimismo, se obtuvo valores promedios para el caudal mínimo  $0,028 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , caudal medio  $0,107 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  y caudal máximo  $0,203 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Se llevó a cabo un balance hídrico considerando caudales mínimos, medios y máximos. Los resultados muestran un déficit en la disponibilidad hídrica en meses con caudales bajos, lo que podría afectar la sostenibilidad del abastecimiento de agua potable a la población. La variación estacional en la oferta y demanda de agua debe ser cuidadosamente gestionada para garantizar un suministro estable durante todo el año. además, se evaluó la disponibilidad hídrica considerando caudales mínimo, medio y máximo junto con un caudal ecológico. La acreditación de agua para el proyecto no es

suficiente en todos los escenarios de caudal. La demanda del caudal ecológico debe ser monitoreada para garantizar la integridad ambiental, y los resultados indican que el proyecto puede satisfacer esta demanda. Se destaca la importancia de considerar la variabilidad estacional y la sostenibilidad ambiental para garantizar el éxito a largo plazo del suministro de agua apta para el consumo humano en la cuenca Rumiyacu. De los resultados obtenidos se obtuvo los siguientes datos, un caudal mínimo de 799,225 m<sup>3</sup>/año, caudal medio de 3,041,149 m<sup>3</sup>/año y un caudal máximo de 5,747,396 m<sup>3</sup>/año, estos valores en un escenario normal no logra cubrir la demanda de consumo de agua potable que es de 4,097,472 m<sup>3</sup>/año, indicando que la cantidad requerida y disponible para el consumo es del sector 2 y 4 de la ciudad de Moyobamba respectivamente, cabe precisar que los balances hídricos con los caudales máximos no son favorables dado que la calidad del agua en cuerpos superficiales no es la óptima cuando ocurren dichos eventos.

## RECOMENDACIONES

A la EPS MOYOBAMBA S.A., considerar y profundizar la investigación para su aplicación en la formulación de proyectos futuros, en aras de poder tener proyectos consistentes y evitar fallos en su ejecución; asimismo, tener en cuenta los datos obtenidos del tiempo de retorno y probabilidad de ocurrencia de caudales máximos o picos en épocas de avenida, con ello lograr mejorar el sistema de alerta de emergencias y mejorar la gestión de riesgo de desastres ocasionados por un peligro inminente que es la inundación fluvial, toda vez que ocurre esto se suspende en su totalidad el servicio de agua potable a los sectores abastecidos.

A la Facultad de Ecología – UNSM, mediante su carrera profesional Ing. Sanitaria, priorizar este tipo de estudios en las demás captaciones de la ciudad de Moyobamba, en aras de fortalecer la adecuada gestión de recursos hídricos.

A investigadores a fines al tema, Considerar la posibilidad de utilizar modelos hidrológicos estocásticos o probabilísticos para simular diferentes escenarios climáticos y evaluar el impacto en la oferta hídrica, esto podría mejorar la precisión de las proyecciones futuras; dado que los modelos hidrológicos determinísticos solo describen el comportamiento del ciclo hidrológico en base a una gran cantidad de datos.

A investigadores a fines al tema, incluir escenarios adicionales en el balance hídrico, como situaciones de sequía extrema o eventos climáticos inusuales. Esto proporcionará una visión más completa de la variabilidad y la capacidad de respuesta del sistema.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarez, J. (2018). *Disponibilidad y demanda del recurso hídrico superficial. Estudio de caso: subcuenca Zamora Huayco, Ecuador*. Tesis de maestría, Universidad Nacional de la Plata. Obtenido de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/66179>
- Angulo, R. (2019). *Colombia en su ruta : recorriendo el camino hacia 2050* . Bogota, Colombia: Fundación Konrad Adenauer, KAS, Colombia. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Andres-Diez-3/publication/334849170\\_COLOMBIA\\_2050\\_WEB/links/5d4356064585153e59353734/COLOMBIA-2050-WEB.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Andres-Diez-3/publication/334849170_COLOMBIA_2050_WEB/links/5d4356064585153e59353734/COLOMBIA-2050-WEB.pdf)
- Arrueta, M. (2009). *Balance hídrico y análisis de las relaciones precipitación-escorrentía en la microcuenca de la Quebrada El Gallo, San Antonio de Oriente*. Universidad de Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano: Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana. Obtenido de <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/b0841dca-f0fb-40b0-be1b-0940bb7af998/content>
- Bai, P., Zhang, Y., y Liu, C. (16 de Mayo de 2020). Assessing the impacts of vegetation greenness change on evapotranspiration and water yield in China. *Water Resources Research*, 56(10), e2019WR027019. doi:<https://doi.org/10.1029/2019WR027019>
- Balairón, L. (2021). *Gestión de recursos hídricos* (Segunda ed., Vol. II). (E. UPC, Ed.) Perú: Ediciones UPC. doi:10.5821/ebook-9788498801446
- Carrascal, D., y Londoño, S. (2022). *La huella hídrica en el área urbana del municipio de Buenavista como un indicador de presión sobre el recurso hídrico en el año 2020*. Tesis de pregrado, Universidad de Antioquia , Medellín. Obtenido de <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/30085>
- Consejo Consultivo del Agua. (2017). *Situación y contexto de la problemática del agua en México*. Mexico: Consejo Consultivo del Agua. Obtenido de <http://www.aguas.org.mx/sitio/index.php/panorama-del-agua/diagnosticos-del-agua>

- Córdova, M. (30 de Abril de 2016). *PRONTUBEAM*. Obtenido de [https://www.prontubeam.com/articulos/articulos.php?Id\\_articulo=26](https://www.prontubeam.com/articulos/articulos.php?Id_articulo=26)
- Díaz, J. (2017). *Determinación de la disponibilidad hídrica superficial mediante balance hídrico en la Cuencade Río Cumbaza-San Martín, 2016*. Tesis de pregrado, Universidad Peruana Union, Tarapoto. Obtenido de <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/957>
- Fernández, S., Pérez, D., Brandizi, L., Serralunga, M., Weis, C., y Abalo, P. (2019). Avances en la modelación del escurrimiento superficial de una cuenca del sudoeste bonaerense. Caso de estudio: Sector Superior Cuenca Alta del Río Sauce Grande (Argentina). *Revista Universitaria de Geografía*, 28(2), 13 - 34. Obtenido de <http://www.scielo.org.ar/pdf/reuge/v28n2/v28n2a02.pdf>
- García, E. (2009). *Manual de proyectos de agua potable en poblaciones rurales*. Lima, Lima: Fondo Perú - Alemania. Obtenido de [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/52699300/Manual\\_de\\_agua\\_potable\\_en\\_poblaciones\\_rurales-libre.pdf?1492626748=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DManual\\_de\\_agua\\_potable\\_en\\_poblaciones\\_r\\_u.pdf&Expires=1700800574&Signature=Fw0jt8xOtr819Gq](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/52699300/Manual_de_agua_potable_en_poblaciones_rurales-libre.pdf?1492626748=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DManual_de_agua_potable_en_poblaciones_r_u.pdf&Expires=1700800574&Signature=Fw0jt8xOtr819Gq)
- García, P. (1996). *Escasez de agua en una región indígena de Michoacán: el caso de la meseta purépecha* (Primera ed.). México: El Colegio de Michoacán A.C. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=6oa433aTj74C&oi=fnd&pg=PA25&dq=GARC%C3%8DA,+P.+%C3%81.+Escasez+de+agua+en+una+regi%C3%B3n+ind%C3%ADgena+de+Michoac%C3%A1n:+el+caso+de+la+Meseta+Pur%C3%A9pecha.+El+Colegio+de+Michoac%C3%A1n+AC.+1996.&ots=uasUU>
- Garros, M., y Safar, E. (2020). *Agua segura como derecho humano* (Primera ed.). (U. C. Salta, Ed.) Salta, Perú: EUCASA. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=LfboDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT2&dq=El+manejo+de+la+cuenca+es+el+conjunto+de+acciones+que+realizan+para+utilizar,+manejar+rehabilitar,+proteger+y+conservar+los+recursos+naturales+de+acuerdo+con+los+enfoques+socio+a>
- Gil-Mora, J., Flores, Á., Ochoa, K., y Valencia, N. (26 de Febrero de 2022). Determinación de la pérdida de la calidad de un río urbano en Cusco: Caso Saphy. *Ciencia Latina*

*Revista Científica Multidisciplinar*, 6(1), 3722 - 3748.  
doi:[https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v6i1.1765](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i1.1765)

Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2018). *Metodología de la investigación* (Sexta ed., Vol. IV). México, México: McGraw-Hill Interamericana. Obtenido de <https://drive.google.com/file/d/1Fjufmi0oGY4Zs8EajFiAJYNT2qoecH4k/view>

Izabá-Ruiz, A., y García, D. (2019). Estimación de la disponibilidad hídrica superficial en la microcuenca del río Mapachá, San Lorenzo, Boaco. *Revista Científica Agua Y Conocimiento*, 4, 23 - 37. Obtenido de <https://revistasnicaragua.cnu.edu.ni/index.php/agua/article/view/5633>

Jajarmizadeh, M., Harun, S., y Salarpour, M. (2012). A review on theoretical consideration and types of models in hydrology. *Journal of Environmental Science and Technology*, 5(5), 249 - 261. doi:10.3923/jest.2012.249.261

Kuroiwa, J. (2010). *Recursos hidráulicos en el Perú: una visión estratégica*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

León, R., Portuguez, D., y Chávarri, E. (2019). Modelación de la disponibilidad hídrica del río Piura-Perú, considerando la incidencia del cambio climático. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 21(3), 182 - 193. doi:<http://dx.doi.org/10.18271/ria.2019.476>

Li, W., Hai, X., Han, L., Mao, J., y Tian, M. (20 de Enero de 2020). Does urbanization intensify regional water scarcity? Evidence and implications from a megaregion of China. *Journal of Cleaner Production*, 244, 118592. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118592>

Martínez, M., Fernández, D., y Salas, R. (2015). *Hidrología Aplicada a las Pequeñas Obras Hidráulicas*. (SAGARPA, Ed.) Mexico. Obtenido de <https://blogdelagua.com/documentacion/manual-de-hidrologia-aplicada-a-las-pequenas-obras-hidraulicas-pdf-descargable/>

Martínez-Austria, P., y Patiño-Gómez, C. (2012). Efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua en México. *Tecnología y ciencias del agua*, 3(1), 5 - 20. Obtenido de <https://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v3n1/v3n1a1.pdf>



- Meléndez, D. (2019). *Modelación hidrológica distribuida de la cuenca del río Lurín a escala diaria*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3993>
- Montilla, A. (2007). Algunas consideraciones en torno a la problemática del recurso hídrico en el Páramo Andino Venezolano. *Geoenseñanza*, 12(2), 199 - 211. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/360/36014578006.pdf>
- Moreno, A., y Renner, I. (2007). *Gestión Integral de Cuencas: La experiencia del Proyecto Regional Cuencas Andinas* (Primera ed.). Lima, Lima, Perú: International Potato Center. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=jWJzjucuibwC&oi=fnd&pg=PT11&dq=MORENO+Y+RENNER.+Gesti%C3%B3n+Integral+de+Cuencas,+la+experiencia+del+Proyecto+Regional+Cuencas+Andinas.+Lima,+Per%C3%BA+2007.+&ots=T2qbjj5whi&sig=zdlB8U7w5FcpKaEJY8GrmfX5Gyg&re>
- Nagdeve, M., Paul, P., Zhang, Y., y Singh, R. (January de 2021). Continuous Contour Trench (CCT): Understandings of hydrological processes after standardisation of dimensions and development of a user-friendly software. *Soil and Tillage Research*, 205, 104792. doi:<https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104792>
- OMM, O. M. (2011). *Guía de prácticas hidrológicas, Gestión de recursos hídricos y aplicación de prácticas hidrológicas* (Sexta ed., Vol. II). Ginebra, Suiza: OMM. Obtenido de [https://library.wmo.int/viewer/33046?medianame=168-2009-v2\\_es\\_#page=3&viewer=picture&o=bookmark&n=0&q=](https://library.wmo.int/viewer/33046?medianame=168-2009-v2_es_#page=3&viewer=picture&o=bookmark&n=0&q=)
- Palomino, J. (2022). *Estimación de los caudales medios mensuales de la cuenca alta del Huallaga aplicando un modelo hidrológico racional con imágenes satelitales*. Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Lima. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12996/5477>
- Pandi, D., Kothandaraman, S., y Kuppusamy, M. (5 de August de 2021). Hydrological models: a review. *International Journal of Hydrology Science and Technology*, 12(3), 223 - 242. doi:<https://doi.org/10.1504/IJHST.2021.117540>
- Panfichi, A., y Coronel, O. (2011). Los conflictos hídricos en el Perú 2006-2010: una lectura panorámica. En R. Boelens, C. Leontien, y Z. Margreet, *Justicia hídrica: acumulación, conflicto y acción socia* (págs. 393 - 422). Lima, Peru: Fondo Editorial Pontificia Universidad Católica del Peru. Obtenido de

[https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/44696312/Justicia\\_Hidrica.\\_Acumulacin\\_de\\_Agua\\_Conf20160413-31432-16fuxwo-libre.pdf?1460554588=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DJusticia\\_Hidrica\\_acumulacion\\_de\\_agua\\_con.pdf&Expires=1700602776&Signature](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/44696312/Justicia_Hidrica._Acumulacin_de_Agua_Conf20160413-31432-16fuxwo-libre.pdf?1460554588=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DJusticia_Hidrica_acumulacion_de_agua_con.pdf&Expires=1700602776&Signature)

- Paul, P., Zhang, Y., Ma, N., Mishra, A., Panigrahy, N., y Singh, R. (2021). Selecting hydrological models for developing countries: Perspective of global, continental, and country scale models over catchment scale models. *Journal of Hydrology*, 600, 126561. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126561>
- Perú, G. d. (2009). *Ley de recursos hídricos N° 29338*. Gobierno del Perú, MINAM, Lima. Lima: El Peruano. Obtenido de <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N%C2%B0-29338.pdf>
- Peru, G. d. (2010). *Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos N° 29338*. ANA, MINAM, Lima. Lima: El Peruano. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12543/4665>
- Quiroz, M. (2019). *Disponibilidad de agua de la microcuenca Jadibamba, utilizando el modelo Determinístico Estocástico Lutz Scholz y el volumen transpuesto de la cuenca Tres Ríos*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14074/3027>
- Real Academia Española. (2023). Abastecimiento. Diccionario del español jurídico. Obtenido de <https://dpej.rae.es/lema/abastecimiento>
- Ramírez, M. (2018). *Determinación del balance hídrico y calidad del agua de la microcuenca quebrada Santa Clara para el consumo humano de la localidad Santa Clara, 2017*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín, Moyobamba. Obtenido de Universidad Nacional de San Martín
- Ruiz-Álvarez, O., Arteaga-Ramírez, R., Vásquez-Peña, M., Ontiveros, R., y López-López, R. (2012). Balance hídrico y clasificación climática del estado de Tabasco, México. *Universidad y ciencia*, 28(1), 1 - 14. Obtenido de [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0186-29792012000100001](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-29792012000100001)
- Sancho, J. (2022). *Determinación de la disponibilidad hídrica superficial con fines agrarios en la cuenca Huancané, departamento de Puno*. Tesis de pregrado, Universidad

Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Lima. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12672/18963>

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). (2017). Disponibilidad hídrica y análisis comparativo. Obtenido de [https://idesep.senamhi.gob.pe/portaledesep/idesep\\_tema\\_cambio\\_climatico\\_disponibilidad\\_hidrica\\_analisis\\_comparativo.jsp](https://idesep.senamhi.gob.pe/portaledesep/idesep_tema_cambio_climatico_disponibilidad_hidrica_analisis_comparativo.jsp)

Solano, L. (2019). *Disponibilidad Hídrica de la Cuenca del Río Amojú Aplicando el Modelo Determinístico–Estocástico de Lutz Scholz*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Jaén, Cajamarca, Jaén. Obtenido de <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/242>

SUNASS, S. N. (2021). *Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento de Moyobamba Sociedad Anónima Eps Moyobamba S.A.: Estudio tarifario para el periodo 2021 – 2026*. SUNASS. Dirección De Regulación Tarifaria, SUNASS. Obtenido de <https://www.sunass.gob.pe/wp-content/uploads/2021/10/EPS-MOYOBAMBA-VF.pdf>

Sybila, T. (22 de Marzo de 2013). *SERVINDI*. Obtenido de <https://www.servindi.org/actualidad/84511>

Trujillo, Y. (2018). *Evaluación del efecto de escenarios de cambio climático sobre la disponibilidad hídrica en la cuenca del río Saldaña*. Tesis de maestría, Universidad de Tolima, Ibagué. Obtenido de <https://repository.ut.edu.co/handle/001/2529>

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. (2023). *Agua para la vida* (Primera ed.). Mexico: Consejo Editorial Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Juan-Ricardo-Avina/publication/373332611\\_Agua\\_para\\_la\\_vida/links/64e6c6c340289f7a0faf0099/Agua-para-la-vida.pdf#page=53](https://www.researchgate.net/profile/Juan-Ricardo-Avina/publication/373332611_Agua_para_la_vida/links/64e6c6c340289f7a0faf0099/Agua-para-la-vida.pdf#page=53)

Urtega, P. (2013). Entre la abundancia y la escasez de agua: discursos, poder y biocombustibles en Piura, Perú. *Debates En Sociología*(38), 55 - 80. doi:<https://doi.org/10.18800/debatesensociologia.201301.003>

Villón, M. (2002). *Hidrología* (Segunda ed.). Lima: Editorial Villon. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/321995858/HIDROLOGIA-Maximo-Villon-Bejar-2da-Ed-2002-pdf>

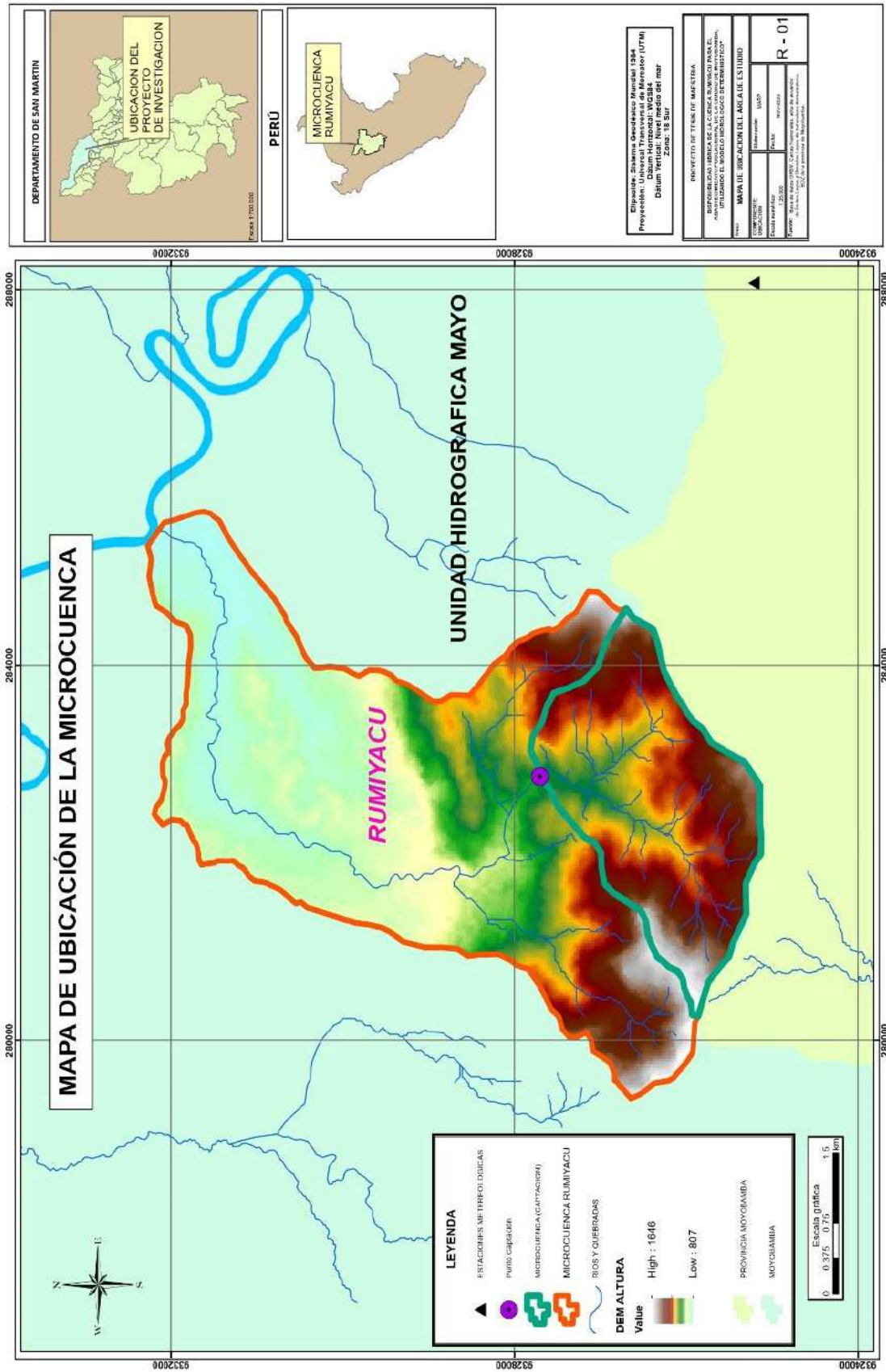
- Yang, D., Yang, Y., y Xia, J. (2021). Hydrological cycle and water resources in a changing world: A review. *Geography and sustainability*, 2(2), 115 - 122. doi:<https://doi.org/10.1016/j.geosus.2021.05.003>
- Yshipilco, J. (2019). *Disponibilidad del recurso hídrico en la microcuenca del río Llantén en el distrito de Catilluc, provincia de San Miguel-Cajamarca, 2017*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Cajamarca. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14074/3583>
- Zamora, N., Gómez, J., y Gallo, V. (July de 2022). Hydrological assessment for irrigation purposes in the tumbaro subway - san martin region. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 5(3), 3269 - 3289. doi:10.34188/bjaerv5n3-054
- Zhang, J., Zhang, Y., Song, J., Cheng, L., Kumar, P., Gan, R., . . . Zhao, P. (June de 2020). Large-scale baseflow index prediction using hydrological modelling, linear and multilevel regression approaches. *Journal of Hydrology*, 585, 124780. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124780>

## ANEXOS

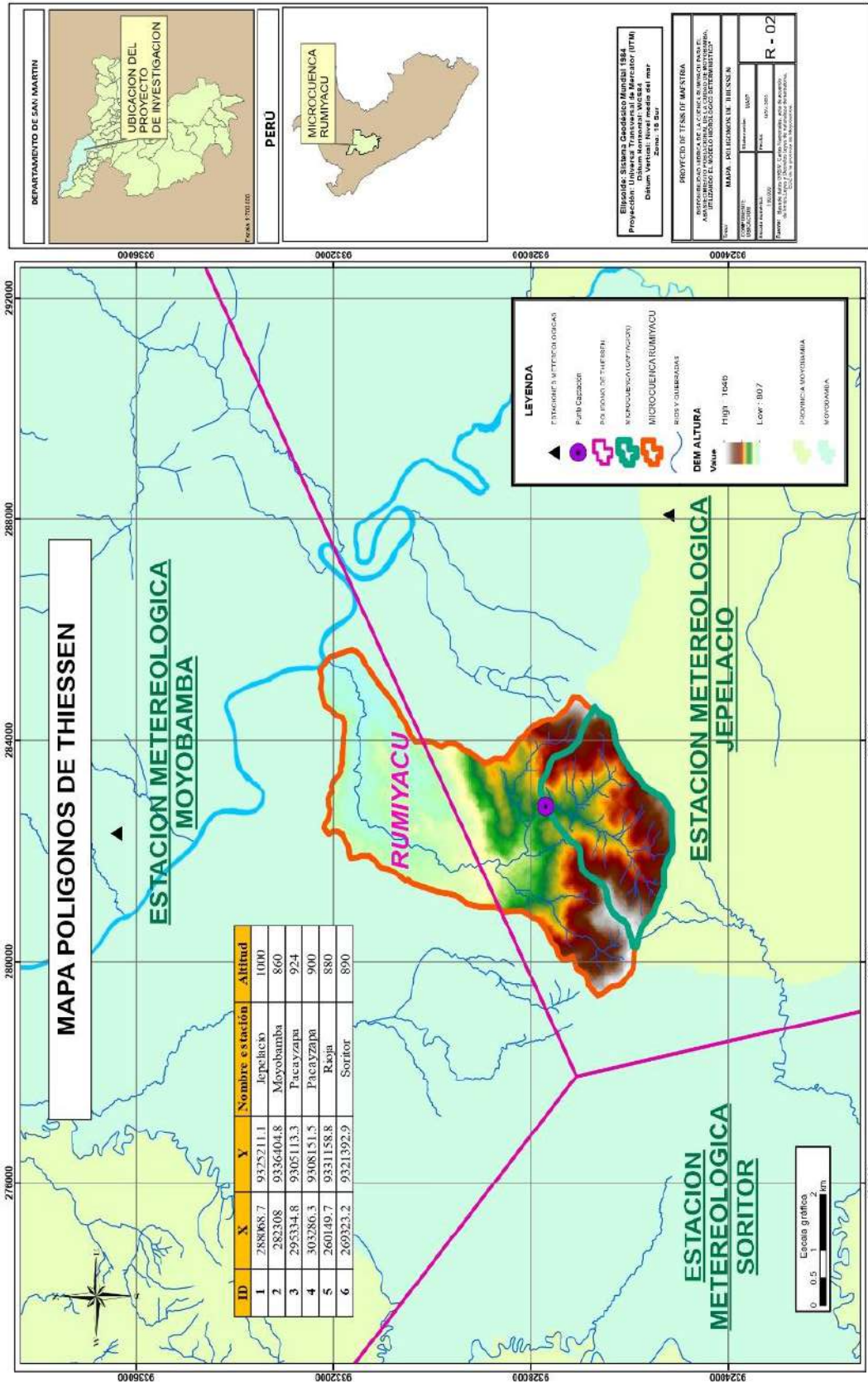
### Anexo 1. Matriz de consistencia

Título: Disponibilidad hídrica de la cuenca Rumiyacu para el abastecimiento poblacional de la ciudad Moyobamba utilizando el modelo hidrológico determinístico																
Problema	Objetivos	Hipótesis	Sistema de variables	Metodología												
¿Se puede evaluar la disponibilidad hídrica de la cuenca Rumiyacu para el abastecimiento poblacional en la ciudad Moyobamba utilizando el modelo hidrológico determinístico?	<p><b>Objetivo general:</b> Evaluar la disponibilidad hídrica de la cuenca Rumiyacu para el abastecimiento poblacional de la ciudad de Moyobamba utilizando el modelo hidrológico determinístico.</p> <p><b>Objetivos específicos:</b> Determinar la demanda hídrica de la ciudad de Moyobamba. Determinar la oferta hídrica de la cuenca Rumiyacu. Evaluar el balance hídrico de la cuenca Rumiyacu.</p>	<p>H<sub>1</sub>: Mediante el uso del modelo hidrológico determinístico se puede evaluar la disponibilidad hídrica de la cuenca Rumiyacu para el abastecimiento poblacional en la ciudad Moyobamba</p> <p>H<sub>0</sub>: Mediante el uso del modelo hidrológico determinístico no se puede evaluar la disponibilidad hídrica de la cuenca Rumiyacu para el abastecimiento poblacional en la ciudad Moyobamba</p>	<p><i>Demanda hídrica de Moyobamba</i></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Variable abstracta</th> <th>Variable concreta</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Demanda hídrica</td> <td>Caudal requerido Volumen requerido</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Oferta hídrica</i></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Variable abstracta</th> <th>Variable concreta</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Oferta hídrica</td> <td>Caudal disponible Volumen disponible</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Balance hídrico</i></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Variable abstracta</th> <th>Variable concreta</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Balance hídrico</td> <td>Estrés hídrico Superávit</td> </tr> </tbody> </table>	Variable abstracta	Variable concreta	Demanda hídrica	Caudal requerido Volumen requerido	Variable abstracta	Variable concreta	Oferta hídrica	Caudal disponible Volumen disponible	Variable abstracta	Variable concreta	Balance hídrico	Estrés hídrico Superávit	<p><b>Tipo de Investigación:</b> Básica</p> <p><b>Nivel de la Investigación:</b> Explicativo</p> <p><b>Población y muestra:</b> Población y muestra: Cuenca de Rumiyacu (N = n; Muestra no probabilística)</p> <p><b>Diseño de la Investigación:</b> No experimental</p> <p><b>Procedimiento</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cálculo de la demanda hídrica</li> <li>- Calcula de la oferta hídrica</li> <li>- Determinación del balance y disponibilidad hídrica.</li> </ul>
Variable abstracta	Variable concreta															
Demanda hídrica	Caudal requerido Volumen requerido															
Variable abstracta	Variable concreta															
Oferta hídrica	Caudal disponible Volumen disponible															
Variable abstracta	Variable concreta															
Balance hídrico	Estrés hídrico Superávit															

Anexo 2. Ubicación del proyecto de tesis



Anexo 3. Mapa de polígonos de Thiessen









## Anexo 5. Formulas

### Formula 1: La ecuación general de balance hídrico

$$\Delta A = P - ETR - Q - D$$

Dónde:

- $\Delta A$  : "Cambio en almacenamiento" (mm)
- P : "Precipitación incidente" (mm)
- ETR : "Evapotranspiración real" (mm)
- Q : "Escorrentía" (mm)
- D : "Demanda de agua y extracciones"

### Formula 2: Estimación del volumen medio anual de escurrimiento

$$V_m = A_c \times P_m \times C_e$$

Donde:

- $V_m$  : "Volumen medio anual escurrido (m<sup>3</sup>)"
- $A_c$  : "Área de la cuenca (m<sup>2</sup>)"
- $P_m$  : "Precipitación media anual (m)"
- $C_e$  : "Coeficiente de escurrimiento"

### Formula 3: Determinación de la oferta hídrica en la cuenca (OHT)

$$\text{OHT} = a \sum_{i=1}^{12} \text{OHi} \cdot A = a \sum_{i=1}^{12} P_m \cdot A$$

Dónde:

- i : 1, 2, 3, ... 12 meses
- OHT : oferta de agua (m<sup>3</sup>. año<sup>-1</sup>)
- OHi : oferta mensual de agua (m<sup>3</sup>. año<sup>-1</sup>)
- Pmi : área de la cuenca (ha).

### Formula 4: Oferta hídrica anual disponible

$$\text{OHD} = a \sum_{i=1}^{12} (\text{OHi} - \text{ETPi})$$

Dónde:

- HOD : "Oferta hídrica anual disponible (m<sup>3</sup>. año<sup>-1</sup>)"
- OHi : "Oferta hídrica i (m<sup>3</sup>. año<sup>-1</sup>)"
- ETPi : "Evapotranspiración potencial i (m<sup>3</sup>. año<sup>-1</sup>)"

I : "Meses del año (1, 2, 3...12)"

#### Fórmula 5: Formula de caudal

$$*Q = V \times A*$$

Donde:

Q = Caudal

V = Velocidad superficial

A = Área de sección transversal

#### Formula 6: Precipitación media (Polígono de Thiessen)

$$P_{med} = \frac{1}{A_t} \sum_{i=1}^n A_i * P_i$$

Donde:

$P_{med}$  = "Precipitación media"

$A_t$  = "Área total de la cuenca"

$A_i$  = "Área de influencia parcial del polígono de Thiessen correspondiente a la estación i"

$P_i$  = "Precipitación de la estación i"

n = "Número de estaciones tomadas en cuenta"

#### Formula 7: Índice de compacidad o coeficiente de Gravelius (Ic)

$$Ic = \frac{P}{P_o} = \frac{P}{2 * \sqrt{\pi * A}} = 0.282 \left( \frac{P}{\sqrt{A}} \right)$$

Si:

$Ic = 1$  la cuenca es de forma circular. Este coeficiente nos dará luces sobre la escorrentía y la forma del hidrograma resultante de una determinada lluvia caída sobre la cuenca.

$Ic \approx 1$  cuenca regular

$Ic \neq 1$  cuenca irregular; ( $Ic$  grande, menos susceptible a inundaciones).

#### Formula 8: Periodo de retorno

$$T = \frac{n + 1}{m} \quad y \quad P = \frac{m}{n + 1}$$

Donde:

T = "Periodo de retorno (años)"

n = "Número de años de registro"

$m$  = "Número de orden"

$P$  = "Probabilidad"

**Anexo 6.** Panel fotográfico

**Imagen 1**  
Medición de caudal in situ, parte media baja de la cuenca



**Imagen 2**  
Medición de caudal in situ, parte media alta de la cuenca





**Imagen 3**  
Medición de caudal in situ, parte alta de la cuenca



**Imagen 4**  
Vista fotográfica del resultado de la evaluación de calidad de la cuenca in situ



**Imagen 5**  
Vista fotográfica del equipo que mide el caudal





# Disponibilidad hídrica de la cuenca Rumiayacu para el abastecimiento poblacional de la ciudad Moyobamba utilizando el modelo hidrológico determinístico

*por* Marco Antonio Ramírez Pérez

---

**Fecha de entrega:** 23-may-2024 01:09p.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2380079627

**Nombre del archivo:** . \_GEST.AMB. - \_Marco\_Antonio\_Ram\_rez\_P\_rez\_- \_CORREGIDO\_16.05.docx (5.03M)

**Total de palabras:** 17126

**Total de caracteres:** 97864



# Disponibilidad hídrica de la cuenca Rumiayacu para el abastecimiento poblacional de la ciudad Moyobamba utilizando el modelo hidrológico determinístico

## INFORME DE ORIGINALIDAD



## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://repositorio.unsm.edu.pe">repositorio.unsm.edu.pe</a> Fuente de Internet	4%
2	<a href="https://vdocuments.mx">vdocuments.mx</a> Fuente de Internet	4%
3	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	2%
4	<a href="https://tesis.unsm.edu.pe">tesis.unsm.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="https://repositorio.lamolina.edu.pe">repositorio.lamolina.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="https://repositorio.unap.edu.pe">repositorio.unap.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
7	<a href="https://www.researchgate.net">www.researchgate.net</a> Fuente de Internet	<1%
8	<a href="https://1library.co">1library.co</a> Fuente de Internet	<1%