

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS,
GEOLOGÍA Y CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



“Mejora del balance hídrico mediante la implementación de técnicas de optimización fundamentadas en bases de datos hidráulicas en la presa Cuchoquesera provincia de Cangallo, departamento de Ayacucho, 2023”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera Civil

Presentado por:

Bach. Maria Purina Roca De la Cruz

Asesor:

Ing. Jaime Leonardo Bendezú Prado

Ayacucho - Perú

2024

DEDICATORIA

Dedico esta tesis primeramente a Dios, quien supo guiarme en el camino de la vida, y no desmayar en los problemas que se presentaban.

A mi familia quienes por ellos soy lo que soy. Por mi madre, hijo y hermanos por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos más difíciles de mi vida. Ellos me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a la universidad UNSCH, gracias por haberme permitido formarme en ella, gracias a todas las personas que fueron participe de este proyecto, principalmente al Ing, Jaime Bendezú Prado, por su perseverancia y apoyo en todo momento, a las personas de manera directa o indirecta, gracias a todos ustedes, fueron responsables de realizar su pequeño aporté, que el día de hoy se verá reflejado en la culminación de mi paso por la universidad. Gracias a mi familia que fueron mis mayores motivos durante este proceso, Gracias a Dios, que fue mi principal apoyo y motivador cada día a día.

Este es un momento especial que espero, perduré en el tiempo, no solo en la mente de las personas a quienes agradecí, sino también a quienes invirtieron su tiempo para echarle una mirada a mi proyecto de tesis, a ellos asimismo les agradezco con todo mi ser,

RESUMEN

La presa Cuchoquesera ha experimentado fluctuaciones notables en sus caudales, destacando la necesidad urgente de estrategias de gestión adaptativas, en respuesta, se han integrado técnicas de optimización avanzadas fundamentadas en bases de datos hidráulicas, los cuales incluyen la programación lineal y dinámica, junto con simulaciones de Monte Carlo, fortaleciendo la capacidad de la presa para manejar estas variaciones de manera eficiente. Una tendencia alarmante fue la caída en la confiabilidad del caudal, descendiendo del 32.80% al 18.60% entre 2018 y 2022, subrayando la necesidad de una revisión meticulosa y una acción correctiva en la gestión de la presa. Sin embargo, gracias a las técnicas de optimización implementadas por mediante de una programación simulada, se observó una mejora significativa, donde la probabilidad de salidas excesivas se redujo impresionantemente del 75.31% al 39.54% de 2013 a 2023. Esta optimización no solo refleja una gestión más sofisticada, sino también mejoras potenciales en las condiciones hidrológicas. Además, la adopción de un enfoque multidimensional, que armoniza técnicas de vanguardia con bases de datos hidráulicas precisas, ha sido crucial para la eficacia de la gestión hídrica, garantizando la constancia en el suministro de agua durante períodos críticos. Este proceso ha confirmado la relevancia de la programación lineal y la dinámica en la estabilización del balance hídrico y en la preparación de la presa Cuchoquesera para afrontar desafíos futuros con resiliencia y sostenibilidad.

Palabras clave: Técnicas de optimización, desviación estándar, confiabilidad, tendencias, Monte Carlo, condiciones hidrológicas, base de datos hidráulicos.

ABSTRACT

The Cuchoquesera dam has experienced notable fluctuations in its flows, highlighting the urgent need for adaptive management strategies. In response, advanced optimisation techniques, including linear and dynamic programming, along with Monte Carlo simulations, have been integrated, strengthening the dam's ability to handle these variations efficiently. An alarming trend was the drop in flow reliability, falling from 32.80% to 18.60% between 2018 and 2022, underlining the need for meticulous review and corrective action in dam management. However, thanks to optimisation techniques implemented through simulated scheduling, a significant improvement was observed, where the probability of excessive outflows was impressively reduced from 75.31% to 39.54% from 2013 to 2023. This optimisation not only reflects more sophisticated management, but also potential improvements in hydrological conditions. In addition, the adoption of a multidimensional approach, harmonising state-of-the-art techniques with accurate hydraulic databases, has been crucial to the effectiveness of water management, ensuring consistency in water supply during critical periods. This process has confirmed the relevance of linear programming and dynamics in stabilising the water balance and preparing the Cuchoquesera dam to face future challenges with resilience and sustainability.

Key words: Optimisation techniques, standard deviation, reliability, trends, Monte Carlo, hydrological conditions, hydraulic database.

INTRODUCCIÓN

La administración de los recursos hídricos es de suma importancia en la actualidad, particularmente en un contexto global donde la demanda de agua está en constante crecimiento, en vista de esta situación, se llevó a cabo una investigación en la provincia de Cangallo, departamento de Ayacucho, centrada en la presa Cuchoquesera, que tiene un papel esencial como depósito hídrico. A pesar de su relevancia, hay un consenso creciente sobre la imperativa necesidad de incorporar técnicas avanzadas para mejorar su gestión hídrica, es por ello que la centralidad de este estudio radica en la mejora del balance hídrico y mediante el uso de datos hidráulicos, se busca entender mejor el comportamiento y la dinámica del agua almacenada, permitiendo así identificar posibles áreas de mejora en la gestión del recurso.

Un componente fundamental en esta investigación es el balance hídrico, que muestra la relación entre los ingresos y salidas de agua, y cómo estos factores afectan la capacidad de almacenamiento de la presa. A través de técnicas de optimización basadas en bases de datos hidráulicas, se pueden detectar y abordar eficientemente irregularidades o ineficiencias en el balance hídrico, cumpliendo los objetivos de este estudio los cuales son: mejorar el balance hídrico de la presa Cuchoquesera, utilizando técnicas avanzadas de optimización basadas en datos hidráulicos, que permitan diagnosticar posibles falencias o áreas de mejora en la administración del recurso, y ofrecer soluciones prácticas y viables.

Esta investigación es innovadora en su acercamiento a la gestión hídrica, ya que propone el uso de bases de datos hidráulicas como una herramienta clave para mejorar el balance hídrico, puesto que al entender y optimizar el comportamiento del agua en la presa Cuchoquesera, se busca fomentar una administración del recurso más sostenible y eficiente, que beneficie tanto al medio ambiente como a las comunidades locales.

El primer capítulo presentará el planteamiento del problema, describiendo la situación actual de la presa, la justificación, las limitaciones del estudio y los objetivos propuestos. En el segundo capítulo, se ofrecerá un marco teórico, revisando investigaciones previas y literatura pertinente al tema y posteriormente en el tercer capítulo, se detallará la metodología empleada, subrayando el uso de bases de datos hidráulicas y técnicas de optimización. Los hallazgos y su análisis se discutirán en el cuarto capítulo y finalmente, el último capítulo brindará conclusiones y recomendaciones basadas en los resultados del estudio.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS.....	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT	v
INTRODUCCIÓN	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
CAPÍTULO I: Planteamiento del problema.....	14
1.1. Descripción del problema	14
1.2. Delimitación del problema.....	15
1.2.1. Espacial (geográfica).	15
1.2.2. Temporal.....	15
1.2.3. Temática y unidad de análisis.....	15
1.3. Formulación del problema.	15
1.3.1. Problema general.....	15
1.3.2. Problemas específicos.....	15
1.4. Justificación e importancia.....	15
1.4.1. Justificación	15
1.4.2. Importancia	16
1.5. Limitaciones de la investigación.	16
1.6. Objetivos.....	16
1.6.1. Objetivo general.	16
1.6.2. Objetivos específicos.	16
CAPÍTULO II: Marco teórico.....	17
2.1. Antecedentes.....	17
2.1.1. Investigaciones internacionales.	17

2.1.2.	Investigaciones nacionales.....	18
2.2.	Bases teóricas.....	19
2.2.1.	Hidrología.....	19
2.2.2.	Modelos estocásticos	19
2.2.3.	Balance Hídrico.....	21
2.2.3.1.	Balance Hídrico en las presas.....	21
2.2.4.	Medición y validación de bases de datos hidráulicas	22
2.2.5.	Gestión de recursos hídricos.....	23
2.2.6.	Optimización del balance hídrico	25
2.2.7.	Modelado hidráulico.....	25
2.2.8.	Modelos regionales de flujo hidráulico	26
2.2.9.	Parámetros hidrológicos.....	27
2.2.10.	Métodos de Optimización.....	29
2.2.10.1.	Programación Lineal	29
2.2.10.2.	Programación Dinámica	31
2.2.10.3.	Monte Carlo.....	32
2.3.	Marco conceptual.....	37
2.3.1.	Balance hidrológico.....	37
2.3.2.	Bases de datos hidráulicas.....	37
2.3.3.	Eficiencia en el uso del agua	38
2.3.4.	Presa Cuchoquesera.....	38
2.3.5.	Seguridad hídrica.....	39
2.3.6.	Gestión de presas.....	40
CAPÍTULO III: MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN		42
3.1.	Enfoque	42
3.2.	Alcance.....	42
3.3.	Diseño de investigación.....	42

3.4.	Población y muestra	42
3.5.	Hipótesis	43
3.5.1.	Hipótesis general	43
3.5.2.	Hipótesis específicas.....	43
3.6.	Operacionalización de variables, definición conceptual y operacional.	43
3.7.	Técnicas e instrumentos.....	45
3.7.1.	Técnicas.....	45
3.7.2.	Instrumentos.....	45
3.8.	Técnicas estadísticas para el procesamiento de la información.	45
3.9.	Desarrollo del trabajo de tesis	45
3.9.1.	Antecedente del área de estudio	45
3.9.2.	Ubicación del área en estudio.....	46
3.9.2.1.	Ubicación política.....	46
3.9.2.2.	Ubicación Hidrográfica.....	47
3.9.2.3.	Acceso y vías de comunicación.....	48
3.9.3.	Metodología Propuesta	48
3.9.4.	Análisis Estadístico de los Datos de Caudal y Volumen	51
3.9.4.1.	Comportamiento de los caudales de entrada.....	51
3.9.4.2.	Comportamiento de los Volúmenes de entrada	55
3.9.4.3.	Comportamiento de los caudales de salida.....	60
3.9.4.4.	Comportamiento de los Volúmenes de salida.....	64
3.9.5.	Optimización del Volumen de la presa	67
3.9.5.1.	Programación Lineal.....	68
3.9.5.2.	Programación Dinámica.....	71
3.9.6.	Monte Carlo	75
3.9.6.1.	Incertidumbre de los caudales de entrada y salida	75
3.9.6.2.	Evaluación de la confiabilidad del almacenamiento de la presa	77

3.9.6.3. Evaluación de riesgos	80
3.9.6.4. Planificación a largo plazo	82
CAPÍTULO IV: Resultados y Discusión	85
4.1. RESULTADOS CONFORME AL OBJETIVO ESPECÍFICO 1	85
4.2. RESULTADOS CONFORME AL OBJETIVO ESPECÍFICO 2	88
4.3. RESULTADOS CONFORME AL OBJETIVO ESPECÍFICO 3	93
4.4. Discusión	99
CONCLUSIONES	101
RECOMENDACIONES	102
Referencias bibliográficas.....	103
ANEXOS.....	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Gestión de recursos hídricos.....	24
Figura 2 Presa Cuchoquesera.....	39
Figura 3 Seguridad en las presas	41
Figura 4 Dique de la presa Cuchoquesera.....	46
Figura 5 Mapa de Ubicación Nacional y Departamental	47
Figura 6 Comportamiento de los caudales (m ³ /s) 2002-2022 de la presa Cuchoquesera	52
Figura 7 Caudales de 2009, 2017 y 2003 (m ³ /s) de la presa Cuchoquesera.....	53
Figura 8 Tendencia de Caudales Totales Anuales (2002-2022) (m ³ /s) de la presa Cuchoquesera.....	54
Figura 9 Volumen MMC Mensual 2002-2022 de la presa Cuchoquesera.....	56
Figura 10 Volumen MMC Mensual 2002 vs 2003 de la presa Cuchoquesera.....	57
Figura 11 Volumen MMC Mensual 2009 vs 2015 de la presa Cuchoquesera.....	57
Figura 12 Volumen MMC Mensual 2017-2021 de la presa Cuchoquesera.....	58
Figura 13 Volumen MMC Mensual 2018 vs 2022 de la presa Cuchoquesera.....	59
Figura 14 Tendencia de Volumen MMC Anual 2002-2022 de la presa Cuchoquesera	59
Figura 15 Caudal Total Anual (2002-2022) (m ³ /s) de la presa Cuchoquesera.....	61
Figura 16 Caudales Mensuales (2002-2022) (m ³ /s) de la presa Cuchoquesera.....	62
Figura 17 Volúmenes Totales MMC (2018-2022) de la presa Cuchoquesera	63
Figura 18 Detección de Patrones en Caudal de Entrada 2002-2022 de la presa Cuchoquesera.....	63
Figura 19 Volúmenes MMC Totales (2002-2010) de la presa Cuchoquesera	65
Figura 20 Comparación de Volumen MMC: Julio-Nov vs Resto de meses de la presa Cuchoquesera.....	66
Figura 21 Volúmenes MMC Mensuales (2018-2022) de la presa Cuchoquesera	66
Figura 22 Volúmenes MMC Mensuales (2020-2022) de la presa Cuchoquesera	67
Figura 23 Código para Maximizar el almacenamiento de Agua.....	68
Figura 24 Análisis de estado hídrico (2002-2022) - diciembre a mayo de la presa Cuchoquesera.....	70
Figura 25 Almacenamiento total de agua (2002-2022) de la presa Cuchoquesera	71
Figura 26 Código para encontrar el balance anual y mensual de agua.....	73
Figura 27 Balance Anual Positivo y Negativo	74
Figura 28 Cálculo de la Incertidumbre por Monte Carlo	75

Figura 29 Desviación Estándar de los Caudales de Entrada y Salida por Año	77
Figura 30 Código de la confiabilidad anual	78
Figura 31 Confiabilidad del caudal y volumen por año	80
Figura 32 Probabilidad de que la salida sea mayor que la entrada 2002-2022	80
Figura 33 Probabilidad de que la salida sea mayor que la entrada (2023-2032) de la presa Cuchoquesera.....	82
Figura 34 Pronóstico del Volumen en 10 años posteriores	83
Figura 35 Comparativa de Caudales Totales de Entrada por Año de la presa Cuchoquesera.....	89
Figura 36 Comparativa de Caudales Totales de Salida por Año de la presa Cuchoquesera	89
Figura 37 Comparativa de Volumen MMC de Entrada y Salida (2002-2022) de la presa Cuchoquesera.....	90
Figura 38 Volumen pronosticado MMC (m ³) de entrada y salida en 10 años posteriores de la presa Cuchoquesera.....	91
Figura 39 Medición de los caudales de entrada perspectiva 1	93
Figura 40 Medición de los caudales de entrada perspectiva 2.....	94
Figura 41 Medición de los caudales de salida perspectiva 1	95
Figura 42 Medición de los caudales de salida perspectiva 2	96
Figura 43 Medición de los volúmenes de entrada	97
Figura 44 Medición de los volúmenes de salida.....	98
Figura 45 Punto donde se comenzó la medición batimétrica	99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de Variables.....	44
Tabla 2 Ubicación Política.....	47
Tabla 3 Ubicación Hidrográfica	48
Tabla 4 Vías de acceso Ayacucho-Presa Cuchoquesera.....	48
Tabla 5 Metodología de la Solución.....	50
Tabla 6 Caudales de entrada de la presa Cuchoquesera (m^3/s)	51
Tabla 7 Volumen MMC de entrada de la presa Cuchoquesera.....	55
Tabla 8 Caudales de salida de la presa Cuchoquesera (m^3/s)	60
Tabla 9 Volúmenes de salida de la presa Cuchoquesera	64
Tabla 10 Análisis en la diferencia de estado hídrico desde el año 2002 - 2022 de la presa Cuchoquesera.....	69
Tabla 11 <i>Balance anual y mensual (m^3) de la presa Cuchoquesera</i>	72
Tabla 12 Desviación estándar de los caudales de entrada y salida de la presa Cuchoquesera.....	76
Tabla 13 Confiabilidad del Caudal y Volumen de la presa Cuchoquesera	79
Tabla 14 Probabilidad de que la salida sea mayor que la entrada para 10 años posteriores de la presa Cuchoquesera.....	81
Tabla 15 Volumen pronosticado MMC (m^3) de entrada y salida en 10 años posteriores de la presa Cuchoquesera.....	84
Tabla 16 Caudal y Volumen MMC promedio.....	85
Tabla 17 Confiabilidad del caudal y volumen MMC en los últimos 5 años de la presa Cuchoquesera.....	86

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.Descripción del problema

El balance hídrico en las presas es un tema de gran importancia por su impacto en el agua tanto a nivel nacional como mundial, ya que el agua es un recurso escaso y vital para muchas industrias y comunidades. Según (Ollero, 2007) la gestión eficaz de las presas y la optimización de su funcionamiento es fundamental para garantizar el suministro de agua potable en la generación de energía hidroeléctrica, el riego agrícola y la protección del medio ambiente, además menciona que es importante plantar algunas bases para un cambio en la resiliencia de los espacios fluviales, a nivel nacional dentro del país la mejora del balance hidrológico es un tema que se debe abordar, ya que el Perú al ser un país con una gran diversidad geográfica y alta dependencia en la agricultura el mejoramiento en el balance hidrológico garantiza un suministro adecuado de este recurso vital.

Actualmente la Presa Cuchoquesera se enfrenta a importantes desafíos relacionados con la gestión y el manejo del agua. La presa ya experimentó niveles de agua fluctuantes y problemas con el desbalance entre el suministro y la demanda de agua en el área como lo indica (OPEMAN, 2023) mencionado que la capacidad total de almacenamiento de 80 millones de m³, ahora hay menos de 11 millones de m³ debido a que no llueve y no hay flujo de agua cruda hacia la presa.

El problema que se presenta en este trabajo de investigación es que la presa Cuchoquesera no cuenta con un sistema del balance hídrico eficiente para mantener de forma adecuada los niveles de agua, lo que genera una serie de consecuencias negativas. Estas consecuencias incluyen pérdida de agua debido a derrames, falta de suministro de agua en momentos críticos, deterioro de la calidad del agua y cambios en los ecosistemas acuáticos cercanos. Ante esta situación, es necesario desplegar técnicas de optimización basadas en datos hidráulicos para solucionar el problema y lograr un balance hídrico óptimo en la presa Cuchoquesera. Estas técnicas aprovecharán los avances en la tecnología de bases de datos hidráulicas para recopilar y analizar datos relevantes sobre el flujo de agua, la capacidad de almacenamiento, las condiciones climáticas y otros factores influyentes.

1.2.Delimitación del problema.

1.2.1. Espacial (geográfica).

La presente investigación se desarrollará en la provincia de Cangallo, departamento de Ayacucho.

1.2.2. Temporal.

La investigación se desarrollará en el año 2023.

1.2.3. Temática y unidad de análisis.

La temática en la presente investigación es el estudio y la aplicación de técnicas de optimización basadas en bases de datos hidráulicas.

La unidad de análisis en la presente investigación son los factores que afectan el balance hídrico.

1.3.Formulación del problema.

1.3.1. Problema general.

¿Cómo influyen las bases de datos hidráulicas en la gestión del agua para mejorar el balance hídrico mediante la implementación de técnicas de optimización en la presa Cuchoquesera, provincia de Cangallo, departamento de Ayacucho?

1.3.2. Problemas específicos.

- ¿Qué técnicas de optimización resultan ser más eficaces para el manejo eficiente del balance hídrico en la presa Cuchoquesera?
- ¿Cómo afecta la aplicación de técnicas de optimización, fundamentadas en análisis de bases de datos hidráulicas, al mejoramiento del balance hídrico de la presa Cuchoquesera?
- ¿Qué factores externos e internos influyen en el balance hídrico de la presa Cuchoquesera?

1.4.Justificación e importancia.

1.4.1. Justificación

El presente proyecto mediante la implementación de técnicas de optimización permitirá una gestión más eficiente y sostenible del recurso hídrico en la presa Cuchoquesera con la finalidad de maximizar la disponibilidad de agua en momentos

críticos, minimizando las pérdidas por agentes externos lo que garantizará un suministro adecuado para los diferentes usos del agua, además esta investigación contribuirá a tomar decisiones informadas y estratégicas para una gestión efectiva del agua, beneficiando tanto a la población local como al medio ambiente.

1.4.2. Importancia

Contar con la realización de un mejoramiento del balance hídrico en la Presa Cuchoquesera permitirá una gestión más eficiente de este recurso, evitando su mal uso y promoviendo su conservación, además la realización de resultados en esta investigación proveerá conocimiento sobre el estado actual a los responsables de la gestión del agua para tomar decisiones más efectivas y promover el desarrollo sostenible de la región de Ayacucho.

1.5.Limitaciones de la investigación.

El presente proyecto de investigación no encuentra limitaciones, ya que para la realización de los resultados ya se posee los datos hídricos de la presa Cuchoquesera y el conocimiento necesario adquirido a lo largo de la vida laboral.

1.6.Objetivos.

1.6.1. Objetivo general.

Determinar cómo la implementación de técnicas de optimización, fundamentadas en bases de datos hidráulicas, contribuye a la mejora del balance hídrico en la presa Cuchoquesera, provincia de Cangallo, departamento de Ayacucho.

1.6.2. Objetivos específicos.

- Identificar las técnicas de optimización más eficaces para el manejo eficiente del balance hídrico en la presa Cuchoquesera.
- Evaluar el impacto de la implementación de técnicas de optimización, basadas en análisis de bases de datos hidráulicas, en el mejoramiento del balance hídrico de la presa Cuchoquesera.
- Determinar los principales factores externos e internos que afectan el balance hídrico de la presa Cuchoquesera

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes.

2.1.1. *Investigaciones internacionales.*

Campo Boada (2019), en su artículo “Implementación de modelo hidrológico para mejora de la operación de la Central Hidroeléctrica Baba” desarrollaron un modelo hidrológico al que denominaron TETIS con el objetivo de mejorar la regulación del embalse asociado a la Central Hidroeléctrica Baba y optimizar la producción de energía, la metodología que los autores utilizan se basa en datos topográficos, así como en información sobre los usos y tipos de suelo a nivel nacional para ello desarrollan un modelo de una escala temporal horaria y una escala espacial de celdas de 200 metros, lo que les permitió obtener pronósticos de caudales en la cuenca aportante al embalse y optimizar la producción de energía.

Méndez et al., (2019), en su artículo “Conservación y Restauración de la Cuenca del Río Presidio; Delimitación de áreas Prioritarias” mencionan que la subcuenca del río Presidio se encuentra en buen estado, con aproximadamente el 80 % del territorio presentando afectaciones menores en cuanto a la cobertura vegetal y degradación de suelos. Sin embargo, las zonas cercanas a la presa Picachos son las que han sufrido mayores afectaciones. Los autores mencionan que estas afectaciones pueden ser abordadas mediante una estrategia de intervención que reduzca los escurrimientos superficiales y el arrastre de sedimentos. Además, plantean la necesidad de intervenir en las áreas afectadas de la subcuenca del río Presidio para mitigar los efectos negativos en la cobertura vegetal y suelos. Los autores proponen la implementación de prácticas de conservación y restauración para mejorar la respuesta hídrica de la cuenca, contribuyendo así una gestión más sostenible y resiliente del recurso hídrico frente al cambio climático.

Pardo (2023), en su tesis “Mejora de la gestión del recurso hídrico mediante la incorporación de indicadores de regímenes ecológicos en el análisis de sistemas de recursos hídricos” tiene como objetivo mejorar la gestión del recurso hídrico mediante la incorporación de indicadores de regímenes ecológicos en el análisis de sistemas de recursos hídricos. Para lograrlo el autor, propone una metodología que involucra la recopilación de datos de diferentes fuentes, como mediciones de caudal, calidad del agua y características ecológicas de los ecosistemas acuáticos. Con ayuda de estos datos realiza un análisis de los regímenes ecológicos del sistema de recursos hídricos y utilizando los

indicadores recopilados para proporcionar información importante sobre el estado y la salud de los ecosistemas acuáticos, lo que le permite tomar decisiones más informadas en cuanto a la conservación y el uso sostenible del recurso hídrico.

2.1.2. Investigaciones nacionales.

Asto y Stefy (2019) en su tesis “Análisis hidrológico y estimación del balance hídrico para la presa de relaves Pataz” realizan la búsqueda de un emplazamiento adecuado para la presa, considerando la seguridad de la población y la mínima alteración del curso natural del agua. Para ello llevan a cabo un análisis de la red de estaciones pluviométricas y meteorológicas para obtener los datos necesarios que permitan cuantificar las entradas y salidas de agua en el balance hídrico, con la finalidad de seleccionar las estaciones apropiadas, los autores realizan un tratamiento de los datos, así como los cálculos y análisis correspondientes para obtener variables clave, como el caudal con un periodo de retorno de 100 años y la evapotranspiración potencial. Estas variables les sirvieron para introducirlos en el modelo hidrológico WEAP para obtener los caudales simulados de la cuenca aportante y así realizar el balance hídrico.

Mancilla y Montenegro (2021) en su tesis titulada “Balance hídrico del río Huamboya y su relación con una Presa” realizan un análisis del Balance Hídrico del río Huamboya en la localidad de Camporredondo, provincia de Luya, Amazonas con el objetivo de determinar la necesidad de una presa de derivación o de embalse para aprovechar el recurso hídrico en el cultivo de café, la metodología que utilizan los autores es el análisis hidrológico según las normas de la Autoridad Nacional del Agua, el análisis del agua, el cálculo de la necesidad hídrica, el estudio topográfico, hidrológico y ambiental. Una vez ya implementada esta metodología los autores determinan que se necesitan 847.22 l/s de agua para regar mil doscientas hectáreas de cultivo de café y garantizar un flujo continuo del recurso hídrico, además encontraron que no hay déficit entre la oferta de agua de la fuente analizada y la demanda hídrica, lo que indica un balance hídrico positivo.

Maldonado (2021) en su tesis “Análisis de la precipitación y los índices de teleconexión ENOS para la evaluación hidrológica de la presa Rontoccocha” proponen establecer las diferencias significativas entre los índices de teleconexión (ONI e ICEN) de los eventos ENOS (El Niño Oscilación del Sur) y la precipitación acumulada mensual en el departamento de Apurímac. Para lograrlo, se agrupó la precipitación en función de las fases de los eventos ENSO (La Niña, El Niño y Neutro) y se buscó una diferencia

significativa entre estos grupos, así como una correlación lineal donde observaron que el índice de teleconexión ICEN tiene una mayor influencia en las estaciones de Apurímac en comparación con el ONI. Para determinar el análisis de la evaluación hidrológica realizaron un balance hídrico y una simulación de operación de embalse utilizando los datos del sistema existente. Como resultado, encontraron un alto desempeño en el comportamiento hidrológico de la presa, y mediante este análisis estimaron que su capacidad de almacenamiento promedio es de 2'401,077.16 m³ para un año normal, mientras que en la actualidad el sistema almacena 2'018,000.00 m³.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Hidrología

La hidrología es una ciencia básica en Ingeniería del Agua que abarca una amplia gama de problemas científicos y es fundamental para profesionales dedicados a proyectos de recursos hídricos, se enfoca en el ciclo hidrológico, que incluye los procesos de evaporación, condensación, precipitación, flujo, infiltración, almacenamiento y transporte del agua en diferentes formas: líquido, sólido (hielo) y gas (vapor).

La hidrología analiza cómo interactúa el agua con la atmósfera, el suelo, la vegetación, las masas de agua superficiales y subterráneas, y cómo afecta a los ecosistemas, la agricultura, el abastecimiento de agua potable, la gestión de los recursos hídricos, la prevención de inundaciones y otros aspectos relacionados, para ello los hidrólogos utilizan observaciones, mediciones, modelos matemáticos y herramientas tecnológicas para comprender y predecir el comportamiento del agua en diferentes entornos y situaciones (García et al., 2018).

2.2.2. Modelos estocásticos

Custodio y Llamas (2001), indican que los modelos estocásticos son adecuados para describir las series cronológicas o series de tiempo hidrológico. Las series cronológicas se dividen en dos categorías: determinísticas y estocásticas. Las series determinísticas son aquellas cuyo valor en cualquier instante se puede determinar con certeza y estas series pueden ser periódicas, semiperiódicas, o presentar tendencias o saltos. Las series estocásticas son aquellas series cuyos valores en cualquier instante se pueden definir por una función de distribución, es decir, en términos de probabilidad; las series estocásticas pueden ser estacionarias o no según sus parámetros (media, varianza, etc.) sean

independientes o no a través del tiempo. García (2010), indica que el sentido de la palabra estocástica, puede dar a entender que se trata de un proceso puramente aleatorio; en hidrología, este no es el caso, ya que puede decirse que los procesos relacionados a las series temporales que se desarrollan con esta técnica son parcialmente aleatorios; esto es, relacionan una parte determinística y otra probabilística. En hidrología probabilística, el interés está centrado en la probabilidad que de un evento sea igualado o excedido, es decir, que está basado en la ley de las probabilidades. En la hidrología estocástica el interés está centrado en la secuencia temporal de los eventos (precipitaciones, caudales, etc.), la secuencia temporal es todo lo que interesa. La representación estocástica preserva las propiedades de ocurrencia asociada con la secuencia de los eventos. Existen dos tipos de modelos estocásticos de las series de tiempo hidrológico, modelos que son independientes en el tiempo, como los modelos estadísticos y los modelos probabilísticos y los modelos que consideran la dependencia (correlación) en el tiempo, como es el caso de los modelos estocásticos propiamente dichos (hidrología estocástica).

El clima de una región es determinante para su hidrología, y la lluvia es una magnitud fundamental en el balance hídrico. Debido a la complejidad de los procesos naturales y la falta de comprensión de las causas de los fenómenos meteorológicos, se utilizan modelos estocásticos para analizar los datos observados de forma cronológica.

Existen tres tipos de modelos estocásticos: Están los modelos continuos o de series temporales, modelos que describen la magnitud de los eventos y los modelos estocásticos usado para evaluar la variabilidad y la incertidumbre asociadas con los procesos hidrológicos. Los modelos de precipitación diaria describen tanto la ocurrencia como la cantidad de precipitación de manera concisa para lograr simplicidad en los modelos, se busca reducir el número de parámetros ajustando series de Fourier finitas (García et al., 2018).

Según Chavarro (2017) para realizar un modelamiento de cálculo estocástico se realizan los siguientes pasos:

- Recopilación y preparación de datos
- Análisis exploratorio de datos
- Selección del modelo
- Estimación de parámetros
- Validación del modelo

- Simulación y pronóstico

2.2.3. Balance Hídrico

El balance hídrico se refiere a la cantidad de agua que ingresa y sale de un sistema hidrológico, como una cuenca, embalse o presa. Se calcula considerando las diferentes entradas y salidas de agua, como la precipitación, la escorrentía, la infiltración y los flujos subterráneos, donde el objetivo es determinar si la cantidad de agua que ingresa es suficiente para satisfacer las demandas y necesidades en el área estudiada. El balance hídrico es crucial en la gestión de recursos hídricos, permitiendo evaluar la disponibilidad y demanda de agua, identificar desequilibrios y tomar decisiones informadas para un uso eficiente del agua (Chen Xuekai et al., 2021).

2.2.3.1. Balance Hídrico en las presas

El balance hídrico en las presas se refiere a la cantidad de agua que entra y sale de la presa a lo largo del tiempo, teniendo en cuenta las diferentes fuentes de entrada y las salidas. Las entradas comprenden la precipitación directa sobre la presa y el aporte de los afluentes que alimentan la presa. Por otro lado, las salidas incluyen el vertido de agua cuando la presa alcanza su capacidad máxima, el suministro de agua para diversos usos, como riego o abastecimiento urbano, la evaporación y la infiltración. El balance hídrico permite evaluar y controlar el flujo de agua en la presa, garantizando un uso eficiente y sostenible del recurso (Chen Xuekai et al., 2021). El balance hídrico puede expresarse de la siguiente manera:

$$\frac{dS}{dt} = I(t) - O(t)$$

Donde:

$I(t)$: Ingresos al sistema o volumen de control

$O(t)$: Salidas del sistema

S: Variable de estado que indica el volumen de agua almacenada

Según García et al. (2018) el balance hídrico en las presas presenta las siguientes aplicaciones:

- Evaluar la variación del volumen de agua a lo largo del tiempo en lagos, lagunas y embalses.

- Determinar el tamaño adecuado de los embalses en términos de capacidad de almacenamiento.
- Analizar la capacidad de los embalses para cumplir con las demandas de agua establecidas.
- Estudiar diversos escenarios, como la variabilidad y el cambio climático, cambios en el uso del suelo, entre otros.
- Estimar los tiempos de residencia del agua para relacionarlos con modelos de calidad del agua, nutrientes, entre otros.

2.2.4. Medición y validación de bases de datos hidráulicas

Las principales variables relacionadas con el clima y el agua que se registran en redes de monitoreo hidrológico, estaciones meteorológicas y sistemas de alerta son: precipitación, evaporación, radiación solar, temperatura, humedad relativa, velocidad, dirección del viento, caudal y presión atmosférica (Salas et al., s.f).

Todas estas mediciones hidroclimáticas son realizadas por sensores y almacenadas en dispositivos de registro de datos llevan consigo cierto nivel de incertidumbre. Dado que no existe una técnica de medición perfecta y todos los sensores producen errores sistemáticos y aleatorios, para obtener datos hidroclimáticos confiables, representativos y de calidad, es necesario reducir los efectos de estos errores a un nivel aceptable a través de medidas preventivas y correctivas, como un emplazamiento adecuado, mantenimiento regular y calibración de los sensores. Además, es necesario validar estas series de datos antes de utilizarlas en cualquier tipo de aplicación (Rivera et al., 2004).

Los procedimientos de validación, que forman parte de los procesos de control de calidad hidroclimático, garantizan que la información se esté generando de manera correcta. Estos procedimientos utilizan algoritmos, comprobaciones y pruebas aplicadas a cada registro hidroclimático en las diferentes series temporales que se están validando asignando una etiqueta que indica el grado de calidad de cada registro en función de si pasa o no satisfactoriamente la prueba, estos procedimientos de validación permiten identificar registros erróneos y detectar problemas para abordarlos adecuadamente.

Los procedimientos de validación se dividen según Fiebrich (2010) son los siguientes:

- **Rango:** Se verifica que el dato se encuentre dentro de los límites establecidos, los cuales pueden ser determinados por límites físicos, instrumentales o límites dinámicos según las efemérides.
- **Coherencia temporal del dato:** Se examina la diferencia entre medidas hidroclimáticas consecutivas para asegurarse de que sean coherentes y consistentes en el tiempo.
- **Coherencia interna:** Se verifica la coherencia física o climatológica de cada variable individualmente, así como la consistencia entre diferentes variables. Los valores medidos
 - en el mismo lugar y momento no deben ser contradictorios entre sí.
- **Coherencia temporal de la serie:** Se analiza la variabilidad de un conjunto de datos consecutivos para identificar una escasa o nula variación que pueda indicar problemas en la serie de datos.
- **Consistencia espacial:** Se utilizan datos de estaciones cercanas para comparar y verificar la verosimilitud de los registros hidroclimáticos en proceso de validación.

2.2.5. Gestión de recursos hídricos

La gestión integral del recurso hídrico se basa en el reconocimiento de que los diferentes usos del agua están interrelacionados y que su manejo debe abordarse de manera holística. Surgió como respuesta a la "crisis del agua", que se caracteriza por una presión insostenible sobre este recurso debido a la creciente demanda, la contaminación y el crecimiento demográfico.

No obstante, se ha identificado que el problema central radica en una gestión inadecuada y una falta de gobernanza efectiva del recurso. La gestión integrada del recurso hídrico busca abordar las causas subyacentes de esta deficiente gestión, como la ineficiencia en su uso, los conflictos en aumento y la falta de coordinación entre los diferentes usuarios del agua (Martínez y Vallejo 2018).

Figura 1
Gestión de recursos hídricos



Nota. Extraído del (Banco Mundial, 2016)

- El objetivo principal de la gestión integral del recurso hídrico es combinar y optimizar los diversos usos del agua, minimizando los conflictos entre los usuarios.
- La gestión integral del agua considera los intereses económicos, sociales y ambientales de los usuarios directos y de la sociedad en general.
- Se busca abordar todos los aspectos del agua, como su cantidad, calidad y variaciones temporales, que influyen en su uso y en los usuarios.
- La gestión integral del agua contempla todas las etapas del ciclo hidrológico.
- La gestión integral se lleva a cabo a nivel de cuencas hidrográficas, acuíferos o sistemas hídricos interconectados.
- Existe una integración entre la gestión de la demanda y la gestión de la oferta de agua.
- Se integra la gestión del agua con la gestión de la tierra, otros recursos naturales y los ecosistemas relacionados.

2.2.6. Optimización del balance hídrico

La optimización del balance hídrico se refiere a encontrar estrategias y medidas para lograr un equilibrio adecuado entre la oferta y la demanda de agua en un área o sistema fluvial determinado. Incluye el uso eficiente y sostenible de los recursos hídricos disponibles, teniendo en cuenta los diferentes usos del agua, como el abastecimiento de agua potable, la agricultura, la industria y la protección del medio ambiente.

La optimización del balance hídrico implica analizar y gestionar las diversas variables y factores que afectan la disponibilidad y distribución del agua, como la precipitación, la evaporación, la infiltración, el almacenamiento y la demanda. Se utilizan técnicas y modelos matemáticos para determinar la mejor asignación de los recursos hídricos y maximizar los beneficios económicos, sociales y ambientales (Martínez y Vallejo 2018).

El objetivo final de optimizar el balance hídrico es garantizar un suministro adecuado de agua de calidad, prevenir la escasez o el exceso de agua, minimizar los impactos negativos sobre el medio ambiente y promover el uso sostenible y equitativo de la fuente de agua.

2.2.7. Modelado hidráulico

La modelación hidrológica se realiza a partir de ecuaciones matemáticas que ha experimentado avances significativos a lo largo del tiempo, generando diversos modelos con distintos objetivos y niveles de complejidad. Estos modelos se pueden abordar con diferentes niveles de discretización espacial y temporal. Existen dos enfoques principales: los modelos agregados y los modelos distribuidos. Los modelos agregados se consideran como una entidad homogénea en términos de parámetros y variables de estado. Por otro lado, los modelos distribuidos se subdividen en elementos más pequeños, permitiendo capturar la heterogeneidad de parámetros y variables de estado.

Los modelos matemáticos se utilizan para predecir variables de interés en escenarios donde no se dispone de observaciones, ya sea en el tiempo o en el espacio. Los modelos distribuidos ofrecen la ventaja de proporcionar resultados en cualquier punto del territorio, incluso en áreas no muestreadas previamente. Además, permiten generar mapas de variables simuladas, lo que los hace útiles para abordar problemas espaciales. Es importante tener en cuenta el efecto de escala espacial y temporal en la modelación

hidrológica. Debido a la variabilidad espacial y a la no linealidad de muchos procesos hidrológicos, los parámetros efectivos de un modelo agregado pueden diferir significativamente de los valores medios. En contraste, los modelos distribuidos con una discretización fina pueden abordar este efecto de escala de manera más precisa (García et al., 2018).

2.2.8. Modelos regionales de flujo hidráulico

Modelar varios procesos de flujo hidráulico, como el transporte de solutos y contaminantes, requiere una resolución matemática de los flujos de agua en una matriz porosa saturada (García et al., 2018). Los modelos de flujo de agua regionales se basan en formular la velocidad, u , usando la siguiente ecuación:

$$u = -K\nabla\phi$$

donde K representa conductividad hidráulica saturada y ϕ potencial hídrico. El número de variables a menudo se reduce mediante el uso de variables Verticalmente integrado. La ecuación de flujo de estado estacionario se convierte en

$$\frac{\partial^2\Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\Phi}{\partial y^2} = -N$$

En esta ecuación ϕ es el potencial de caudales, función de las coordenadas x e y , definido por

$$\Phi(x, y) = -K \int_0^{h(x,y)} \phi(x, y, z) dz = -K \frac{h(x, y)^2}{2}$$

donde z es la coordenada vertical, h el espesor de la capa freática y N es la densidad de flujo neto. La relación entre los caudales unitarios (Q_x, Q_y) en una sección vertical de acuífero y el potencial de caudales es

$$Q_x = -\frac{\partial\Phi}{\partial x}, \quad Q_y = -\frac{\partial\Phi}{\partial y}$$

2.2.9. *Parámetros hidrológicos*

Los parámetros hidrológicos representan variables que caracterizan diferentes etapas del ciclo del agua en ambientes naturales como ríos y cuencas hidrográficas. Estos abarcan elementos como la precipitación, el flujo de agua superficial, el caudal de los ríos, el nivel de las aguas subterráneas, la evapotranspiración, la infiltración y el coeficiente de escurrimiento. Son cruciales para comprender y modelar los procesos hidrológicos y se aplican en la gestión de los recursos hídricos, el diseño de infraestructuras y la evaluación del impacto ambiental (García et al., 2018).

A continuación, se mencionan los componentes de la unidad hidrológica, cuencas, ríos, presas, lagos y superficies de terreno:

- **Cuenca:** Se define como una región del territorio que puede ser aislada de tal manera que, si fuera impermeable, toda el agua que caiga dentro de ella se dirigiría hacia un punto de drenaje común. Hay dos tipos principales de cuencas: endorreicas, que desembocan en un lago central, y exorreicas, que drenan fuera de la cuenca, esta delimitación es esencial para controlar los flujos de agua y llevar a cabo una gestión adecuada de los recursos hídricos (García et al., 2018).
- **Río:** Un río representa un sistema en constante movimiento de agua y partículas de sedimento que desempeñan un papel fundamental en las funciones biológicas de la tierra, constituyen los principales conductos activos en la naturaleza y son esenciales para mantener el equilibrio vital en los ecosistemas (García et al., 2018).
- **Lago:** Es un cuerpo de agua natural que conserva una interacción biológica delicada con su entorno natural. Los procesos que ocurren en los lagos son diversos y requieren un enfoque interdisciplinario para su estudio. Esto involucra disciplinas como la biología, limnología, hidrología, hidráulica, sedimentología, termodinámica, entre otras (García et al., 2018).
- **Presa:** Son cuerpos de agua artificiales, construidos por el ser humano, que comparten similitudes con los lagos naturales, aunque con repercusiones ambientales distintivas. El agua almacenada en las presas es utilizada principalmente por el ser humano para diversos fines, como la generación de energía hidroeléctrica, el riego y el suministro de agua potable.

- **Superficie del terreno:** Es el área terrestre que conforma una cuenca hidrográfica incluye los cuerpos de agua, como lagos y ríos, y contribuye a la recarga de los acuíferos mediante la infiltración del agua. También es la fuente primaria de sedimentos que alimentan los ríos y lagos, y proporciona los nutrientes necesarios para la vegetación. Además, parte de esta área es aprovechada por el ser humano para diversos fines. Es inseparablemente asociada con el agua, sirviendo como su conductor y reservorio.

Según García et al. (2018) dentro de los parámetros hidrológicos un factor que interviene en la caracterización de la etapa hidrológica son los procesos de ciclos los cuales son mencionados a continuación:

- **Infiltración:** Es un fenómeno mediante el cual el agua se mueve desde la superficie del suelo hacia sus capas más profundas. Este proceso está influenciado por la morfología y composición del suelo. Se puede presentar de manera saturada o no saturada, siendo estos dos procesos distintos. Mientras que uno se rige directamente por la ley de Darcy, el otro está influenciado por reacciones físico-químicas entre el agua y el material del suelo, donde uno de los aspectos más relevantes es el fenómeno físico de la tensión superficial, que impulsa el desplazamiento de sales en el interior del suelo
- **Evaporación:** Es el fenómeno mediante el cual el agua cambia su estado de líquido a gaseoso, transfiriéndose hacia la atmósfera.
- **Transpiración:** Ocurre cuando las plantas liberan agua a través de sus hojas hacia la atmósfera, ya sea como parte de su proceso de respiración o mediante el transporte de agua desde las raíces. Aunque la cantidad de agua retenida por la vegetación es relativamente pequeña en comparación con la que absorbe y libera.
- **Esguerramiento:** Es el fenómeno en el cual el agua se desplaza sobre la superficie del suelo hacia los cuerpos de agua, como ríos y el océano.
- **Transporte de sedimentos:** El transporte de sedimentos es fundamental en la configuración de las cuencas hidrográficas y está asociado a la formación de su morfología. Este fenómeno también influye en procesos como la desertificación de las cuencas, los cambios en la extensión de los embalses debido a la acumulación de sedimentos y la estabilidad de los cauces de los ríos.

- **Evapotranspiración:** Es la suma de los procesos de evaporación y transpiración.

2.2.10. Métodos de Optimización

2.2.10.1. Programación Lineal

Es importante resaltar que la programación lineal se ha establecido como una de las herramientas cuantitativas más efectivas en el proceso de toma de decisiones. Su amplio uso en el campo de la investigación operativa se debe tanto a la diversidad de sus aplicaciones como a la facilidad con la que puede ser implementada (Serra de la F, 2004).

La programación lineal es una rama de la programación matemática utilizada para optimizar la distribución de recursos limitados en diferentes actividades competitivas. Esta técnica se centra únicamente en funciones objetivas y restricciones de carácter lineal. Sin embargo, no es posible formular todos los problemas de asignación de recursos limitados con este enfoque. En situaciones donde las premisas de la programación lineal no se aplican, se pueden considerar otros modelos matemáticos, como la programación entera (ya sea pura o mixta) o la programación no lineal, para abordar estos problemas (según Hillier y Lieberman, 2002).

Matemáticamente, se representa como:

$$z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

Donde:

z , es el valor que se busca optimizar

c_i , son los coeficientes de la función objetivo

x_i , son las variables de decisión.

Como toda expresión lineal presenta restricciones las cuales son ecuaciones o inecuaciones lineales que las variables de decisión deben satisfacer, estas limitaciones representan las condiciones bajo las cuales debe operar el sistema. Se expresan de la forma:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq (\geq, =)b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq (\geq, =)b_2$$

$$\vdots$$

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq (\geq, =)b_m$$

Donde:

a_{ij} , son los coeficientes de las restricciones

b_i , son los términos constantes

m , es el número de restricciones.

2.2.10.1.1. Regresión Lineal múltiple en Hidrología

La regresión lineal múltiple (RLM) es una herramienta estadística fundamental que los especialistas en hidrología utilizan para transferir datos sobre el flujo de agua desde áreas bien estudiadas a aquellas donde la información es escasa o inexistente. Esta técnica se aplica, por ejemplo, para estimar volúmenes anuales de flujo en lugares con datos limitados, basándose en registros detallados y próximos. Además, se usa para desarrollar fórmulas empíricas que vinculan flujos medios anuales o de periodos de retorno específicos con características físicas de áreas donde se ha realizado medición directa, como el tamaño de la cuenca y propiedades específicas del terreno o patrones de lluvia (Campos, 2016).

Con el inicio del siglo XXI, se han observado los impactos negativos del cambio climático, reflejados en eventos climáticos extremos más intensos y frecuentes. Frente a esta realidad, se ha propuesto incrementar los puntos de medición hidrológica, aunque en la práctica, la cantidad de estaciones ha disminuido drásticamente. En este contexto, el aprovechamiento eficiente de la información hidrológica disponible se vuelve crucial, y la RLM emerge como una solución para el análisis regional de datos hidrológicos y la generación de ecuaciones empíricas (Campos, 2016).

Para ajustar un modelo usando RLM, se emplea el método de mínimos cuadrados ordinarios (MCO), que presupone que todas las varianzas de la variable dependiente son iguales, una condición conocida como homocedasticidad. Sin embargo, esta suposición a menudo no se cumple en aplicaciones hidrológicas debido a la variabilidad en la calidad y cantidad de los datos disponibles, lo que puede afectar la precisión de las estimaciones. Para abordar esta problemática, se puede aplicar un enfoque de mínimos cuadrados

ponderados (MCP), ajustando las varianzas a través de una función de ponderación, mejorando así la precisión y fiabilidad de las estimaciones (Lafragua, 2006).

2.2.10.2. Programación Dinámica

La técnica de programación dinámica, ideada por Richard Bellman en los años 50, es un método matemático diseñado para la resolución de problemas de optimización. Estos problemas se caracterizan por poder ser fragmentados en subproblemas menores que están interconectados y se superponen. Su utilidad radica en su eficacia para manejar situaciones complejas en las que una solución directa no es viable, debido a la gran cantidad de combinaciones posibles, se emplea en diversos ámbitos, incluyendo la economía, ingeniería, biología computacional y control teórico (Redondo, 2006).

La programación dinámica se basa en dos principios clave:

- **Principio de Optimalidad:** El principio de optimalidad postula que una estrategia considerada óptima se caracteriza por el hecho de que, sin importar el estado inicial o las elecciones iniciales, las decisiones posteriores deben seguir siendo óptimas en relación con el estado resultante de las primeras decisiones.
- **Descomposición en Subproblemas:** Los problemas complejos se descomponen en subproblemas más pequeños y manejables. La solución al problema general se construye a partir de las soluciones de los subproblemas.

2.2.10.2.1. Programación Dinámica en Hidrología

En la implementación de la Programación Dinámica (PD) dentro de este sistema, es crucial identificar sus componentes fundamentales: la variable de estado, las etapas, la ecuación de recursividad, y la función objetivo, la cual debe ser separable para permitir una solución integral del problema al analizarla en cada etapa individualmente.

En el contexto del modelo de simulación, los estados se definen por los niveles de almacenamiento en la presa. Variaciones en estos niveles generan efectos aguas abajo, implicando la necesidad de tomar decisiones. Aquí, la PD es esencial para garantizar que estas decisiones sean las más adecuadas posible, optimizando el funcionamiento del sistema. La transición de un estado a otro conlleva también el paso de una etapa a la

siguiente. Dentro de cada etapa, hay N posibles alternativas para cambiar de estado, donde N representa el número de intervalos discretos considerados. Dado que los niveles de agua varían a lo largo del tiempo y se analizan en intervalos mensuales, las etapas en el sistema se alinearán con los meses durante el periodo de estudio. Esta estructuración permite una aproximación detallada y ajustada al comportamiento dinámico del embalse, asegurando una gestión eficiente de sus recursos (Morice, 2010).

2.2.10.2.2. Regla de Operación

La regla de operación de una programación dinámica aplicada a la gestión de caudales de entrada y salida en sistemas hidráulicos o de recursos hídricos se basa en optimizar el almacenamiento y distribución del agua para satisfacer las demandas a lo largo del tiempo. Esta metodología se fundamenta en descomponer el problema en subproblemas más pequeños, evaluando cada etapa temporal de manera secuencial para determinar la decisión óptima en cada paso. El objetivo principal es minimizar costos o maximizar beneficios asociados al manejo del agua, considerando las capacidades de almacenamiento, las tasas de flujo y las variaciones temporales en la demanda y disponibilidad de agua. Las decisiones en cada etapa dependen de las condiciones actuales del sistema (por ejemplo, el nivel de agua en un embalse) y las previsiones de caudales de entrada y salida (Morice, 2010).

La programación dinámica utiliza una función de valor que representa el beneficio o costo acumulado hasta una etapa dada, teniendo en cuenta las decisiones tomadas previamente. Esta función ayuda a identificar la estrategia óptima revisando retrospectivamente desde el final del horizonte de planificación hacia el inicio, garantizando que las decisiones tomadas en cada paso contribuyan al objetivo global. Aplicada a la serie de caudales, esta metodología permite ajustar operaciones de almacenamiento y liberación de agua de forma que se equilibren eficientemente las necesidades de suministro y demanda, mientras se minimizan los impactos negativos de eventos extremos como inundaciones o sequías. La capacidad de anticipar y planificar permite una gestión más resiliente y sostenible de los recursos hídricos (Redondo, 2006).

2.2.10.3. Monte Carlo

El término Monte Carlo se aplica a un conjunto de métodos matemáticos que se empezaron a usar en los 1940 para el desarrollo de armas nucleares en Los Álamos,

favorecidos por la aparición de los ordenadores digitales modernos. Consisten en resolver un problema mediante la invención de juegos de azar cuyo comportamiento simula algún fenómeno real gobernado por una distribución de probabilidad (un proceso físico) o sirve para realizar un cálculo (evaluar una integral). Mas técnicamente, un Monte Carlo es un proceso estocástico numérico, es decir, una secuencia de estados cuya evolución viene determinada por sucesos aleatorios. Recordemos que un suceso aleatorio es un conjunto de resultados que se producen con cierta probabilidad (Riera y Espinoza, 2013).

Este enfoque representa una técnica muy efectiva que permite la creación de modelos para la evaluación de sistemas complejos, gracias a su capacidad para ajustarse a diversos parámetros operacionales simulados. La técnica de simulación de Monte Carlo se aplica tanto a procesos aleatorios como a situaciones determinísticas, ofreciendo predicciones sobre los posibles resultados de un proceso o desafío específico, aprovechando su carácter probabilístico. Mediante el uso de modelos matemáticos y la realización de pruebas en una variedad de escenarios generados por la aleatoriedad inherente al sistema, este método simula el proceso en cuestión para prever los parámetros de su comportamiento en la realidad (Campos, 2011).

Una ventaja significativa de esta técnica es su capacidad para incorporar cualquier tipo de distribución probabilística para modelar los tiempos de inactividad y fallos de los componentes. En cuanto a las variaciones del método de Monte Carlo, se distinguen principalmente dos:

- La versión secuencial, que reproduce los eventos hora por hora a lo largo del año tomando en cuenta la dependencia entre los estados sucesivos, funcionando, así como un sistema con memoria.
- La versión no secuencial, que simula las horas del año de manera aleatoria sin que los estados dependan entre sí, actuando como un sistema sin memoria.

El proceso de simulación es iterativo, examinando durante un período específico los estados operativos que surgen en el circuito principal debido a eventos aleatorios de fallo y recuperación de componentes. En cada estado, se identifican los puntos críticos afectados por el fallo de un componente en particular (Campos, 2011).

2.2.10.3.1. *¿Cómo funciona la simulación Monte Carlo?*

A diferencia de un modelo de previsión normal, la simulación Montecarlo predice un conjunto de resultados basándose en un rango estimado de valores frente a un conjunto de valores de entrada fijos. En otras palabras, una simulación Montecarlo crea un modelo de resultados posibles aprovechando una distribución de probabilidad, por ejemplo, una distribución uniforme o normal, para cualquier variable que tenga una incertidumbre inherente. A continuación, vuelve a calcular los resultados repetidamente, utilizando cada vez un conjunto diferente de números aleatorios entre los valores mínimo y máximo. En un experimento típico de Montecarlo, este ejercicio puede repetirse miles de veces para generar un gran número de resultados probables.

Las simulaciones Montecarlo también se utilizan para predicciones a largo plazo debido a su precisión. A medida que aumenta el número de entradas, el número de predicciones también crece, lo que le permite proyectar los resultados más lejos en el tiempo con más precisión. Cuando finaliza una simulación Montecarlo, proporciona un rango de posibles resultados con la probabilidad de que se produzca cada resultado.

2.2.10.3.2. Simulación Monte Carlo

Aplicar Monte Carlo implica ejecutar de forma iterativa "experimentos numéricos" para observar lo que sucede de forma media o promedio, en un gran número de ejecuciones de un modelo estocástico. La base es la generación de números aleatorios de los que nos serviremos para calcular probabilidades. En definitiva, es conseguir un buen generador de estos números, así como un conjunto estadístico adecuado sobre el que trabajar siendo la mayor dificultad con la que nos vamos a encontrar a la hora de utilizar este método. El método de Montecarlo proporciona soluciones aproximadas a una gran variedad de problemas matemáticos posibilitando la realización de experimentos con muestreos de números pseudoaleatorios en un ordenador. El método es aplicable a cualquier tipo de problema, ya sea estocástico o determinista.

La importancia actual del método Monte Carlo se basa en la existencia de problemas que tienen difícil solución por métodos exclusivamente analíticos o numéricos, pero que dependen de factores aleatorios o se pueden asociar a un modelo probabilístico artificial (resolución de integrales de muchas variables, minimización de funciones, etc.). Gracias a los avances en informática los cálculos Monte Carlo que en otro tiempo hubieran

sido inconcebibles, hoy en día se presentan como asequibles para la resolución de ciertos problemas (Riera y Espinoza, 2013).

El método Montecarlo como hemos indicado se puede utilizar para cualquier tipo de problema, pero en el mundo empresarial, económico y financiero, se puede emplear, por ejemplo:

- Tamaño de Mercado.
- Precios de Venta
- Tasas de crecimiento
- Participación en el mercado y Previsiones de Ventas.
- Inversión requerida
- Valor residual o de recuperación de inversiones
- Costes variables o de operación
- Costes fijos
- Vida útil de equipos
- Evaluación de riesgos
- Lanzamiento de nuevos productos
- Planes de Negocio
- Valoración de Empresas
- Hidrología

2.2.10.3.3. Clasificación de las técnicas de simulación de Monte Carlo

Las técnicas de simulación de Monte Carlo aplicadas a la evaluación de la fiabilidad en sistemas eléctricos se dividen en dos categorías principales: secuenciales y no secuenciales. Esta distinción se basa en cómo se trata la secuencia de tiempo durante la implementación del análisis. En la variante no secuencial, el análisis ignora la secuencia cronológica de los eventos, seleccionando intervalos de tiempo de forma aleatoria para la simulación, lo que resulta en la omisión de la secuencia de eventos dentro del sistema. Por otro lado, el enfoque secuencial mantiene la secuencia de tiempo, respetando el orden en el que ocurren los eventos.

La decisión sobre qué método de simulación utilizar se determina según el propósito del estudio y los efectos específicos que se quieren investigar. Para la

evaluación de sistemas en los que la interdependencia temporal entre componentes es mínima, el enfoque no secuencial puede ser preferible debido a su eficiencia computacional y simplicidad en la modelización del sistema. Sin embargo, en situaciones donde los eventos de un período tienen un impacto directo en los eventos del período siguiente, el método no secuencial podría llevar a conclusiones inexactas, siendo entonces el método secuencial la opción adecuada. Esto es particularmente relevante en la evaluación de plantas hidroeléctricas, donde el manejo del recurso hídrico en un momento dado influirá en las posibilidades de uso futuro, o en escenarios donde las precipitaciones y los caudales afectan directamente la generación hidroeléctrica y la previsión de la demanda (Campos, 2011).

A. Simulación de Montecarlo No Secuencial

Esta técnica de simulación emplea el concepto de probabilidades de estado para analizar el comportamiento de componentes individuales, asignando a cada uno la probabilidad de encontrarse en diferentes estados posibles. A partir de estas probabilidades, se construye el estado global del sistema y, en función de ello, se evalúa cómo opera el sistema bajo ciertas demandas que necesita cubrir. El uso de este método para muestrear estados no se limita solo a la operación del sistema de generación de energía, sino que también se aplica a varios otros aspectos que influyen en el desempeño del sistema en un análisis de confiabilidad. Esto incluye el muestreo de la demanda del sistema, la fuente primaria de generación y otros elementos relevantes.

El enfoque no secuencial, en particular, ofrece una gran flexibilidad en términos de periodos de tiempo analizados. Esta flexibilidad es una gran ventaja para la evaluación, permitiendo estudios en marcos temporales que van más allá del año calendario, pudiendo abarcar periodos mensuales, semanales, diarios o cualquier otra duración arbitraria. Esto es especialmente útil para examinar la confiabilidad del sistema en diferentes estaciones o condiciones climáticas, como periodos de lluvia o sequía, así como durante semanas con altos niveles de generación fuera de servicio debido a mantenimientos programados, o cualquier otra situación que pueda afectar la fiabilidad del sistema (Campos, 2011).

B. Simulación de Montecarlo Secuencial

Este enfoque consiste en secuenciar los eventos a lo largo del tiempo evaluado, generalmente en intervalos de una hora. Este proceso se conoce como simulación por

duración de eventos, ya que se genera de manera aleatoria el tiempo que el sistema o componente permanece en su estado actual antes de cambiar al siguiente estado. Este cambio se facilita mediante el uso de tasas de transición en lugar de las probabilidades de estado empleadas en el método no secuencial. A través de este método, se generan secuencias artificiales de la operación del componente en estudio, basadas en las duraciones simuladas de los estados. La secuencia de eventos se deriva de la creación de números aleatorios, los cuales se ajustan a las distribuciones de probabilidad que definen la duración de cada estado. Así, cada número aleatorio determina el tiempo que un estado específico durará (Campos, 2011).

2.3. Marco conceptual

2.3.1. *Balance hidrológico*

El balance hídrico o hidrológico es la relación entre la entrada y salida de agua en un área determinada o sistema hidrológico durante un período de tiempo particular. Es un concepto básico en hidrología que ayuda a comprender cómo se distribuye y utiliza el agua en una cuenca o sistema fluvial determinado. El balance hídrico considera las diferentes fuentes de agua que ingresan al sistema, como la precipitación (lluvia, nieve), la escorrentía superficial (ríos, arroyos), la infiltración en el suelo y las entradas externas, como el agua, el riego o las aguas subterráneas. También tiene en cuenta las descargas de agua como la evaporación, el uso humano y la extracción de agua para fines industriales o agrícolas.

El objetivo del balance hídrico es determinar si existe un equilibrio entre las entradas y salidas de agua en un sistema dado. Si la entrada es más grande que la salida, puede haber un exceso de agua y provocar inundaciones. Por el contrario, si la producción excede la entrada, puede ocurrir escasez de agua, lo que provocaría sequías o problemas de suministro, es por ello que el balance hídrico es una herramienta importante para la gestión del agua, ya que ayuda a evaluar la disponibilidad y el uso sostenible de los recursos hídricos en un área determinada. También se utiliza en el diseño y operación de infraestructura de riego, como represas, canales de riego y sistemas de drenaje, para garantizar una gestión adecuada de los recursos hídricos y minimizar los impactos negativos en el medio ambiente, las escuelas y las comunidades locales (Gomez, 2015).

2.3.2. *Bases de datos hidráulicas*

Las bases de datos hidráulicas son sistemas organizados diseñados para almacenar información relacionada con la hidrología y la ingeniería hidráulica, estas bases de datos almacenan una amplia gama de datos, como mediciones de caudal de ríos, niveles de agua en embalses, datos meteorológicos relevantes para el ciclo del agua, detalles sobre infraestructuras hidráulicas y modelos hidráulicos y de gestión del agua. La recopilación y organización de estos datos en bases de datos facilita su acceso, consulta y análisis, lo que ayuda en la toma de decisiones relacionadas con la gestión del agua y la planificación de proyectos hidráulicos (Gomez, 2015).

2.3.3. Eficiencia en el uso del agua

La eficiencia en el uso del agua es la capacidad de utilizar este recurso de manera óptima, maximizando su aprovechamiento y minimizando su desperdicio. Este concepto abarca diferentes aspectos, desde la reducción de pérdidas en sistemas de distribución hasta la implementación de prácticas agrícolas y domésticas que promuevan un uso responsable del agua (Gomez, 2015).

2.3.4. Presa Cuchoquesera

La Presa Cuchoquesera es una impresionante estructura hidráulica ubicada en la región de Ayacucho. La presa fue construida con el propósito de almacenar y regular el flujo de agua en la región, convirtiéndola en una parte importante del suministro de agua de la región. Construida sobre un río o quebrada, la presa Cuchoquesera tiene una gran capacidad, lo que le permite almacenar grandes cantidades de agua durante las épocas de lluvia o deshielo, esta capacidad de almacenamiento es crucial para garantizar un suministro constante de agua durante épocas de sequía o cuando aumenta la demanda.

La presa Cuchoquesera fue diseñada y construida teniendo en cuenta una variedad de factores, como la topografía del área, los flujos de agua esperados y los impactos ambientales. Además, se han puesto en marcha medidas de seguridad para garantizar su estabilidad y prevenir posibles riesgos relacionados, como desbordamiento o derrumbe de la estructura. Esta vital infraestructura de riego ha demostrado ser fundamental para el desarrollo de la región, ya que proporciona agua para una variedad de usos, como suministro de agua potable, riego agrícola, producción de energía hidroeléctrica y entretenimiento. Asimismo, contribuye a la protección contra inundaciones y la gestión sostenible de los recursos hídricos de la región.

Figura 2
Presa Cuchoquesera



Nota. Extraído de (OPEMAN, 2022)

2.3.5. Seguridad hídrica

La seguridad hídrica se refiere a la capacidad de una comunidad, región o país para garantizar un acceso adecuado, seguro y sostenible al agua en todos sus aspectos. Esto es para asegurar el suministro de suficiente cantidad y calidad de agua para satisfacer las necesidades presentes y futuras de las personas, la agricultura, la industria y el medio ambiente (Poliopro y Martínez, 2013).

La seguridad hídrica abarca varios aspectos, entre los que se incluyen:

Agua disponible: Se refiere a la cantidad de agua disponible para satisfacer las necesidades humanas y ecológicas. Esto implica asegurar un suministro adecuado de agua dulce para el consumo humano, la agricultura y la industria, así como el mantenimiento de los ecosistemas acuáticos y los servicios ambientales.

Acceso al agua: Es asegurar que todos tengan acceso material y económico al agua potable y a servicios básicos de saneamiento adecuados. Esto incluye garantizar el

acceso equitativo a agua de calidad para beber, cocinar, bañarse y otras necesidades básicas.

Calidad del agua: Se refiere a la pureza y salud del agua, es fundamental garantizar que el agua esté libre de contaminantes y sea segura para las personas y el medio ambiente. Esto implica la protección y conservación de los recursos hídricos, así como la implementación de medidas de tratamiento y control de calidad del agua.

Gestión integrada del agua: Esto incluye la planificación y gestión efectiva de los sistemas de agua, la promoción de la conservación y el uso racional de los recursos hídricos y la coordinación entre los diferentes sectores y actores involucrados en la gestión del agua.

Resiliencia a eventos extremos: Implica estar preparado y ser capaz de responder a los eventos y desastres climáticos que pueden afectar la disponibilidad y calidad del agua. Esto incluye la planificación y construcción de una infraestructura hídrica robusta, la implementación de sistemas de alerta temprana y la adopción de medidas de adaptación al cambio climático.

2.3.6. Gestión de presas

La gestión de represas se refiere al conjunto de actividades y decisiones tomadas para administrar las represas y los sistemas relacionados de manera efectiva y segura, el cual implica una serie de responsabilidades que deben tenerse en cuenta para garantizar la seguridad y el buen funcionamiento de las presas. Algunas de las actividades clave de la gestión de presas incluyen:

Supervisar y controlar: Se requiere un monitoreo continuo para evaluar las condiciones de la presa, como la presión del agua, fugas, grietas o deformación estructural. Esto implica el uso de sensores, herramientas y tecnología de monitoreo para recopilar datos en tiempo real y tomar medidas preventivas o correctivas según sea necesario.

Mantenimiento y reparaciones: Las represas necesitan un mantenimiento regular para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente. Esto puede incluir actividades como limpieza de vegetación, inspección visual, reparación de fugas o grietas y restauración de estructuras degradadas.

Gestión de inundaciones: Las presas juegan un papel importante en el control de inundaciones al regular el flujo de agua. Una buena gestión implica tomar decisiones informadas sobre cuándo liberar o retener agua en función de las condiciones climáticas, los niveles de agua y los pronósticos de inundaciones.

Plan operativo: Se deben desarrollar planes operativos que describan los procedimientos operativos diarios de la represa, la asignación de recursos hídricos, el cronograma de descarga, el cumplimiento de las reglamentaciones ambientales y otras consideraciones relevantes.

Seguridad y emergencias: La gestión de la presa debe considerar la seguridad tanto de la estructura de la represa como de los residentes y comunidades río abajo. Esto implica establecer protocolos de respuesta ante emergencias, realizar simulacros, comunicar los riesgos adecuadamente y coordinar con las agencias pertinentes.

Figura 3
Seguridad en las presas



Nota. Extraído de (OPEMAN, 2022)

CAPÍTULO III: MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Enfoque

En esta investigación, se utilizará un enfoque cuantitativo para abordar el problema de la mejora del balance hidrológico en la Presa Cuchoquesera mediante la implementación de técnicas de optimización basadas en bases de datos hidráulicas. El enfoque cuantitativo Según Hernández et al. (2014), implica el uso de datos numéricos y análisis estadísticos para recopilar, medir y analizar información relacionada con el balance hídrico y la gestión del agua en la presa.

3.2. Alcance

El alcance de la investigación es explicativo ya que tiene como objetivo establecer relaciones causales o explicativas entre variables. Según Hernández et al. (2014), la investigación explicativa tiene como objetivo principal descubrir las causas fundamentales que se encuentran detrás de los eventos o fenómenos que están siendo investigados.

En este caso, la investigación busca determinar cómo la implementación de técnicas de optimización fundamentadas en bases de datos hidráulicas puede mejorar el balance hídrico en la Presa Cuchoquesera.

3.3. Diseño de investigación

El diseño de investigación de la presente tesis es Explicativa - No experimental ya que se busca establecer relaciones causales o explicativas entre variables, pero sin la manipulación deliberada de esas variables en un entorno controlado (Hernández et al., 2014).

3.4. Población y muestra

Según Arias (2006), la población se define como un conjunto de elementos, ya sea que esté compuesto por un número finito o infinito, que comparten características comunes.

La población en este proyecto de investigación abarca la totalidad de la Presa Cuchoquesera, junto con su entorno, lo que incluye los recursos hídricos presentes,

organizaciones o entidades involucradas o afectadas por la gestión del agua en la Presa Cuchoquesera. y todos los aspectos relacionados con la gestión del agua en dicha área.

Según Bernal (2006), la muestra se refiere a una parte específica seleccionada de la población en la cual se realizará la medición y observación de las variables. Es una representación o subconjunto que se elige con el propósito de obtener información relevante y significativa sobre la población en su conjunto.

La muestra en este proyecto de investigación es la selección de datos hídricos y otros datos relevantes que permitan mejorar el balance hídrico de la Presa Cuchoquesera.

3.5. Hipótesis

3.5.1. Hipótesis general

La implementación de técnicas de optimización, basadas en análisis de bases de datos hidráulicas, resulta en una mejora significativa del balance hídrico en la presa Cuchoquesera, ubicada en la provincia de Cangallo, departamento de Ayacucho.

3.5.2. Hipótesis específicas

- El uso de técnicas de optimización adecuadas permitirá mejorar el balance hídrico en la presa Cuchoquesera.
- La implementación de técnicas de optimización basadas en bases de datos hidráulicas brindará un impacto positivo en el balance hídrico de la presa Cuchoquesera.
- El análisis y la identificación de los factores externos brindarán una mejora en el efecto significativo del balance hídrico de la presa Cuchoquesera.

3.6. Operacionalización de variables, definición conceptual y operacional.

Una variable es un término utilizado para describir un elemento, evento, situación o fenómeno que es importante en un estudio y que requiere ser evaluado en términos de su intensidad o categoría.

Variable Independiente: Técnicas de optimización fundamentadas en bases de datos hidráulicas.

Variable Dependiente: Mejora del Balance hídrico

Tabla 1
Operacionalización de Variables

Variables	Definición Conceptual	Dimensiones	Definición Operacional	Indicadores
Técnicas de optimización fundamentadas en bases de datos hidráulicas	Estas técnicas se basan en el uso de bases de datos hidráulicas, que son sistemas de almacenamiento y gestión de información relacionada con el agua, para tomar decisiones informadas y optimizar la gestión de los recursos hídricos en la presa (Martínez y Vallejo 2018).	<ul style="list-style-type: none"> • Bases de datos hidráulicas. • Parámetros hidrológicos. • Métodos de optimización. 	Consiste en la implementación de estrategias específicas basadas en la recopilación, almacenamiento y análisis de datos hidráulicos para mejorar la eficiencia y la gestión del balance hídrico en la presa Cuchoquesera, esto implica la utilización de métodos y herramientas de optimización, como algoritmos y modelos matemáticos, que se basan en información hidrológica recolectada.	<ul style="list-style-type: none"> • Implementación de algoritmos de optimización. • Utilización de bases de datos hidráulicas. • Reducción de pérdidas de agua.
Mejora del Balance hídrico	La mejora del balance hídrico es la acción de lograr un equilibrio adecuado en el ciclo de agua en un sistema hidrológico, como una cuenca, embalse o presa, esto implica implementar medidas y estrategias para optimizar la disponibilidad, distribución y gestión del agua, de manera que se satisfagan las demandas y necesidades de los diferentes usuarios y se minimicen los desequilibrios entre las entradas y salidas de agua (Chen Xuekai et al., 2021).	<ul style="list-style-type: none"> • Eficiencia en el uso del agua. • Calidad del agua. • Gestión del agua 	Es la comparación de los valores del balance hídrico antes y después de la implementación de las técnicas de optimización fundamentadas en bases de datos hidráulicas. Se utilizan indicadores cuantitativos, como el volumen de agua almacenada, la cantidad de agua perdida por evaporación e infiltración, y la eficiencia en la distribución del agua	<ul style="list-style-type: none"> • Volumen del agua almacenada. • Caudal del agua. • Distribución del agua en la presa

Nota. Elaboración Propia

3.7. Técnicas e instrumentos.

3.7.1. Técnicas

- Revisión de material bibliográfico.
- Análisis del Balance Hídrico.
- Análisis de resultados.

3.7.2. Instrumentos

- Herramienta de análisis estadístico Python.
- Bases de datos hidráulicas
- Una computadora u ordenador con un sistema operativo de Windows 10 o mayor.

3.8. Técnicas estadísticas para el procesamiento de la información.

Las técnicas estadísticas para mejorar el balance hídrico en la presa Cuchoquesera son el análisis descriptivo y el análisis de correlación, ya que a partir de análisis descriptivo se podrá examinar y resumir los datos relacionados con el volumen de agua, las precipitaciones y otros factores hidrológicos relevantes. Además, el uso de medidas de tendencia central, como la media y la mediana, y medidas de dispersión, como la desviación estándar, podemos comprender la distribución y variabilidad de los datos. Por otro lado, el análisis de correlación nos ayuda a identificar las relaciones y la fuerza de asociación entre variables, como las precipitaciones y el nivel de agua en la presa. Estas técnicas estadísticas nos brindaran una base sólida para la toma de decisiones y la implementación de estrategias de gestión que mejoren el balance hídrico en la presa Cuchoquesera.

3.9. Desarrollo del trabajo de tesis

3.9.1. Antecedente del área de estudio

Los inicios de la construcción del embalse Cuchoquesera radican alrededor del año 1987 y durante ese tiempo, un agrónomo que trabajaba en el proyecto de la Corporación de Fomento y Desarrollo Regional de Ayacucho (CORFA) observó que el gobierno estaba promoviendo el Proyecto Especial Río Cachi (PERC). Este proyecto tenía objetivos variados, como proveer agua potable, generar electricidad y regar áreas aledañas, de ahí surgió la idea de establecer la presa Cuchoquesera para almacenar agua y cumplir con estos propósitos, donde en el año de su construcción, se diseñó un plan de

geomorfología del embalse que mostraba una capacidad máxima de 80 millones de metros cúbicos.

El embalse o presa se situó a 3,750 metros sobre el nivel del mar, garantizando que el suministro de agua a la ciudad de Huamanga fuera por gravedad, a lo largo de sus años de operación hasta el presente, 2023, la geomorfología original del embalse ha experimentado cambios debido a la sedimentación que proviene de los canales de afluencia, ya que estos canales enlazan con las cuencas de Apacheta, Chikllarazo y Choccoro.

Figura 4

Dique de la presa Cuchoquesera



Nota. Elaboración Propia

3.9.2. Ubicación del área en estudio

3.9.2.1. Ubicación política

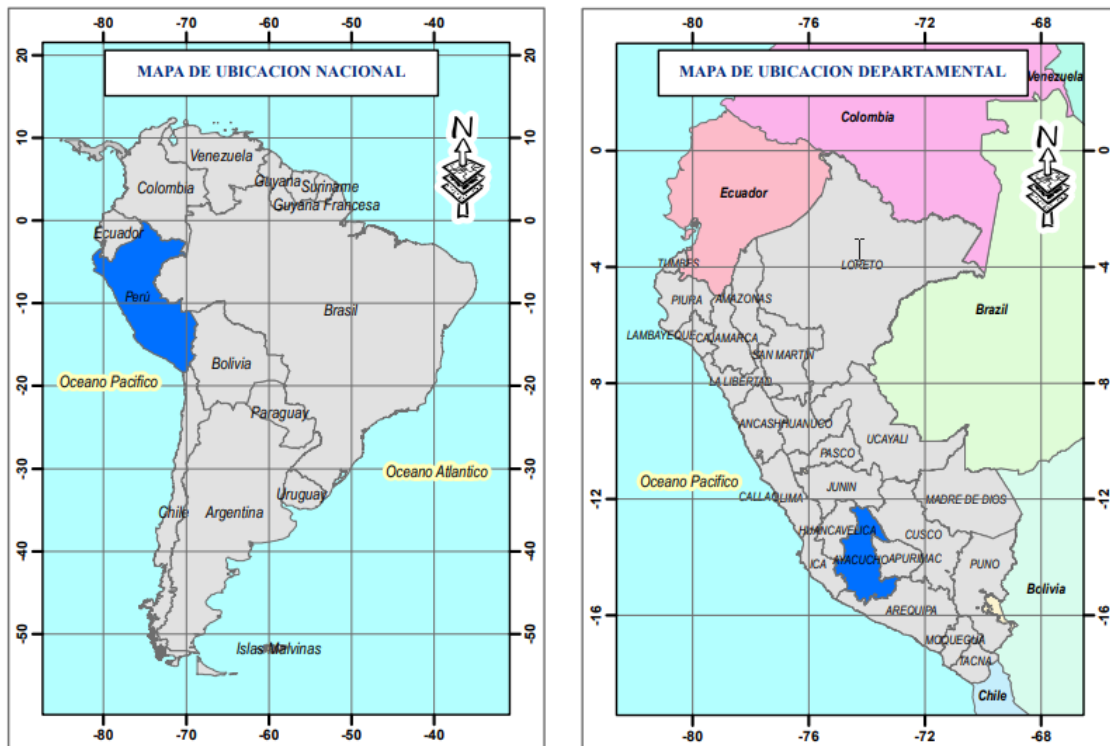
El área de investigación está situada en la región de Ayacucho, concretamente en las provincias de Cangallo y Huamanga se extiende por los distritos de Cangallo y Chuschi, y el punto específico de referencia es San Juan de Cuchoquesera, esto es importante y que es esencial reconocer estas subdivisiones políticas para entender la gestión y decisión en el marco político de la región de Ayacucho en relación con el área en cuestión.

Tabla 2
Ubicación Política

Ubicación política	
Región	Ayacucho
Provincia	Cangallo y Huamanga
Distrito	Cangallo y Chuschi
Lugar	San Juan de Cuchoquesera

Nota. Elaboración Propia

Figura 5
Mapa de Ubicación Nacional y Departamental



Nota. Elaboración Propia

3.9.2.2. Ubicación Hidrográfica

La ubicación de la presa Cuchoquesera se evalúa en el contexto político del centro poblado San Juan de Cuchoquesera, situado en las coordenadas específicas WGS84-18S UTM, donde estas referencias geográficas son esenciales para determinar exactamente la posición hidrográfica de la presa y entender su conexión con las áreas adyacentes.

Tabla 3*Ubicación Hidrográfica*

Cuchoquesera (Presa)	
Este	570963.65 m.
Norte	8514207.76 m.
Cota	3750.00 m.s.n.m.

Nota. Elaboración Propia**3.9.2.3. Acceso y vías de comunicación**

El área del proyecto tiene una conexión directa con la ciudad de Ayacucho a través de la vía Libertadores, que es la principal carretera de entrada en la zona relevante. Esta carretera asegura una comunicación fluida entre la ciudad y el sitio del proyecto, siendo esencial para el traslado de maquinaria, insumos y trabajadores. Además, la facilidad de acceso por esta arteria principal favorece la efectividad y factibilidad del proyecto, garantizando un tránsito fluido y una conexión inmediata con las infraestructuras ya presentes en la región.

Tabla 4*Vías de acceso Ayacucho-Presa Cuchoquesera*

Desde	Hacia	Tipo de Vía	Km	Tiempo
Ayacucho	Presa Cuchoquesera	Asfaltado y Afirmado	64.4 km	1 h 50 min
Total			64.40 m	1h 50 min

Nota. Elaboración Propia**3.9.3. Metodología Propuesta**

La metodología propuesta en esta investigación está formada por un esquema dividido en tres secciones principales que corresponden a diferentes aspectos de la investigación, como el “Análisis Estadístico de los Datos”, “Optimización del Volumen de la Presa” y “Simulación Monte Carlo”.

Este esquema está representado de la siguiente manera:

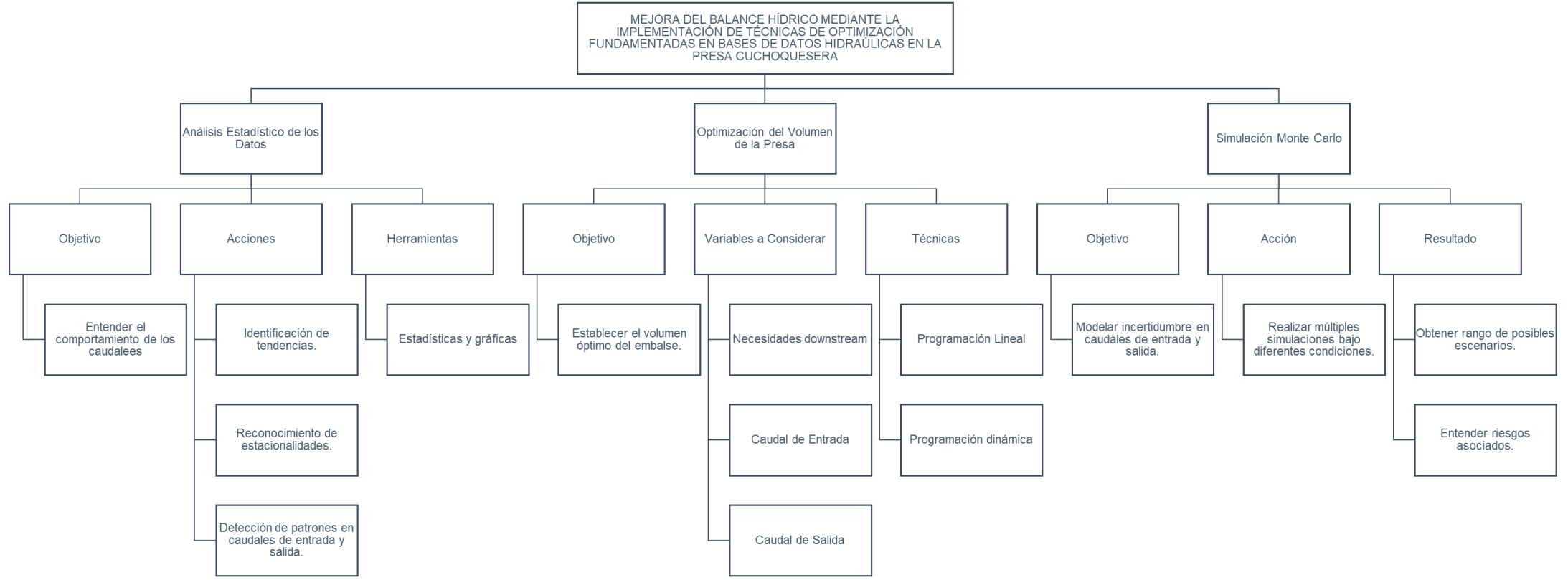
1. Análisis Estadístico de los Datos
2. Optimización del Volumen de la Presa
3. Simulación Monte Carlo

Además, como se puede observar en el esquema mostrado a continuación las principales técnicas de simulación y programación para el desarrollo de esta investigación corresponden a la programación Lineal, programación Dinámica y simulación por Montecarlo. La elección de estas técnicas se sustenta de la siguiente forma:

- **Programación Lineal:** Esta técnica fue elegida ya que frecuentemente se utiliza en la optimización de recursos cuando las relaciones entre las variables son lineales y cuando se busca maximizar o minimizar una función objetivo, como podría ser el volumen de agua en un embalse. Es efectiva para planificar la distribución de recursos limitados entre varias actividades de manera óptima, como en la gestión del agua de una presa (García, 2008).
- **Programación Dinámica:** Esta técnica es adecuada para decisiones secuenciales y procesos que requieren la consideración de estados futuros, lo que es muy relevante en la gestión de recursos hídricos. La programación dinámica es útil para optimizar la toma de decisiones en el tiempo, considerando la evolución de los caudales y las necesidades variables aguas abajo (García, 2008).
- **Simulación Monte Carlo:** Esta técnica fue elegida ya que es utilizada para modelar el efecto de la incertidumbre y para realizar análisis de riesgo en procesos complejos. Es apropiada para este estudio porque permite simular una amplia gama de escenarios de entrada y salida de agua en la presa, facilitando la comprensión de los posibles riesgos asociados con diferentes estrategias de gestión del agua (Campos, 2011).

Se ha seleccionado estas técnicas ya que la presente investigación está orientada a comprender y optimizar el manejo de los caudales de una manera integral y robusta, considerando tanto las relaciones lineales y decisiones en un punto en el tiempo (programación lineal) como la gestión adaptativa en el tiempo (programación dinámica) y la incertidumbre inherente en los procesos naturales (Simulación Monte Carlo).

Tabla 5
Metodología de la Solución



3.9.4. Análisis Estadístico de los Datos de Caudal y Volumen

3.9.4.1. Comportamiento de los caudales de entrada

Tabla 6

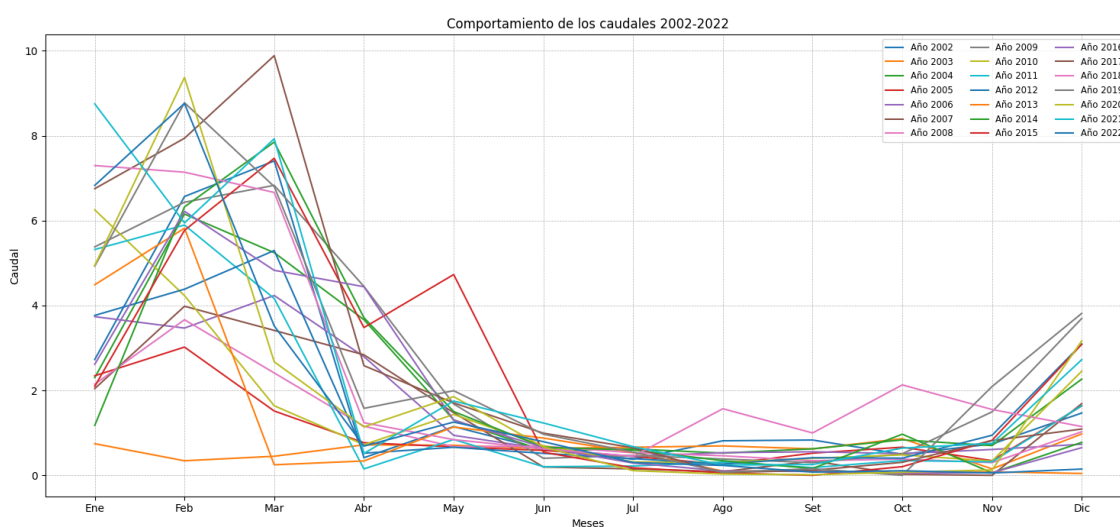
Caudales de entrada de la presa Cuchoquesera (m³/s)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total (m³/s)
2002	2.729	6.568	7.407	0.415	1.148	0.611	0.380	0.814	0.832	0.497	0.738	1.468	23.605
2003	0.745	0.343	0.449	0.718	0.708	0.633	0.662	0.693	0.623	0.864	0.152	0.975	7.564
2004	2.302	6.155	5.245	3.667	1.306	0.580	0.621	0.524	0.625	0.835	0.701	2.267	24.827
2005	2.346	3.021	1.515	0.769	0.670	0.587	0.447	0.258	0.522	0.663	0.346	1.637	1.065
2006	3.738	3.469	4.236	2.795	0.942	0.624	0.445	0.533	0.555	0.511	0.609	0.732	19.189
2007	2.043	3.983	3.414	2.839	1.476	0.196	0.150	0.088	0.335	0.023	0.000	1.690	16.234
2008	2.147	3.666	2.412	1.157	0.675	0.686	0.532	0.461	0.344	0.383	0.299	1.026	13.788
2009	5.382	6.434	6.831	4.449	1.682	0.401	0.468	0.385	0.299	0.509	1.495	3.696	32.029
2010	6.255	4.234	1.639	0.722	1.434	0.697	0.316	0.305	0.401	0.482	0.336	2.454	19.275
2011	5.320	5.896	4.166	0.151	0.844	0.203	0.219	0.311	0.182	0.348	0.317	1.640	19.597
2012	3.767	4.385	5.296	0.521	0.661	0.517	0.394	0.265	0.415	0.405	0.944	3.094	20.664
2013	4.490	5.822	0.248	0.338	1.138	0.878	0.543	0.101	0.104	0.041	0.081	0.044	13.828
2014	1.176	6.324	7.851	3.713	1.503	0.662	0.597	0.345	0.161	0.969	0.057	0.778	24.136
2015	2.098	5.770	7.469	3.480	4.730	0.545	0.177	0.058	0.000	0.204	0.826	3.087	28.447
2016	2.615	6.220	4.830	4.443	1.299	0.658	0.289	0.103	0.091	0.048	0.062	0.652	21.311
2017	6.753	7.941	9.886	2.583	1.706	0.993	0.651	0.065	0.118	0.307	0.818	1.091	32.912
2018	7.298	7.141	6.664	1.239	0.841	0.623	0.450	1.569	0.998	2.131	1.551	1.149	31.655
2019	4.928	8.777	6.803	1.578	1.993	0.968	0.548	0.072	0.155	0.000	2.092	3.816	31.731
2020	4.946	9.373	2.674	1.141	1.854	0.667	0.110	0.030	0.014	0.074	0.126	3.167	24.176
2021	8.750	5.948	7.929	0.516	1.750	1.233	0.675	0.242	0.255	0.641	0.752	2.725	31.415
2022	6.831	8.762	3.519	0.688	1.255	0.792	0.302	0.233	0.076	0.108	0.055	0.148	22.768

La tabla 6 muestra los caudales a lo largo de dos décadas, desde 2002 hasta 2022, donde se evidencia que hay una marcada variabilidad tanto interanual como mensual durante los primeros meses del año, específicamente enero, febrero y marzo, tienden a registrar los valores más altos en comparación con el resto de los meses, ya que durante este periodo es donde se registran los incrementos de lluvias más prolongados asociados a patrones climáticos o a ciclos hidrológicos en la región de Ayacucho.

Figura 6

Comportamiento de los caudales (m^3/s) 2002-2022 de la presa Cuchoquesera



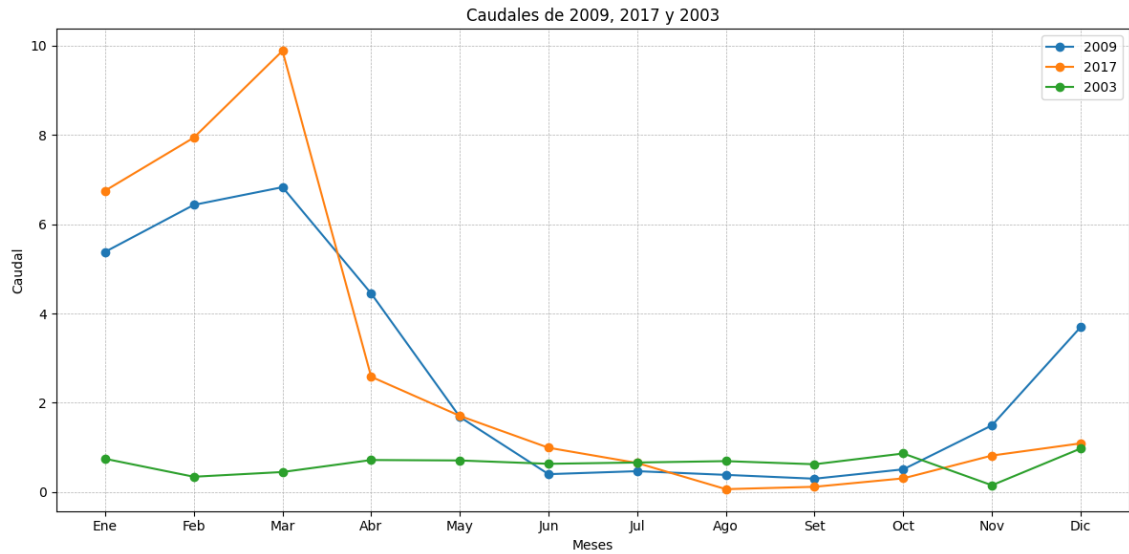
Nota. Elaboración propia

Sin embargo, hay excepciones como en 2013 y 2022 donde esta norma no se mantiene, ya que los meses de la segunda mitad del año, particularmente de julio a septiembre, suelen mostrar caudales más bajos en comparación a los otros meses, ya que se comienza con la estación de invierno lo que indica que los caudales son relativamente menores en la entrada.

Además, a nivel anual, el 2009 y el 2017 se destacan por sus elevados caudales totales, mientras que el 2003 muestra el valor más bajo, evidenciando que es fundamental considerar estos datos para decisiones relacionadas con la gestión del recurso hídrico, la planificación de infraestructuras y la predicción de eventos extremos.

Figura 7

Caudales de 2009, 2017 y 2003 (m^3/s) de la presa Cuchoquesera



Nota. Elaboración propia

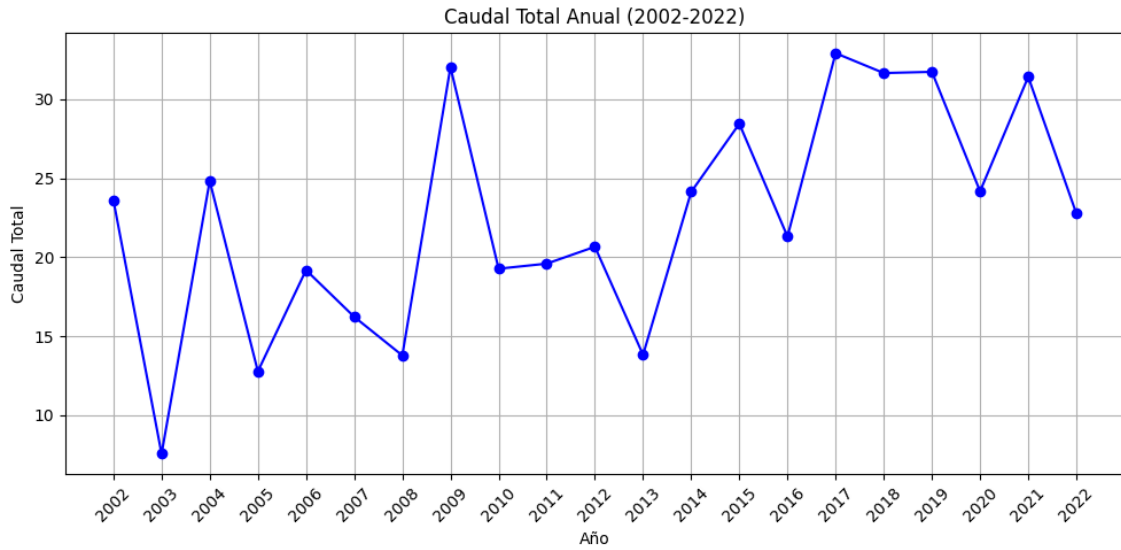
La figura 7 muestra los registros de 2009, 2017 y 2003 que se destacan por razones diversas, ya que, en 2009, los primeros tres meses muestran valores altos de caudal, insinuando un inicio de año húmedo o posiblemente efectos de eventos climáticos significativos. Por otro lado, 2017 presenta picos notables durante los primeros tres meses, con marzo mostrando un caudal especialmente elevado, lo que indica un comportamiento atípico o una posible anomalía climática durante ese período. El año 2003, en contraste, tiene valores generalmente más bajos a lo largo de todos los meses, sugiriendo que pudo haber sido un año de sequía o menor actividad pluvial en la región.

De acuerdo a ello, se infiere que los caudales tienden a ser más elevados en los primeros meses del año, lo que indica una estación lluviosa al inicio del año., sin embargo, hay excepciones como 2013 y 2022 que rompen este patrón, lo que sugiere la presencia de variables externas o cambios en el comportamiento climático.

La variabilidad anual es evidente, lo que refuerza la idea de que los sistemas fluviales están sujetos a una amplia gama de influencias, tanto naturales como antropogénicas, a continuación, se presenta la figura 8 que representa las tendencias seguida por los años y meses a lo largo del tiempo

Figura 8

Tendencia de Caudales Totales Anuales (2002-2022) (m^3/s) de la presa Cuchoquesera



Nota. Elaboración propia

De la gráfica se infiere que en los años con picos en la línea indican un caudal total anual particularmente alto para ese año, mientras que, si hay valles, esos años tuvieron un caudal total más bajo, como se muestra en el año 2003 el cual representa el año con menor caudal a lo largo del tiempo. Además, si la línea muestra una tendencia general ascendente o descendente durante un período de tiempo, esto indica un aumento o disminución respectivamente en los caudales durante esos años.

En general se infiere la tabla 6 revela patrones en el caudal de entrada a lo largo de dos décadas, ya que mediante un análisis inicial se muestra que ciertos años, como 2009 y 2017, presentan elevados caudales durante los primeros meses, lo que podría indicar temporadas de lluvias intensas contrariamente al año 2003, ya que exhibe cifras consistentemente bajas, insinuando posiblemente un año de sequía. También se muestra un constante patrón en varios años derivado en los meses centrales, especialmente de julio a septiembre, tienden a mostrar caudales reducidos, sugiriendo estaciones de menor precipitación. Sin embargo, hay excepciones, como en 2013 y 2022, que rompen este patrón.

3.9.4.2. Comportamiento de los Volúmenes de entrada

Tabla 7

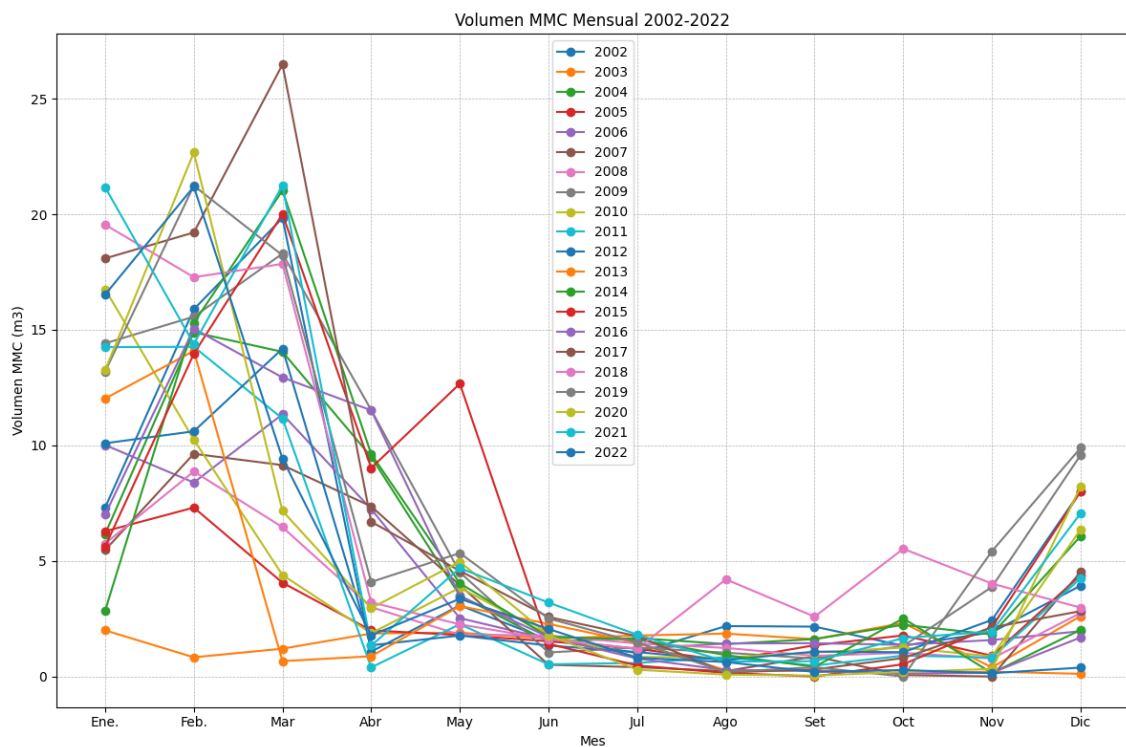
Volumen MMC de entrada de la presa Cuchoquesera

Año	Ene.	Feb.	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Volumen MMC Total (m³)
2002	7.308	15.888	19.838	1.075	3.076	1.583	1.017	2.181	2.157	1.331	1.912	3.931	61.297
2003	1.996	0.830	1.203	1.861	1.896	1.639	1.773	1.856	1.614	2.315	0.393	2.612	19.988
2004	6.166	14.891	14.047	9.505	3.499	1.503	1.663	1.403	1.619	2.236	1.816	6.073	64.421
2005	6.284	7.307	4.057	1.994	1.794	1.523	1.199	0.692	1.353	1.776	0.896	4.386	33.261
2006	10.013	8.392	11.345	7.243	2.522	1.618	1.193	1.428	1.440	1.369	1.578	1.960	50.101
2007	5.471	9.635	9.144	7.358	3.953	0.507	0.402	0.235	0.868	0.061	0.000	4.526	42.160
2008	5.751	8.868	6.460	2.998	1.809	1.777	1.426	1.235	0.893	1.025	0.775	2.747	35.764
2009	14.414	15.566	18.295	11.531	4.504	1.039	1.253	1.030	0.775	1.320	3.875	9.579	83.181
2010	16.753	10.244	4.390	1.871	3.841	1.807	0.846	0.817	1.040	1.249	0.871	6.360	50.089
2011	14.249	14.265	11.158	0.391	2.261	0.525	0.586	0.834	0.472	0.902	0.822	4.250	50.715
2012	10.090	10.608	14.184	1.350	1.772	1.339	1.055	0.710	1.077	1.050	2.446	8.020	53.701
2013	12.027	14.085	0.664	0.876	3.048	2.275	1.454	0.270	0.271	0.107	0.209	0.114	35.400
2014	2.845	15.299	21.028	9.625	4.027	1.716	1.599	0.925	0.417	2.512	0.148	2.016	62.157
2015	5.619	13.960	20.006	9.021	12.668	1.414	0.475	0.156	0.000	0.530	2.142	8.002	73.993
2016	7.003	15.046	12.937	11.517	3.480	1.707	0.775	0.276	0.236	0.125	0.162	1.689	54.953
2017	18.088	19.210	26.478	6.694	4.569	2.573	1.743	0.175	0.306	0.797	2.121	2.827	85.581
2018	19.547	17.275	17.850	3.211	2.253	1.616	1.206	4.203	2.587	5.524	4.019	2.979	82.270
2019	13.198	21.233	18.222	4.091	5.338	2.508	1.468	0.194	0.401	0.000	5.423	9.892	81.968
2020	13.247	22.675	7.163	2.957	4.965	1.786	0.294	0.080	0.039	0.198	0.326	8.210	61.940
2021	21.168	14.388	21.238	1.337	4.688	3.197	1.807	0.647	0.66	1.661	1.949	7.063	79.803
2022	16.525	21.196	9.425	1.783	3.361	2.054	0.808	0.625	0.196	0.281	0.142	0.384	56.780

Nota. Elaboración propia

La tabla 8 muestra los volúmenes MMC (millones de metros cúbicos) de entrada desde el año 2002 hasta 2022, desglosados mes a mes, donde se puede identificar que estos volúmenes han experimentado una variabilidad significativa a lo largo de los años, ya que ciertos periodos demuestran incrementos notables en el volumen, mientras que, en otros años, se evidencia una disminución, esto se puede apreciar si observamos la figura 9.

Figura 9
Volumen MMC Mensual 2002-2022 de la presa Cuchoquesera

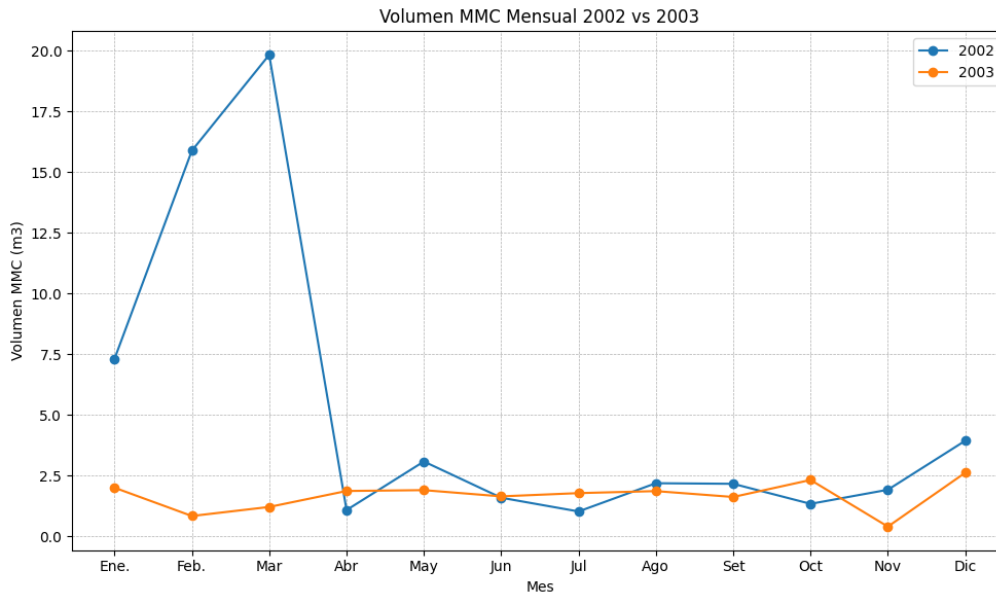


Nota. Elaboración propia

Por ejemplo, en el año 2003, el volumen total de MMC (millones de metros cúbicos) fue de apenas 19.988 m³, lo que contrasta significativamente con el año anterior, 2002, que alcanzó un volumen de 61.297 m³, esta considerable variación puede deberse a múltiples factores que no están presentes en la tabla 8, como podría ser el clima, eventos económicos, políticos o incluso tecnológicos, esto se verifica si observamos la figura 10 en los picos de volumen MMC (millones de metros cúbicos) en los meses durante esos años, los cuales tuvieron un mayor realce en los meses de enero a marzo del 2002 a comparación del 2003.

Figura 10

Volumen MMC Mensual 2002 vs 2003 de la presa Cuchoquesera

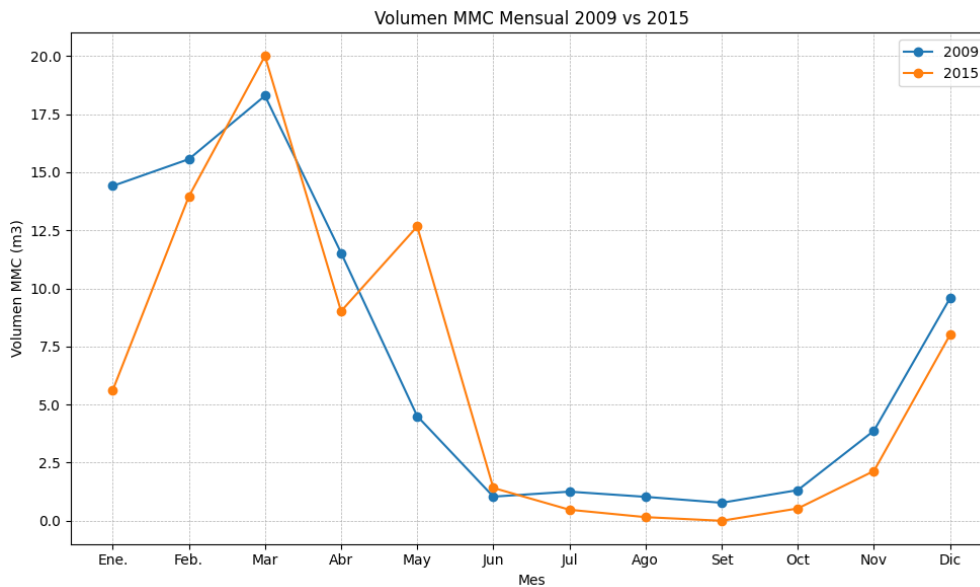


Nota. Elaboración propia

Por otro lado, años como 2009 y 2015 muestran un incremento notable a comparación de años anteriores, registrando volúmenes de 83.181 m³ y 73.993 m³, respectivamente, estos picos podrían estar asociados con una mayor demanda o con cambios en la metodología de registro.

Figura 11

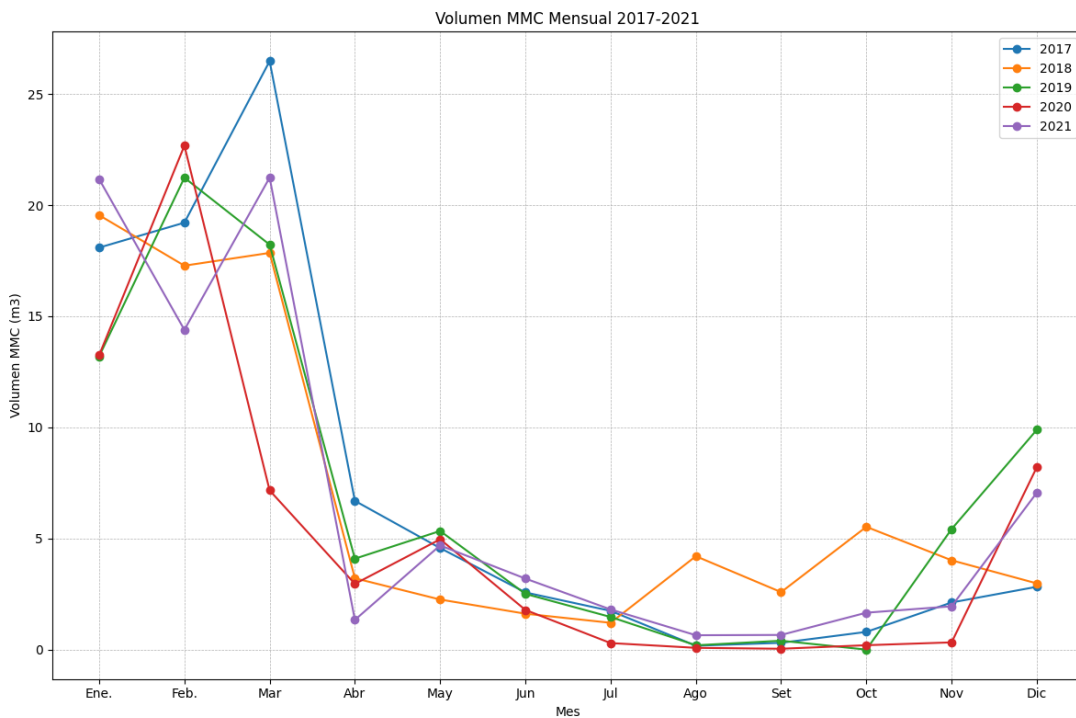
Volumen MMC Mensual 2009 vs 2015 de la presa Cuchoquesera



Nota. Elaboración propia

Si analizamos las tendencias en los años el comportamiento de los volúmenes MMC (millones de metros cúbicos) desde el año 2016 muestra ciertas fluctuaciones ya que se observa una tendencia a la estabilización con respecto a los picos extremos de años anteriores, sin embargo, aunque los volúmenes no alcanzan los máximos observados en años previos, todavía se mantienen en valores considerables, puesto que el año 2016 registró un volumen menor en comparación con 2015. A pesar de ello, hubo un aumento significativo en 2017, particularmente notable si lo comparamos con los años circundantes, esto podría ser indicativo de un evento o serie de eventos que impulsaron un incremento en el volumen ese año.

Figura 12
Volumen MMC Mensual 2017-2021 de la presa Cuchoquesera

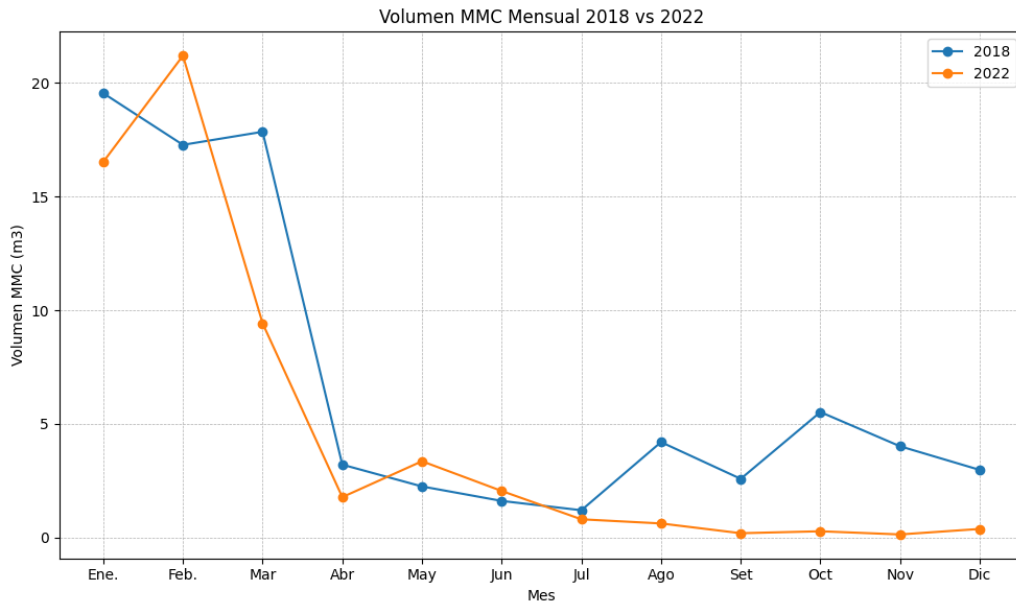


Nota. Elaboración propia

A partir de 2018, hubo un ligero descenso, pero notándose que los volúmenes se mantienen consistentes, sin grandes caídas, esto sugiere una estabilización en la actividad o demanda representada por estos volúmenes. Mientras que en el año 2022 se observó una caída notable puesto que cuenta con un total de 56.780 m³ el cual es inferior a las cifras registradas en años recientes como 2021 (79.803 m³) o 2019 (81.968 m³), si bien 2022 no tiene el volumen más bajo de todos los años listados, sí representa una reducción notable.

Figura 13

Volumen MMC Mensual 2018 vs 2022 de la presa Cuchoquesera

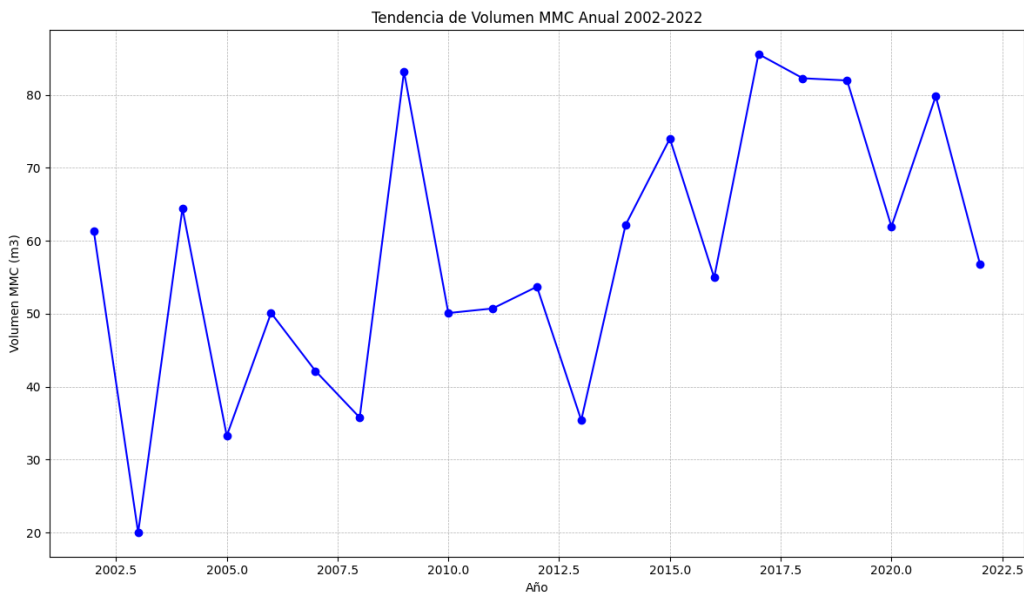


Nota. Elaboración propia

A continuación, se muestran las tendencias de los volúmenes totales MMC (millones de metros cúbicos) durante los años 2002 al 2022.

Figura 14

Tendencia de Volumen MMC Anual 2002-2022 de la presa Cuchoquesera



Nota. Elaboración propia

3.9.4.3. Comportamiento de los caudales de salida

Tabla 8

Caudales de salida de la presa Cuchoquesera (m³/s)

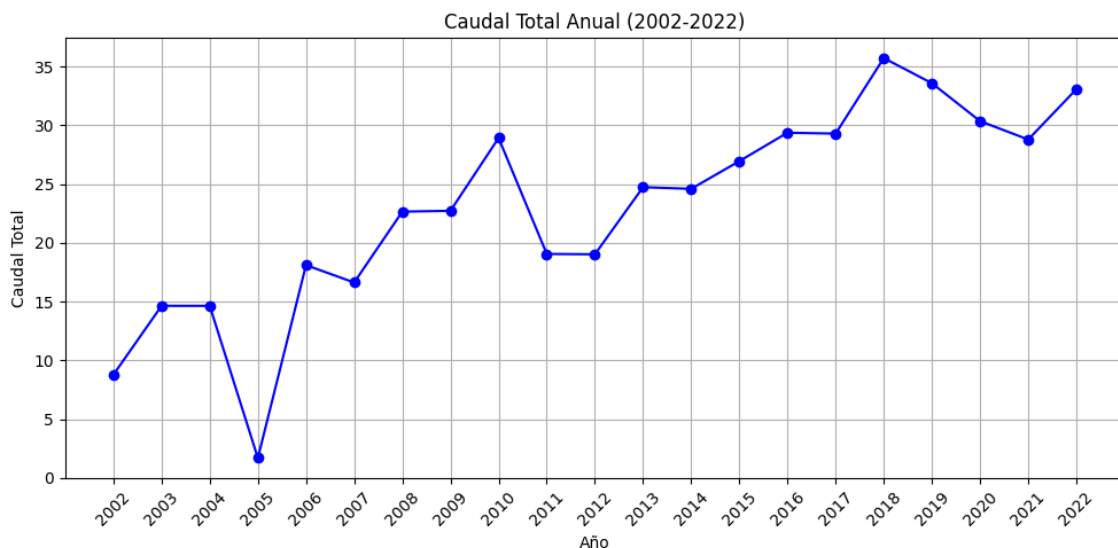
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total (m³/s)
2002	0.682	0.061	0.071	0.073	0.761	1.003	0.915	1.041	1.101	1.198	1.172	0.708	8.785
2003	0.884	0.994	1.169	1.152	0.893	0.837	1.111	1.101	1.328	1.931	2.000	1.248	14.646
2004	0.876	0.449	0.481	0.658	1.210	1.380	1.281	1.864	1.788	1.900	1.750	1.006	14.641
2005	0.167	0.682	0.771	1.015	1.998	2.388	2.287	2.374	1.935	2.455	2.712	1.553	1.695
2006	0.437	0.188	0.165	0.228	1.757	2.448	2.510	2.477	2.587	2.600	1.253	1.459	18.108
2007	0.273	0.542	0.156	0.525	0.748	0.562	1.361	3.111	2.857	2.648	2.472	1.374	16.629
2008	0.353	0.163	0.143	1.273	2.500	2.585	2.923	3.000	3.130	2.131	2.762	1.698	22.659
2009	0.532	0.096	0.792	0.430	2.356	2.723	2.947	3.186	3.493	3.097	2.455	0.623	22.731
2010	0.058	0.079	1.226	3.217	2.459	2.752	3.068	2.894	2.814	3.335	3.790	3.235	28.926
2011	0.079	0.000	0.041	0.318	1.259	2.361	2.552	2.874	2.620	3.118	2.403	1.435	19.060
2012	0.534	0.114	0.016	0.312	0.710	2.463	2.421	3.724	2.947	2.526	2.692	0.571	19.029
2013	0.185	0.104	0.002	0.722	2.945	2.732	2.924	3.640	3.815	3.639	3.130	0.900	24.739
2014	0.210	0.000	0.000	0.680	1.926	3.435	3.513	3.656	3.080	2.595	3.350	2.153	24.598
2015	0.153	0.125	0.000	0.417	1.918	3.232	3.582	3.645	4.625	4.066	3.140	2.053	26.956
2016	1.021	0.448	0.398	0.775	2.304	3.030	3.290	3.618	4.083	3.745	4.392	2.269	29.374
2017	0.629	0.146	0.000	0.398	1.057	2.424	3.534	4.488	4.542	4.032	4.774	3.275	29.298
2018	0.782	0.479	0.000	0.770	2.128	4.001	4.131	3.738	4.921	4.850	5.578	4.346	35.725
2019	1.408	0.161	0.000	0.785	2.187	3.640	4.417	4.726	4.621	4.550	5.050	2.041	33.585
2020	0.748	0.154	0.461	1.022	2.274	3.700	3.914	4.357	4.375	4.314	3.831	1.207	30.359
2021	0.407	0.543	0.354	0.275	1.973	3.123	3.789	4.089	4.550	4.333	4.067	1.292	28.795
2022	1.062	0.007	0.040	0.657	2.212	3.286	3.928	4.338	4.713	4.589	4.813	3.432	33.077

Nota. Elaboración propia

La tabla 8 presenta la representación de los caudales de salida para cada mes desde el año 2002 hasta el 2022, donde una de las observaciones iniciales más claras es la notable variación en los caudales a lo largo de los años, evidenciando distintos patrones y comportamientos en el manejo y flujo del agua.

Desde el comienzo de 2002, el caudal total anual era de 8.785, un valor relativamente modesto en comparación con los años subsiguientes y medida que avanzamos a través de los años, es evidente un aumento progresivo en el caudal total anual, alcanzando su pico más alto en 2018 con un valor de 35.725.

Figura 15
Caudal Total Anual (2002-2022) (m³/s) de la presa Cuchoquesera

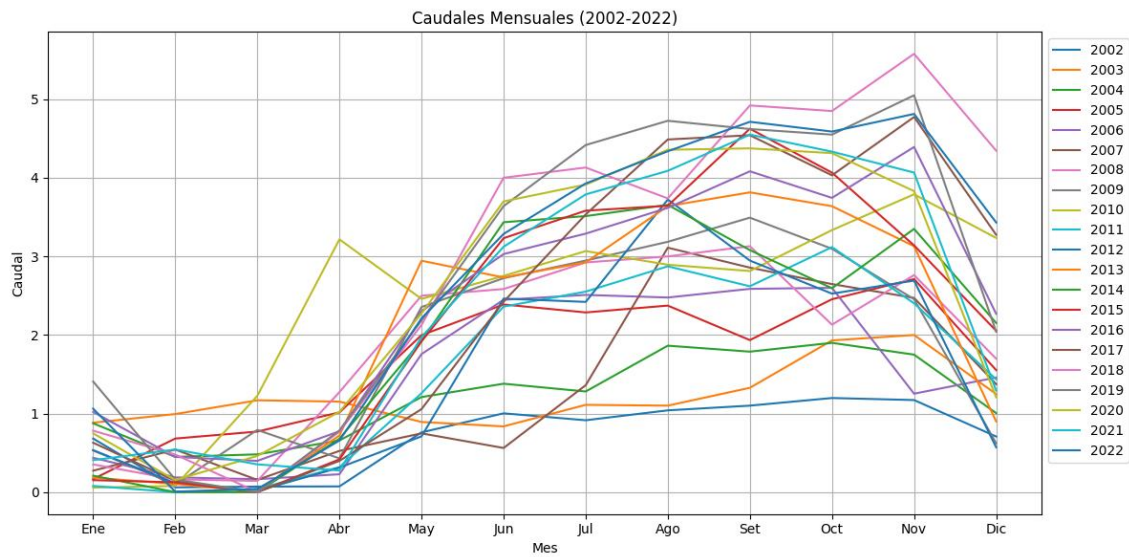


Nota. Elaboración propia

En contraste si realizamos una inspección mensual se revela que, a menudo, los primeros meses del año (enero, febrero y marzo) presentan caudales más bajos, estos meses iniciales indican ser una etapa de menor actividad en términos de flujo de agua. Sin embargo, a partir de abril, se observa un incremento notable en los valores, que alcanza su apogeo en los meses centrales del año, particularmente desde julio hasta noviembre, este patrón recurrente sugiere una marcada estacionalidad en los caudales de salida.

Figura 16

Caudales Mensuales (2002-2022) (m^3/s) de la presa Cuchoquesera

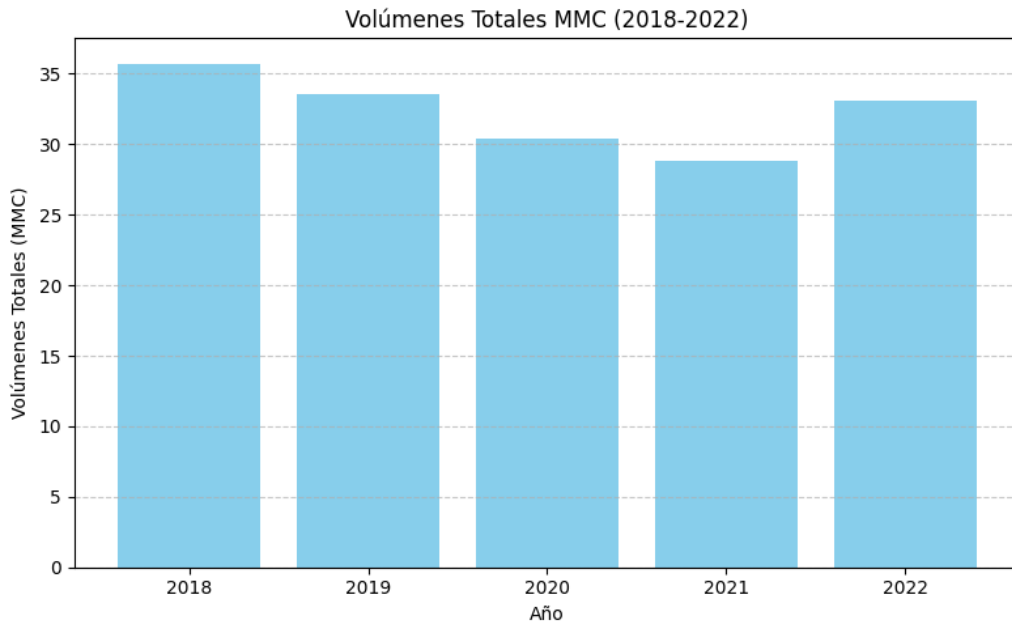


Nota. Elaboración propia

Desde 2018, se ha observado una notable consistencia en los altos caudales mensuales los cuales se pueden observar en la figura 16, este comportamiento indica un crecimiento continuo en el flujo de agua a lo largo de estos años lo que probablemente sea debido a que varios factores hayan influido en este aumento como cambios climáticos, con un incremento en las lluvias, pueden ser una de las causas principales. Además, modificaciones en la infraestructura hídrica y ajustes en las políticas de gestión de recursos acuáticos podrían haber contribuido a esta tendencia. Todo esto indica que el aumento de los caudales de salida en los últimos años ha en incremento, viendo reflejando el último mes de cada año donde en diciembre se refleja valores de caudal más altos que los primeros meses del año, y a menudo presenta una reducción en comparación con los meses anteriores, cerrando el año con un flujo menor.

Estos datos reflejan no sólo un crecimiento en los caudales de salida a lo largo de los años, sino también una estacionalidad marcada. Estos patrones son cruciales para la planificación y gestión efectiva de los recursos hídricos en la región.

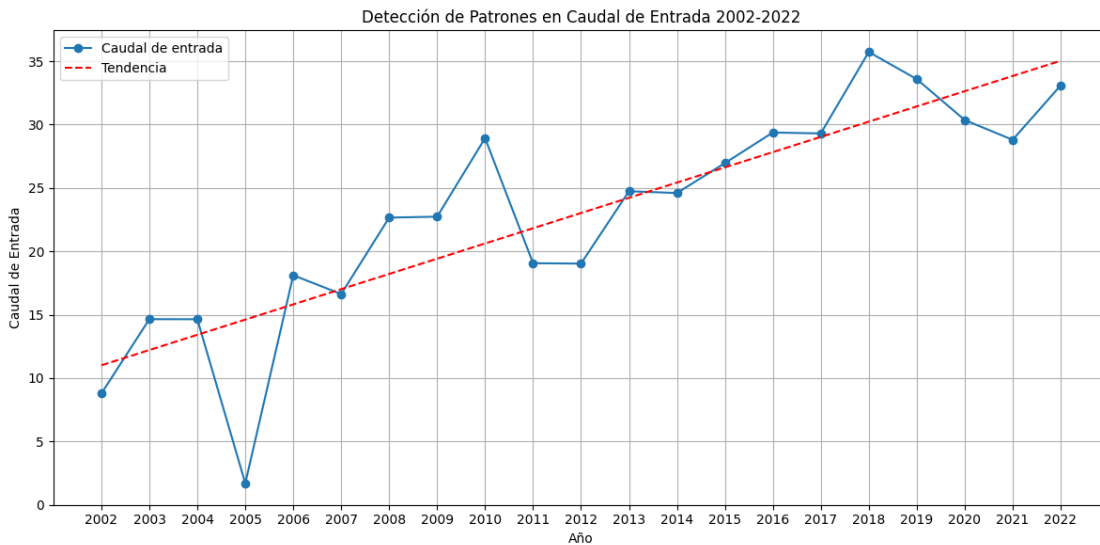
Figura 17
Volúmenes Totales MMC (2018-2022) de la presa Cuchoquesera



Nota. Elaboración propia

A continuación, se observa una tendencia general ascendente, representada por la línea roja punteada, donde se muestran variaciones año tras año, debido a factores estacionales estableciéndose en un patrón lineal.

Figura 18
Detección de Patrones en Caudal de Entrada 2002-2022 de la presa Cuchoquesera



Nota. Elaboración propia

3.9.4.4. Comportamiento de los Volúmenes de salida

Tabla 9

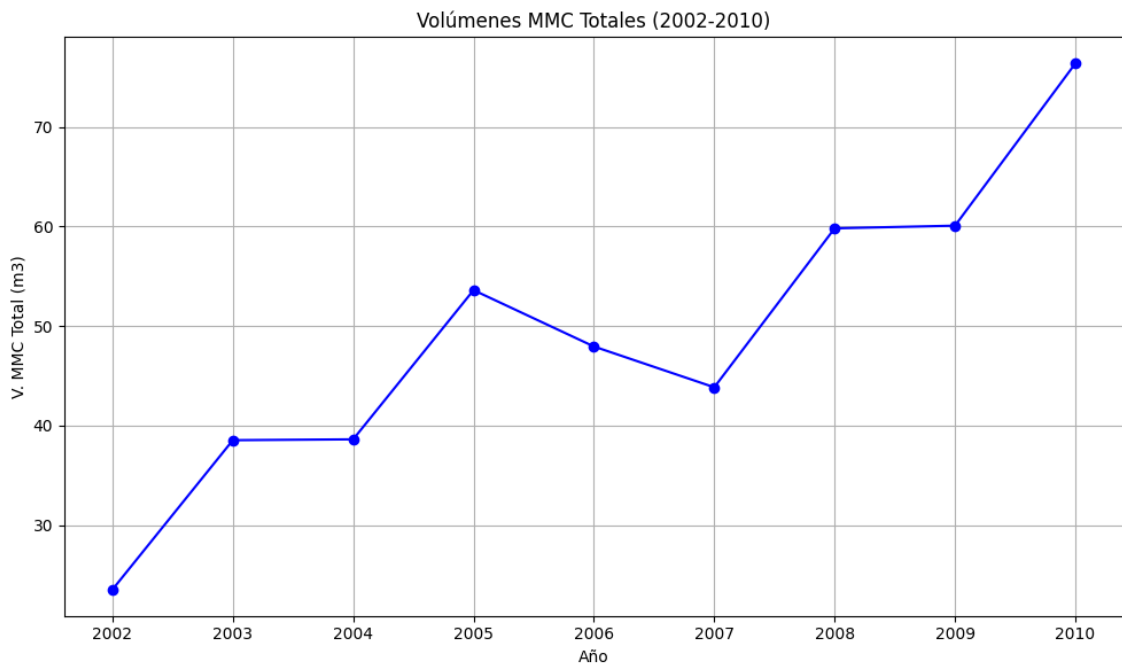
Volúmenes de salida de la presa Cuchoquesera

Año	Ene.	Feb.	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	V. MMC Total (m³)
2002	1.828	0.163	0.190	0.194	2.039	2.686	2.450	2.787	2.950	3.209	3.138	1.896	23.530
2003	2.369	2.404	3.130	2.985	2.391	2.169	2.879	2.948	3.556	5.171	5.184	3.344	38.530
2004	2.346	1.087	1.287	1.704	3.240	3.576	3.431	4.992	4.633	5.089	4.536	2.696	38.617
2005	0.447	1.650	2.066	2.631	5.350	6.191	6.126	6.359	5.016	6.575	7.029	4.160	53.600
2006	1.169	0.502	0.443	0.591	4.706	6.345	6.722	6.636	6.705	6.964	3.249	3.908	47.940
2007	0.731	1.311	0.417	1.361	2.004	1.456	3.646	8.333	7.404	7.093	6.407	3.680	43.843
2008	0.945	0.394	0.383	3.298	6.696	6.700	7.828	8.035	8.113	5.707	7.158	4.549	59.806
2009	1.426	0.233	2.121	1.115	6.312	7.059	7.893	8.534	9.055	8.294	6.363	1.668	60.073
2010	0.156	0.190	3.283	8.338	6.587	7.132	8.217	7.753	7.293	8.934	9.823	8.664	76.370
2011	0.212	0.000	0.109	0.825	3.372	6.119	6.614	7.698	6.791	8.351	6.229	3.845	50.165
2012	1.430	0.276	0.043	0.808	1.901	6.385	6.275	9.975	7.638	6.765	6.977	1.529	50.002
2013	0.497	0.252	0.004	1.872	7.888	7.080	7.580	9.750	9.888	9.746	8.113	2.411	65.081
2014	0.562	0.000	0.000	1.763	5.158	8.904	9.105	9.793	7.983	6.951	8.683	5.767	64.669
2015	0.410	0.302	0.000	1.080	5.136	8.376	9.285	9.763	11.988	10.891	8.139	5.499	70.869
2016	2.735	1.084	1.067	2.009	6.171	7.854	8.528	9.690	10.584	10.031	11.383	6.077	77.213
2017	1.684	0.354	0.000	1.032	2.831	6.283	9.161	12.020	11.773	10.800	12.373	8.770	77.081
2018	2.094	1.284	0.000	2.063	5.700	10.717	11.066	10.012	13.181	12.990	14.940	11.641	95.687
2019	3.772	0.430	0.000	2.103	5.857	9.749	11.830	12.658	12.378	12.187	13.526	5.467	89.954
2020	2.004	0.413	1.236	2.736	6.092	9.910	10.484	11.670	11.718	11.556	10.260	3.234	81.312
2021	1.089	1.454	0.947	0.736	5.285	8.366	10.149	10.952	12.187	11.605	10.894	3.460	77.124
2022	2.845	0.017	0.107	1.759	5.926	8.801	10.522	11.619	12.622	12.291	12.890	9.193	88.591

La tabla 9 presenta los volúmenes MMC (millones de metros cúbicos) de salida a lo largo de dos décadas, mostrando variaciones notables en los comportamientos anuales, observándose que, en los primeros años, desde 2002 hasta 2004, los volúmenes oscilaron entre 23.530 m³ y 38.617 m³, con un incremento gradual año tras año. Sin embargo, a partir de 2005, se observa un auge significativo, alcanzando los 53.600 m³, esta tendencia al alza continuó en los años siguientes, con algunos años, como 2010, superando los 76.000 m³.

Figura 19

Volúmenes MMC Totales (2002-2010) de la presa Cuchoquesera

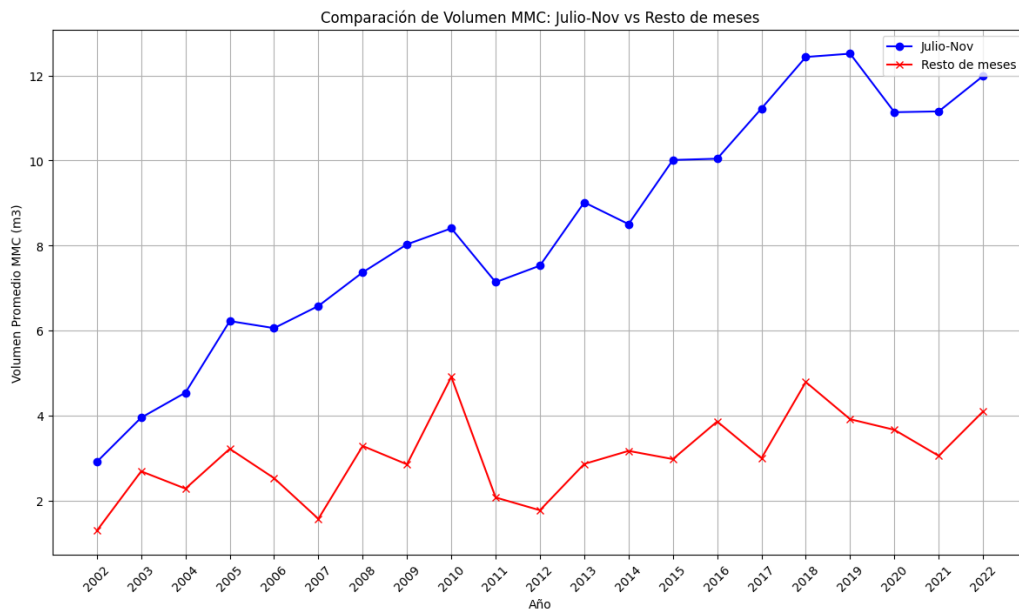


Nota. Elaboración propia

En términos mensuales, ciertos meses, como julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre tienden a tener salidas más elevadas en comparación con los primeros meses del año, esta tendencia demuestra que existe una estacionalidad en la producción o demanda de MMC (millones de metros cúbicos), a su vez este incremento en la salida es mucho más pronunciado en los años más específicamente des del año 2013.

Figura 20

Comparación de Volumen MMC: Julio-Nov vs Resto de meses de la presa Cuchoquesera

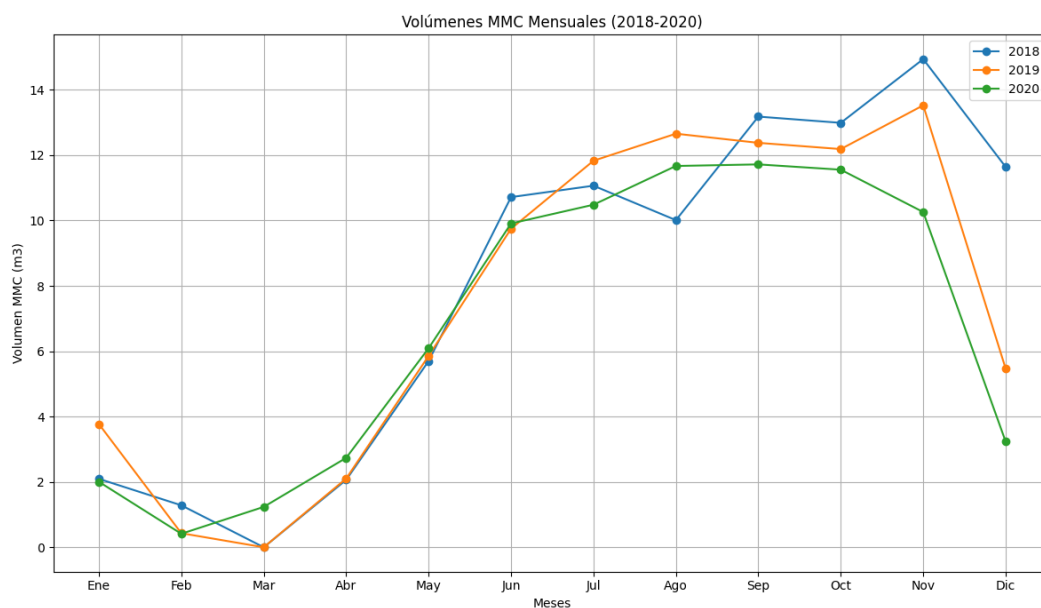


Nota. Elaboración propia

El año 2018 destaca particularmente con el volumen más alto registrado de 95.687 m³, ya que posteriormente, hubo una ligera disminución en 2019 y 2020, pero los volúmenes se mantuvieron por encima de los 80.000 m³

Figura 21

Volúmenes MMC Mensuales (2018-2022) de la presa Cuchoquesera

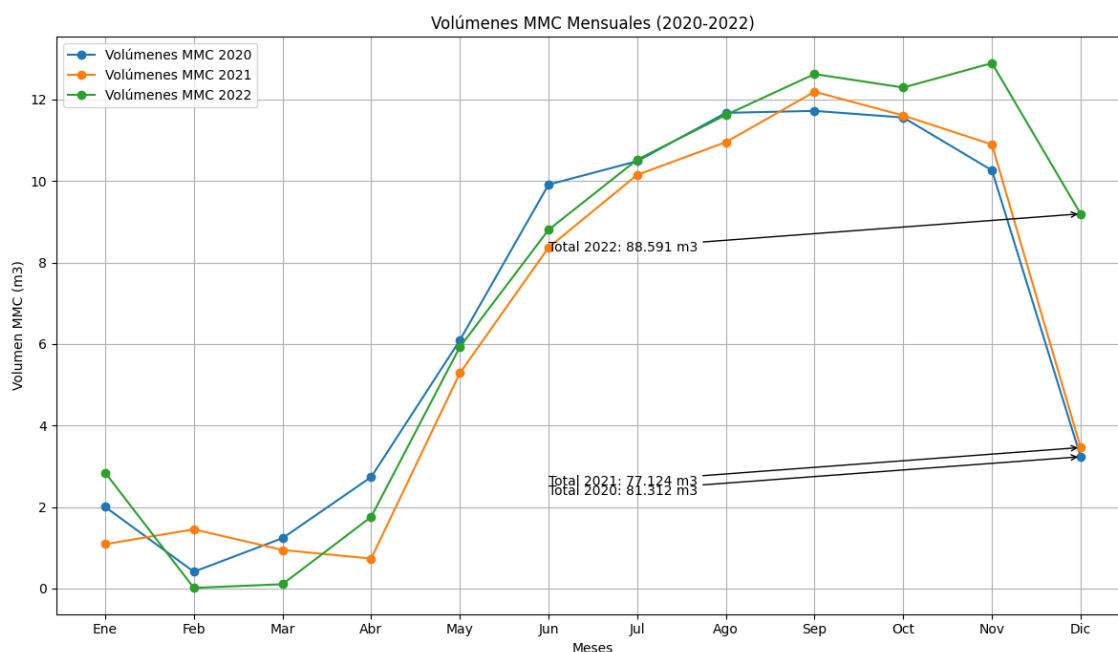


Nota. Elaboración propia

En los años recientes, 2021 y 2022, los volúmenes han rondado los 77.000 m³ y 88.000 m³, respectivamente, indicando cierta estabilidad en la producción o demanda, mostrando que, tras un crecimiento inicial, los volúmenes MMC (millones de metros cúbicos) de salida han experimentado fluctuaciones, pero en general, han mantenido una tendencia al alza a lo largo de las dos décadas.

Figura 22

Volúmenes MMC Mensuales (2020-2022) de la presa Cuchoquesera



Nota. Elaboración propia

3.9.5. Optimización del Volumen de la presa

La optimización del volumen de la presa Cuchoquesera es un aspecto crucial en la gestión de recursos hídricos, ya que al establecer un volumen óptimo permite garantizar que la presa pueda satisfacer las demandas de agua durante períodos de escasez y, al mismo tiempo, evitar el desbordamiento o la inundación durante períodos de abundancia. La clave está en equilibrar adecuadamente los caudales de entrada, que se refieren al agua que fluye hacia la presa, y los caudales de salida, que representan el agua liberada para abastecer a las comunidades, la agricultura y otros usos. Para lograr una gestión eficiente, se aplicarán herramientas matemáticas como la programación lineal y la programación dinámica.

3.9.5.1. Programación Lineal

La programación lineal busca encontrar el mejor resultado en un modelo matemático, considerando ciertas restricciones lineales, dentro del contexto de la presa, esto podría traducirse en maximizar el almacenamiento de agua mientras se cumplen las demandas y se respetan los límites de capacidad.

Primero para realiza la programación lineal se realizó un código en Python el cual nos va a permitir encontrar la diferencia para hallar el total de maximizado de agua dentro de la presa Cuchoquesera (Ver Anexo N°8); en relación a los volúmenes de entrada y salida correspondientes a las tablas 7 y 9.

Figura 23

Código para Maximizar el almacenamiento de Agua

```
import pulp
prob = pulp.LpProblem("MaximizarAlmacenamientoDeAgua",
pulp.LpMaximize)
meses = list(range(1, 13))
anios = list(range(2002, 2023))
x = pulp.LpVariable.dicts("Diferencia", [(i, j) for i in anios for j
in meses], 0)
prob += pulp.lpSum([x[i, j] for i in anios for j in meses])
entrada = {
}
salida = {
}
for i in años:
    for j in meses:
        prob += x[i, j] <= entrada[i][j-1] - salida[i][j-1]
prob.solve()
print("Status:", pulp.LpStatus[prob.status])
for i in años:
    for j in meses:
        print(f"Diferencia para el año {i} mes {j}: {x[i,
j].varValue}")
print("Total maximizado de agua almacenada:",
pulp.value(prob.objective))
```

Nota. Elaboración propia

A continuación, se muestra la tabla resultante de código proporcionado en la figura 23, dando un total de 846.802 m³ maximizado de agua almacenada, el cual es la proporción que se hubiera ahorrado en caso de haber realizado un análisis de estado hídrico que presenta la presa Cuchoquesera

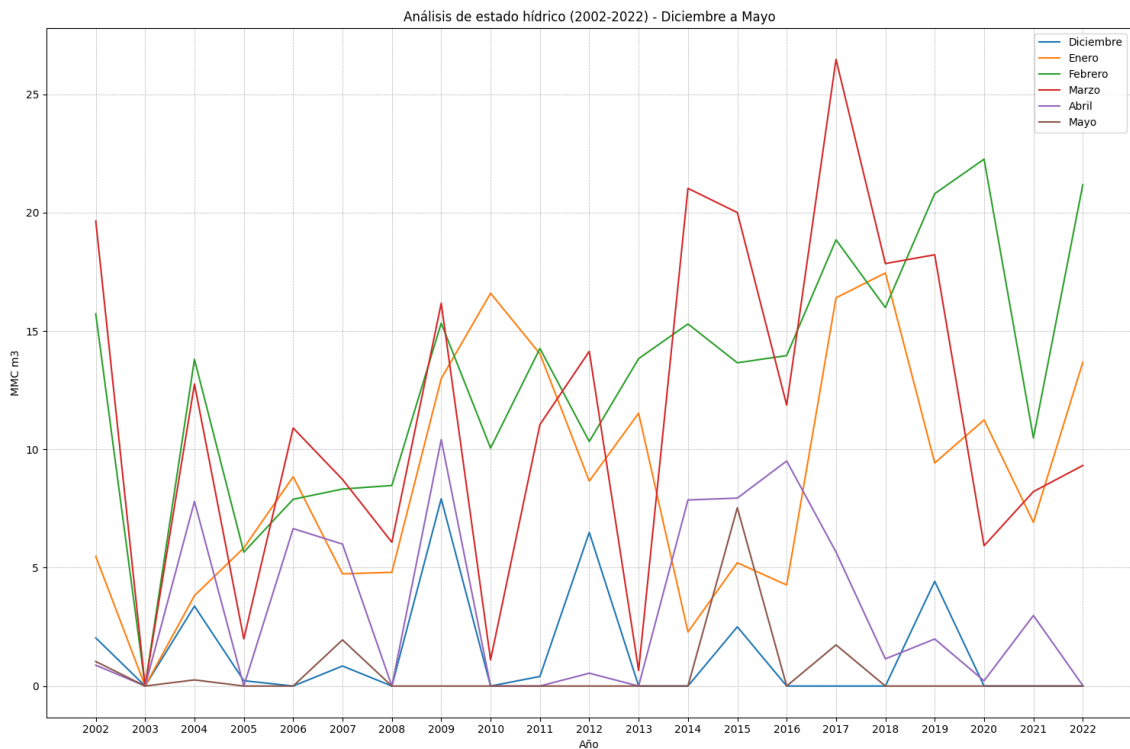
Tabla 10*Análisis en la diferencia de estado hídrico desde el año 2002 - 2022 de la presa Cuchoquesera*

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2002	5.48	15.725	19.648	0.881	1.037	0	0	0	0	0	0	2.035
2003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2004	3.82	13.804	12.76	7.801	0.259	0	0	0	0	0	0	3.377
2005	5.837	5.657	1.991	0	0	0	0	0	0	0	0	0.226
2006	8.844	7.89	10.902	6.652	0	0	0	0	0	0	0	0
2007	4.74	8.324	8.727	5.997	1.949	0	0	0	0	0	0	0.846
2008	4.806	8.474	6.077	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	12.988	15.333	16.174	10.416	0	0	0	0	0	0	0	7.911
2010	16.597	10.054	1.107	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2011	14.037	14.265	11.049	0	0	0	0	0	0	0	0	0.405
2012	8.66	10.332	14.141	0.542	0	0	0	0	0	0	0	6.491
2013	11.53	13.833	0.66	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2014	2.283	15.299	21.028	7.862	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	5.209	13.658	20.006	7.941	7.532	0	0	0	0	0	0	2.503
2016	4.268	13.962	11.87	9.508	0	0	0	0	0	0	0	0
2017	16.404	18.856	26.478	5.662	1.738	0	0	0	0	0	0	0
2018	17.453	15.991	17.85	1.148	0	0	0	0	0	0	0	0
2019	9.426	20.803	18.222	1.988	0	0	0	0	0	0	0	4.425
2020	11.243	22.262	5.927	0.221	0	0	0	0	0	0	0	0
2021	6.917	10.482	8.215	2.98	0	0	0	0	0	0	0	0

Nota. Elaboración propia

A continuación, se muestra la línea temporal desde el año 2002 al 2022 representada en la figura 24, de todos los meses excluyendo a los meses de junio a noviembre ya que presentan valores de cero, lo que se infiere que durante esos meses hubo una demanda alta o un uso específico del agua durante esos meses (por ejemplo, riego agrícola), lo que indico a modelo decidir usar el agua almacenada en lugar de continuar almacenándola, otra razón que se puede inferir es que los valores de volúmenes durante esos meses son menores a los demás meses, lo que indica que en esos meses generalmente tienen niveles bajos de precipitación o aporte de agua, y el modelo podría decidir que no es beneficioso almacenar agua durante esos meses.

Figura 24
Análisis de estado hídrico (2002-2022) - diciembre a mayo de la presa Cuchoquesera



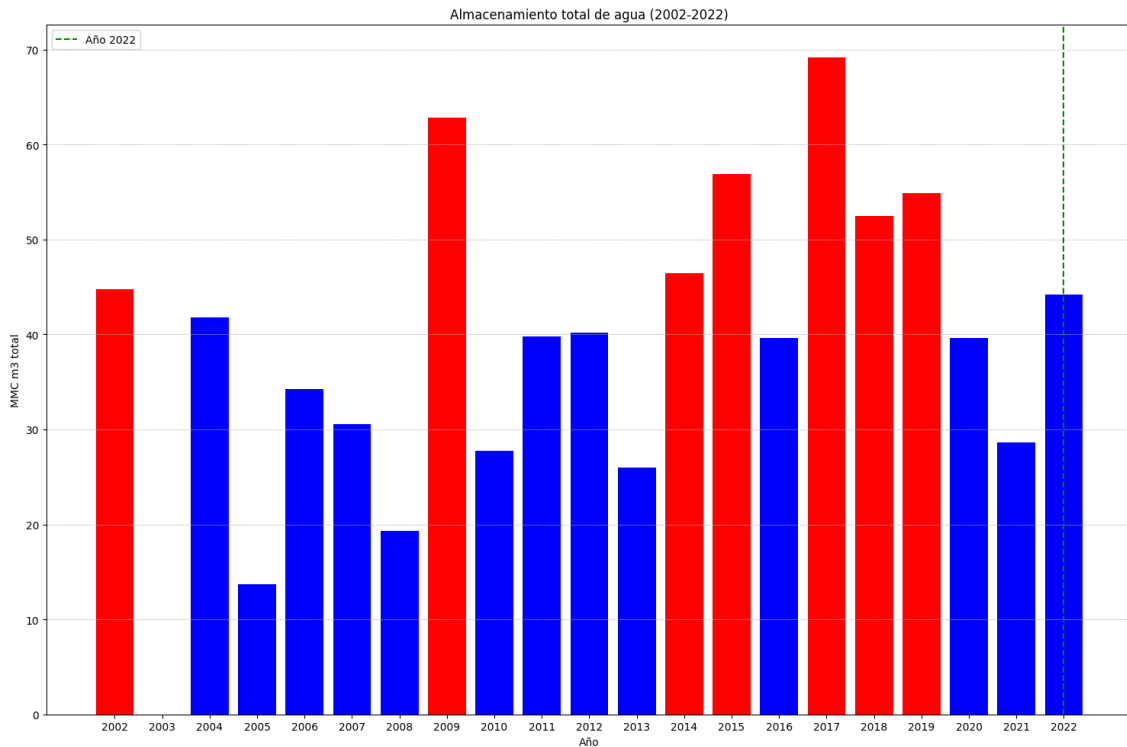
Nota. Elaboración propia

A continuación, se muestra la figura 25, que ofrece una visualización de cómo ha variado el almacenamiento total de agua a lo largo de los años, donde los datos representados provienen de las cantidades de agua almacenadas mes a mes, y el gráfico muestra la suma total de esas cantidades para cada año. Además, también se puede

apreciar que los últimos años el almacenamiento de agua que se pudo proyectar no era muy pronunciado.

Figura 25

Almacenamiento total de agua (2002-2022) de la presa Cuchoquesera



Nota. Elaboración propia

3.9.5.2. Programación Dinámica

La programación dinámica es un enfoque que descompone el problema en subproblemas más pequeños y los resuelve de manera sistemática, esta técnica es particularmente útil para considerar escenarios futuros y tomar decisiones en tiempo real a medida que cambian las condiciones de entrada y salida.

Mediante el uso de la programación dinámica se halló los balances mensuales y anuales para cada año desde 2002 hasta 2022, el cual está representado por 12 valores que corresponde a los meses de año, donde cada valor representa el balance de un mes específico, mostrando que si es un valor positivo indica un aumento o ganancia, mientras que un valor negativo indica una disminución o pérdida.

Tabla 11*Balance anual y mensual (m³) de la presa Cuchoquesera*

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Balance Anual
2002	5305824	16866144	19014912	886464	1003104	-1016064	-1386720	-588384	-697248	-1816992	-1124928	1969920	38416032
2003	-360288	-1687392	-1866240	-1124928	-479520	-528768	-1163808	-1057536	-1827360	-2765664	-4790016	-707616	-18359136
2004	3696192	14789952	12348288	7799328	248832	-2073600	-1710720	-3473280	-3014496	-2760480	-2719008	3268512	26399520
2005	5647968	6062688	1928448	-637632	-3442176	-4668192	-4769280	-5484672	-3662496	-4644864	-6132672	217728	-19585152
2006	8556192	8504352	10552032	6653664	-2112480	-4727808	-5352480	-5038848	-5266944	-5414688	-1669248	-1884384	2799360
2007	4587840	8919072	8444736	5997888	1886976	-948672	-3138912	-7835616	-6537024	-6804000	-6407424	819072	-1016064
2008	4650048	9079776	5881248	-300672	-4730400	-4922208	-6197472	-6581088	-7221312	-4530816	-6384096	-1741824	-22998816
2009	12571200	16428096	15653088	10417248	-1747008	-6018624	-6425568	-7260192	-8278848	-6708096	-2488320	7965216	24108192
2010	16062624	10769760	1070496	-6467040	-2656800	-5326560	-7133184	-6710688	-6254496	-7394976	-8952768	-2024352	-25017984
2011	13584672	15282432	10692000	-432864	-1075680	-5593536	-6047136	-6643296	-6319296	-7179840	-5406912	531360	1391904
2012	8379936	11070432	13685760	541728	-127008	-5044032	-5253984	-8965728	-6562944	-5497632	-4530816	6539616	4235328
2013	11158560	14821056	637632	-995328	-4683744	-4805568	-6171552	-9173088	-9618912	-9326016	-7903008	-2218752	-28278720
2014	2503872	16391808	20349792	7861536	-1096416	-7187616	-7558272	-8582112	-7566048	-4214592	-8535456	-3564000	-1197504
2015	5041440	14631840	19359648	7939296	7288704	-6964704	-8825760	-9297504	-11988000	-10010304	-5997888	2680128	3856896
2016	4131648	14961024	11487744	9507456	-2604960	-6148224	-7778592	-9110880	-10347264	-9582624	-11223360	-4191264	-20899296
2017	15873408	20204640	25624512	5663520	1682208	-3709152	-7472736	-11464416	-11467008	-9655200	-10253952	-5660928	9364896
2018	16889472	17267904	17273088	1215648	-3335904	-8755776	-9541152	-5622048	-10168416	-7047648	-10437984	-8286624	-10549440
2019	9123840	22332672	17633376	2055456	-502848	-6925824	-10028448	-12063168	-11575872	-11793600	-7667136	4600800	-4810752
2020	10881216	23895648	5736096	308448	-1088640	-7861536	-9859968	-11215584	-11303712	-10990080	-9603360	5080320	-16021152
2021	21625056	14009760	19634400	624672	-578016	-4898880	-8071488	-9971424	-11132640	-9569664	-8592480	3714336	6793632
2022	14953248	22692960	9017568	80352	-2480544	-6464448	-9398592	-10640160	-12019104	-11614752	-12332736	-8512128	-26718336

Los datos positivos en esta tabla reflejan los volúmenes de agua, en metros cúbicos, que se añaden al balance anual de la presa Cuchoquesera durante los meses y años especificados. Estos representan aumentos en el almacenamiento o entradas positivas, como aportes de lluvia o afluentes. Por otro lado, los datos negativos indican reducciones en el almacenamiento o salidas, tales como evaporación, uso de agua para riego o generación de energía, y otros factores que disminuyen el volumen disponible en la presa. Estos balances muestran la dinámica de gestión del agua en la presa a lo largo del tiempo, reflejando los ciclos de abundancia y escasez.

Para la programación dinámica se realizó el balance mensual calculado tomando el caudal de entrada en (m³ /s) para ese mes, convirtiéndolo a un volumen total en m³ para todo el mes y luego restándole el volumen de salida para ese mismo mes y si el resultado diera un número es positivo, significaba que hubo un excedente de agua (más entrada que salida), en cambio si el número es negativo, significaba que hubo un déficit (más salida que entrada) (Ver Anexo N°9), y para realizar todo esto se aplica el siguiente código de programación:

Figura 26

Código para encontrar el balance anual y mensual de agua

```

entrada = {
}
salida = {
}
def m3s_to_mmc(m3s_values):
    seconds_in_month = 30 * 24 * 60 * 60 # Asumiendo 30 días en un
mes
    return [val * seconds_in_month for val in m3s_values]
balance = {}
for year in entrada:
    monthly_balance = []
    for month in range(12):
        volume_entrada = m3s_to_mmc([entrada[year][month]])[0]
        volume_salida = m3s_to_mmc([salida[year][month]])[0]
        monthly_balance.append(volume_entrada - volume_salida)

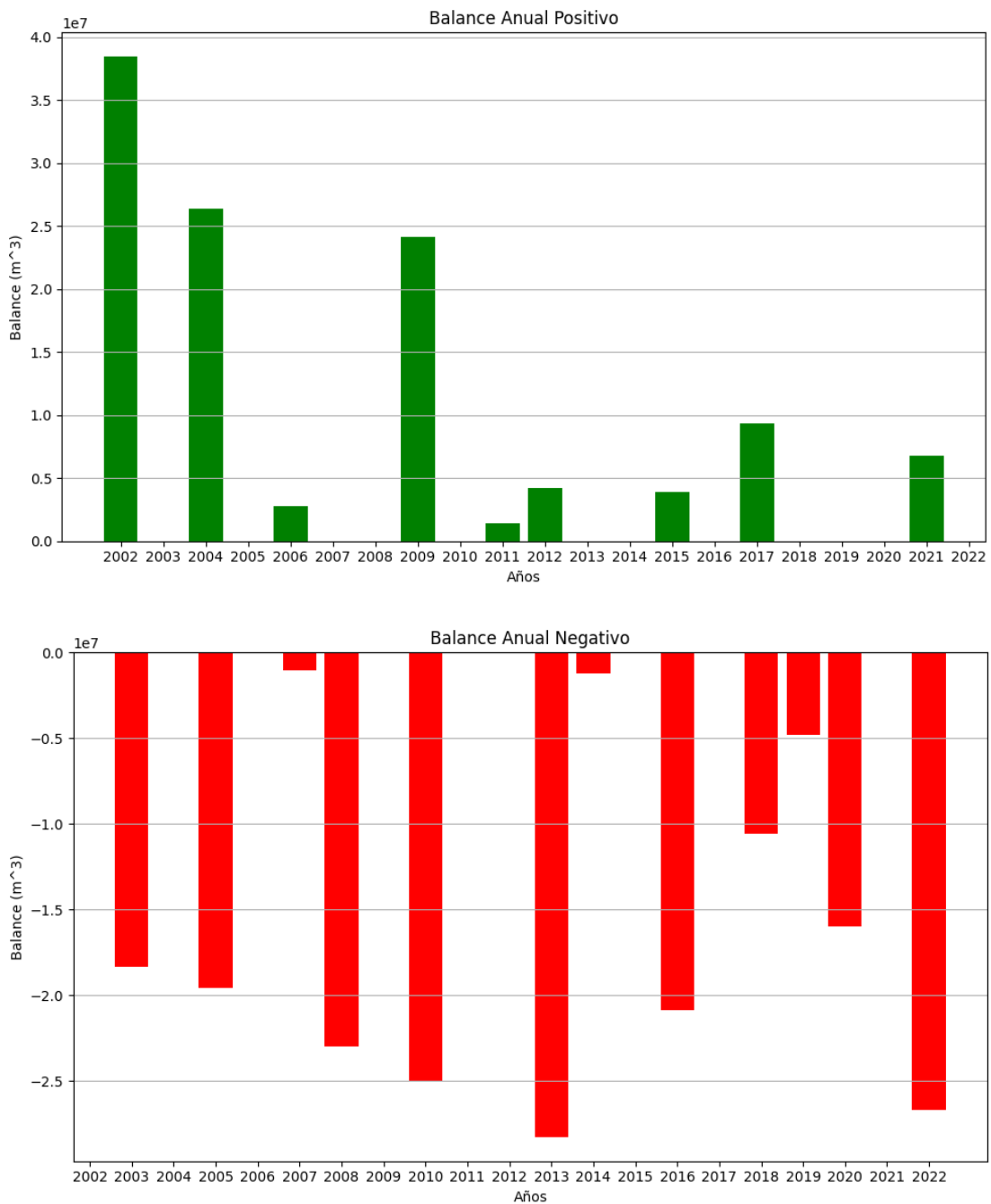
    annual_balance = sum(monthly_balance)
    balance[year] = {
        "monthly": monthly_balance,
        "annual": annual_balance
    }
for year, data in balance.items():
    print(f"Año {year}:")
    print("  Balance mensual:", data["monthly"])
    print("  Balance anual:", data["annual"])

```

Nota. Elaboración propia

En base a la tabla 11, inferimos que en los años donde el balance anual es negativo indican que hubo más agua saliendo que entrando durante ese año, a continuación, se muestra la figura 27, que relata los índices de los años con mayor salida de agua, indicando una disminución del recurso hídrico y los índices con menor salida de agua indicando hubo un excedente total de agua de esa cantidad.

Figura 27
Balance Anual Positivo y Negativo



Nota. Elaboración propia

3.9.6. Monte Carlo

3.9.6.1. Incertidumbre de los caudales de entrada y salida

Para calcular la desviación estándar el cual mide la dispersión o variabilidad de un conjunto de datos, se estudió los caudales de entrada y salida, lo que permitió comprender cuánto varían estos caudales respecto a su media en un período específico, como un año, y para realizar esto se utilizó la simulación de probabilidad múltiple Monte Carlo con una secuencia de n simulaciones siendo n el valor de 1000 (Ver Anexo N°10), a continuación se muestra el código que se realizó para encontrar las incertidumbre en los caudales de entrada y salida.

Figura 28

Cálculo de la Incertidumbre por Monte Carlo

```
import numpy as np

caudales_entrada = [
]
caudales_salida = [
]

caudales_entrada = np.array(caudales_entrada)
caudales_salida = np.array(caudales_salida)

for idx, caudales_anuales in enumerate(caudales_salida):
    media = np.mean(caudales_anuales)
    std_dev = np.std(caudales_anuales)

    # Simulación Monte Carlo
    n_simulaciones = 10000
    simulaciones = np.random.normal(media, std_dev, n_simulaciones)

    # Resultados
    media_simulada = np.mean(simulaciones)
    std_dev_simulada = np.std(simulaciones)

    print(f"Año {idx + 1}:")
    print(f"  Media Estimada: {media_simulada:.2f}")
    print(f"  Incertidumbre (desviación estándar):
{std_dev_simulada:.2f}")
    print("-" * 30)
```

Nota. Elaboración propia

A continuación, se muestra los resultados obtenidos a partir de la simulación de probabilidad múltiple.

Tabla 12*Desviación estándar de los caudales de entrada y salida de la presa Cuchoquesera*

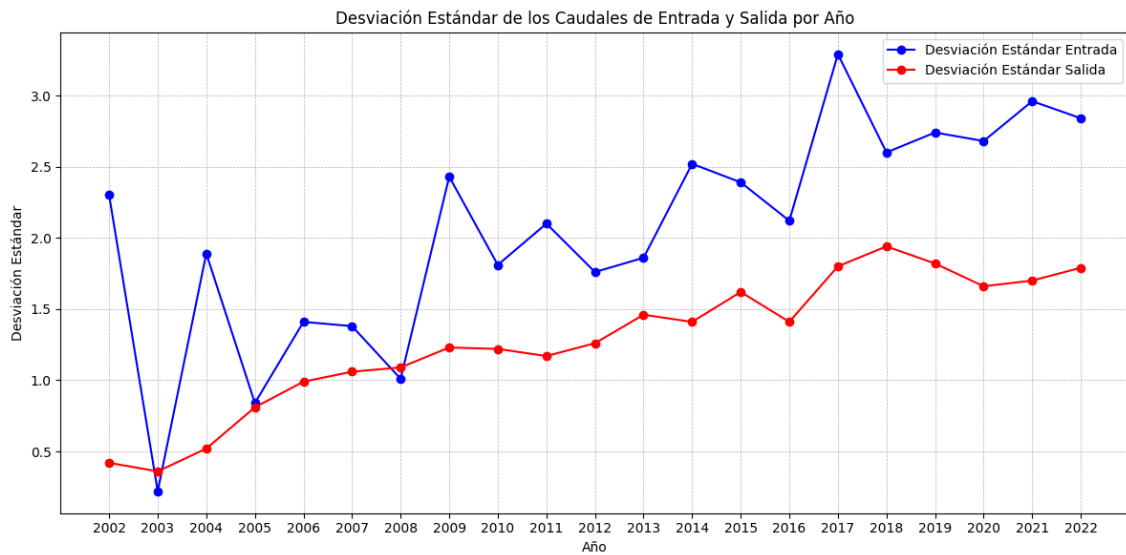
Año	Caudales de Entrada		Caudales de Salida	
	Media Estimada	Incertidumbre (desviación estándar)	Media Estimada	Incertidumbre (desviación estándar)
2002	1.95	2.30	0.74	0.42
2003	0.63	0.22	1.22	0.36
2004	2.09	1.89	1.22	0.52
2005	1.08	0.84	1.69	0.81
2006	1.59	1.41	1.50	0.99
2007	1.35	1.38	1.38	1.06
2008	1.15	1.01	1.89	1.09
2009	2.62	2.43	1.90	1.23
2010	1.60	1.81	2.45	1.22
2011	1.61	2.10	1.61	1.17
2012	1.71	1.76	1.57	1.26
2013	1.14	1.86	2.05	1.46
2014	1.98	2.52	2.07	1.41
2015	2.35	2.39	2.25	1.62
2016	1.76	2.12	2.41	1.41
2017	2.73	3.29	2.44	1.80
2018	2.69	2.60	2.95	1.94
2019	2.64	2.74	2.82	1.82
2020	2.01	2.68	2.51	1.66
2021	2.60	2.96	2.40	1.70
2022	1.91	2.84	2.76	1.79

Nota. Elaboración propia

Además, determinar la desviación estándar anualmente nos ayuda a identificar años con variaciones inusuales, lo que puede ser indicativo de eventos extremos, como sequías, dado que, esta información es crucial para diseñar infraestructuras hidráulicas adecuadas, gestionar recursos hídricos y tomar decisiones informadas sobre el uso y conservación del agua. Por lo tanto, conocer estos datos mejora la planificación y respuesta ante eventos inesperados.

Figura 29

Desviación Estándar de los Caudales de Entrada y Salida por Año



Nota. Elaboración propia

La figura 28 representa la desviación estándar de los caudales de entrada y salida de la presa Cuchoquesera a lo largo de dos décadas más específicamente desde el año 2002 al 2022, donde las líneas azul y roja ilustran la variabilidad de los caudales de entrada y salida, respectivamente. Además, observando las tendencias, podemos identificar años con fluctuaciones inusuales, lo que podría señalar eventos extremos como lluvias intensas o periodos de sequía.

Para la gestión de la presa Cuchoquesera, esta visualización es esencial, ya que una desviación estándar elevada en los caudales indica una variabilidad alta, lo que podría traducirse en riesgos para la estructura de la presa o para la provisión continua de agua, puesto que, conociendo esta variabilidad los administradores de la presa pueden tomar decisiones más informadas sobre el almacenamiento y liberación de agua, anticipar posibles escenarios de riesgo y diseñar estrategias preventivas.

3.9.6.2. Evaluación de la confiabilidad del almacenamiento de la presa

La evaluación de la confiabilidad indicara qué tan a menudo se puede esperar que el caudal o volumen de entrada sea mayor que el de salida, conocer esto puede ayudar a tomar decisiones informadas sobre la gestión de recursos, inversiones en infraestructura o estrategias de operación, y para realizar esto se realizará un método de simulación

conocido como Monte Carlo para evaluar la confiabilidad de los sistemas de caudales y volúmenes en términos de si el total anual de entrada es mayor que el total anual de salida (Ver Anexo N°11).

Figura 30
Código de la confiabilidad anual

```
import random
caudales_entrada = {...}
caudales_salida = {...}
Volumen_entrada = {...}
Volumen_salida = {...}

confiabilidad_anual_caudal = {}
confiabilidad_anual_volumen = {}

# Monte Carlo con 1000 iteraciones por año
num_simulaciones = 1000

# Para caudales
for year in caudales_entrada.keys():
    count_entrada_mayor_caudal = 0
    for _ in range(num_simulaciones):
        total_entrada_caudal =
sum(random.choice(caudales_entrada[year]) for _ in range(12))
        total_salida_caudal =
sum(random.choice(caudales_salida[year]) for _ in range(12))

        if total_entrada_caudal > total_salida_caudal:
            count_entrada_mayor_caudal += 1

    confiabilidad_caudal = count_entrada_mayor_caudal /
num_simulaciones
    confiabilidad_anual_caudal[year] = confiabilidad_caudal

# Para volúmenes
for year in volumen_entrada.keys():
    count_entrada_mayor_volumen = 0
    for _ in range(num_simulaciones):
        total_entrada_volumen =
sum(random.choice(volumen_entrada[year]) for _ in range(12))
        total_salida_volumen =
sum(random.choice(volumen_salida[year]) for _ in range(12))

        if total_entrada_volumen > total_salida_volumen:
            count_entrada_mayor_volumen += 1

    confiabilidad_volumen = count_entrada_mayor_volumen /
num_simulaciones
    confiabilidad_anual_volumen[year] = confiabilidad_volumen
```

Nota. Elaboración propia

La ejecución de este código y sus resultados proporcionan una herramienta valiosa para comprender mejor la confiabilidad y el desempeño del estado que presenta la presa Cuchoquesera a lo largo de dos décadas, permitiéndote tomar decisiones más informadas y proactivas en su gestión, a continuación, se muestra la tabla 13, donde se puede apreciar los resultados obtenidos para cada año en base a la confiabilidad.

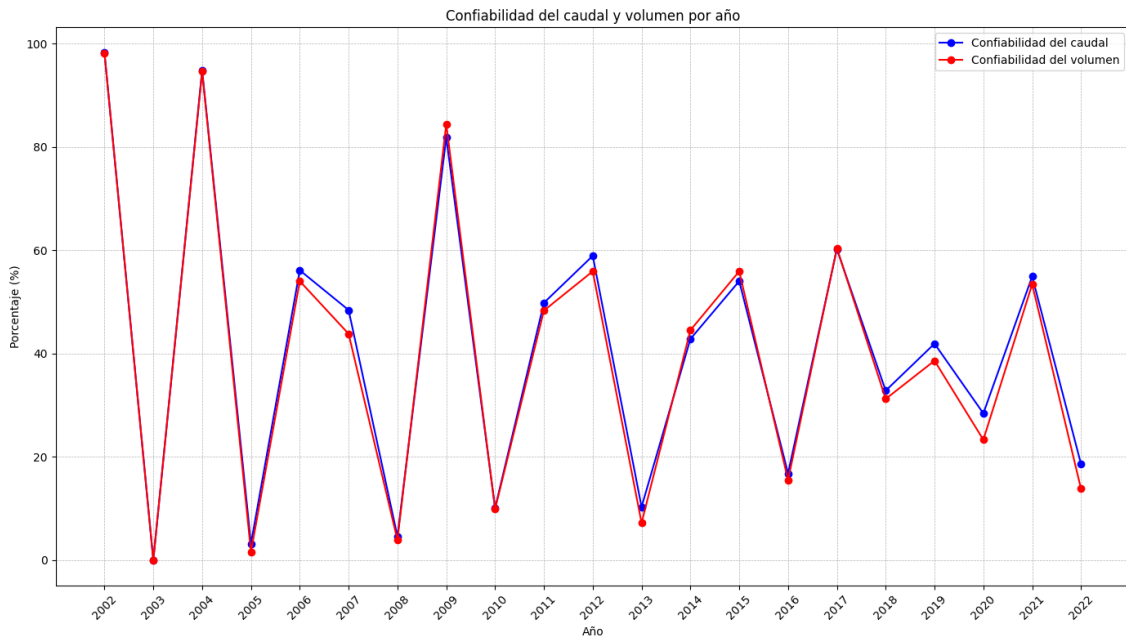
Tabla 13
Confiabilidad del Caudal y Volumen de la presa Cuchoquesera

Año	Confiabilidad del caudal	Confiabilidad del volumen
2002	98.20%	98.10%
2003	0.00%	0.00%
2004	94.80%	94.60%
2005	3.20%	1.60%
2006	56.10%	54.00%
2007	48.40%	43.80%
2008	4.60%	3.90%
2009	81.80%	84.40%
2010	10.10%	9.90%
2011	49.80%	48.30%
2012	58.90%	55.90%
2013	10.30%	7.20%
2014	42.80%	44.50%
2015	54.00%	55.90%
2016	16.80%	15.50%
2017	60.20%	60.40%
2018	32.80%	31.20%
2019	41.90%	38.60%
2020	28.40%	23.30%
2021	54.90%	53.40%
2022	18.60%	13.80%

Nota. Elaboración propia

Y si calculamos a un nivel general considerando todos los años la confiabilidad de almacenamiento que presenta la presa Cuchoquesera en los últimos años es de un 34.18%, esto lo podemos corroborar si observamos los años 2020 y 2021 en la tabla 13, demostrando que existen circunstancias dentro de la presa que se deben de analizar.

Figura 31
Confiabilidad del caudal y volumen por año



Nota. Elaboración propia

3.9.6.3. Evaluación de riesgos

Para analizar la evaluación de riesgos dentro de la presa Cuchoquesera se realizó un código analítico basado en Monte Carlo, donde en lugar de simplemente contar las veces que la salida excede la entrada, ahora estamos acumulando el déficit total y luego calculamos el déficit promedio por año, esto brindara una idea más cuantitativa del riesgo en términos de volumen, no solo en términos de eventos, a continuación se muestra el código realizado para encontrar los niveles de riesgo analizando la probabilidad de que la salida sea mayor que la entrada para cada año en las dos últimas décadas (Ver Anexo N°12).

Figura 32
Probabilidad de que la salida sea mayor que la entrada 2002-2022

```
import random
import numpy as np

entrada = np.array([
    ])
salida = np.array([
    ])

def monte_carlo_simulation(entrada, salida, num_simulations=10000):
```

```

years, months = entrada.shape
prob_exceed = []

for year in range(years):
    count_exceed = 0
    for _ in range(num_simulations):
        random_month = np.random.randint(0, months)
        simulated_entrada = entrada[year, random_month]
        simulated_salida = salida[year, random_month]

        if simulated_salida > simulated_entrada:
            count_exceed += 1

    prob_exceed.append(count_exceed / num_simulations)

return prob_exceed

risks = monte_carlo_simulation(entrada, salida)
for year, risk in enumerate(risks, start=2002):
    print(f"Probabilidad de que la salida sea mayor que la entrada
para el año {year}: {risk:.2%}")

```

Nota. Elaboración propia

La ejecución del código permite establecer una probabilidad en términos porcentuales como se observa en la tabla 14, además si trazamos una visualización a futuro observamos que en algunos la probabilidad de que esto suceda es mayor al 50%.

Tabla 14

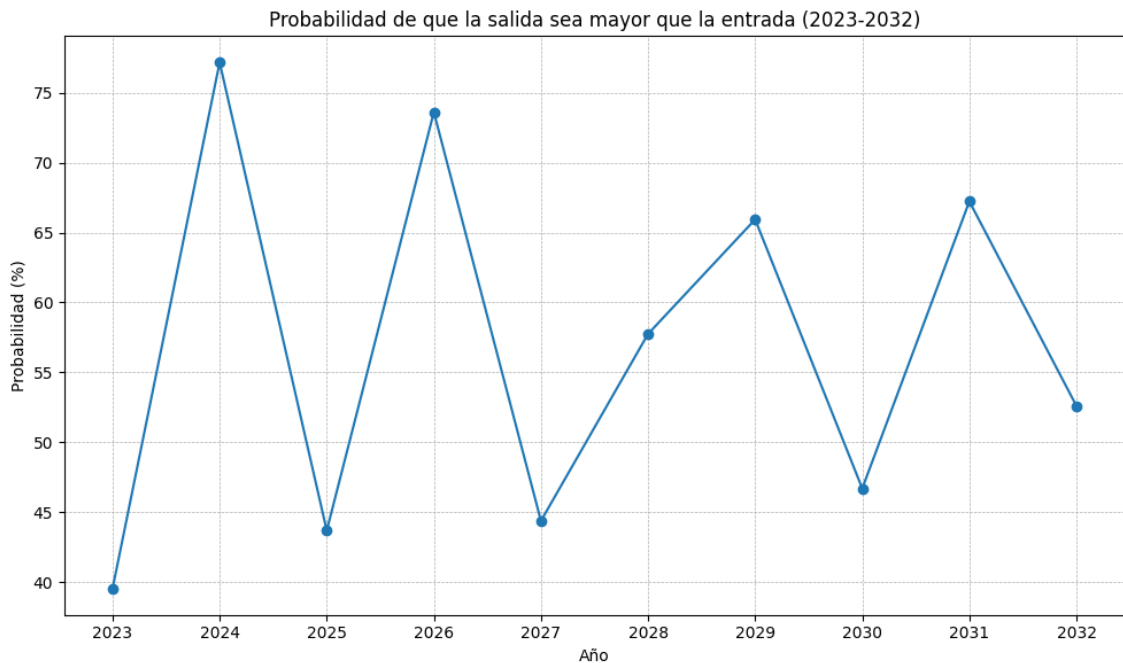
Probabilidad de que la salida sea mayor que la entrada para 10 años posteriores de la presa Cuchoquesera

Año (Anteriores)	Probabilidad	Año (Posteriores)	Probabilidad
2013	75.31%	2023	39.54%
2014	66.67%	2024	77.17%
2015	50.25%	2025	43.69%
2016	66.12%	2026	73.61%
2017	57.96%	2027	44.38%
2018	66.15%	2028	57.75%
2019	59.18%	2029	65.94%
2020	58.09%	2030	46.70%
2021	57.73%	2031	67.23%
2022	66.35%	2032	52.60%

Nota. Elaboración propia

Figura 33

Probabilidad de que la salida sea mayor que la entrada (2023-2032) de la presa Cuchoquesera



Nota. Elaboración propia

La figura 33 muestra una representación a futuro basado en los datos de caudales de entrada y salida que ya se tiene, además ayuda a detectar patrones o anomalías en los datos, lo que es esencial para tomar decisiones informadas o para identificar áreas de interés.

3.9.6.4. Planificación a largo plazo

Para la planificación a largo plazo de la presa Cuchoquesera, es esencial prever los posibles volúmenes de agua en los próximos años, es por ello que se utilizó el método de Monte Carlo, una técnica estadística que permite simular una variedad de escenarios basados en datos históricos, puesto que al tomar los volúmenes de entrada y salida de años anteriores como referencia, se realizaron múltiples simulaciones ($n = 1000$), para determinar las posibles variaciones en los próximos 10 años posteriores al 2022. Este enfoque proporciona una amplia gama de resultados probables y ayuda a identificar tendencias y posibles escenarios extremos, así como, qué medidas se pueden tomar sobre

la gestión de la presa, preparándose tanto para abundancias como para escaseces del recurso hídrico.

A continuación, se muestra el código que permitió la obtención de los parámetros de volumen de entrada y salida para 10 años posteriores al 2022 (Ver Anexo N°13).

Figura 34
Pronóstico del Volumen en 10 años posteriores

```
import numpy as np

def calcular_cambios_porcentuales(datos):
    return [(datos[i] - datos[i-1])/datos[i-1] for i in range(1,
len(datos))]

# Predicción con Monte Carlo
def prediccion_monte_carlo(datos, años=10, simulaciones=1000):
    cambios_pct = calcular_cambios_porcentuales(datos)

    pronosticos = []
    for _ in range(simulaciones):
        ultimo_valor = datos[-1]
        valores_simulados = [ultimo_valor]
        for _ in range(años):
            cambio = np.random.choice(cambios_pct)
            ultimo_valor = ultimo_valor + (ultimo_valor * cambio)
            valores_simulados.append(ultimo_valor)
        pronosticos.append(valores_simulados)

    return np.mean(pronosticos, axis=0)

# Datos
volumenes_entrada = [61.297, 19.988, 64.421, 33.261, 50.101, 42.160,
35.764, 83.181, 50.089, 50.715, 53.701, 35.400, 62.157, 73.993,
54.953, 85.581, 82.270, 81.968, 61.940, 79.803, 56.780]
volumenes_salida = [23.530, 38.530, 38.617, 53.600, 47.940, 43.843,
59.806, 60.073, 76.370, 50.165, 50.002, 65.081, 64.669, 70.869,
77.213, 77.081, 95.687, 89.954, 81.312, 77.124, 88.591]

# Pronóstico para los próximos 10 años
pronosticos_entrada = prediccion_monte_carlo(volumenes_entrada,
años=10)
pronosticos_salida = prediccion_monte_carlo(volumenes_salida,
años=10)

print("Volumenes pronosticados de entrada para los próximos 10 años:
", pronosticos_entrada[1:])
print("Volumenes pronosticados de salida para los próximos 10 años:
", pronosticos_salida[1:])
```

Nota. Elaboración propia

El código presente muestra los resultados de los volúmenes pronosticados de entrada y salida para los próximos 10 años utilizando el método de Monte Carlo, además hay que tener en cuenta que este método ofrece una dirección general basada en datos pasados y no toma en cuenta factores externos que podrían influir significativamente en los volúmenes futuros, pero se puede ajustar el parámetro simulaciones para obtener resultados más precisos; ya que aumentarlo dará estimaciones más sólidas pero también tomará más tiempo para calcular. A continuación, se presenta la tabla 14, que muestra los datos hallados a partir del código de pronóstico.

Tabla 15

Volumen pronosticado MMC (m³) de entrada y salida en 10 años posteriores de la presa Cuchoquesera

Año	Volumen (m³) entrada	Volumen (m³) salida
2022	63.86019793	96.19946898
2023	73.89672651	104.0815828
2024	87.28952092	112.9579405
2025	100.03807	122.4723942
2026	116.3533021	133.8911388
2027	129.8896999	145.8107866
2028	149.4035787	159.4453665
2029	175.406797	172.3671879
2030	201.1165688	188.0252146
2031	233.8055695	206.7245851

Nota. Elaboración propia

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.RESULTADOS CONFORME AL OBJETIVO ESPECÍFICO 1

El objetivo específico 1 planteado en la presente investigación es el siguiente: “Identificar y analizar las técnicas de optimización más adecuadas para gestionar el balance hídrico en la presa Cuchoquesera”.

La gestión del balance hídrico en la presa Cuchoquesera es una tarea que requiere herramientas analíticas avanzadas para su óptimo desempeño, puesto que, ante la necesidad de encontrar las técnicas más adecuadas, se abarcó tanto el análisis estadístico de caudales y volúmenes como la optimización del volumen de la presa.

Inicialmente, se realizó un análisis exhaustivo de los caudales y volúmenes MMC de entrada y salida, donde esta fase proporcionó un panorama claro sobre la dinámica hídrica histórica de la presa, que sirvió de base para las siguientes etapas. A continuación, se presenta una tabla que ilustra algunos de los resultados preliminares de este análisis:

Tabla 16
Caudal y Volumen MMC promedio

Parámetro	Entrada	Salida
Caudal promedio (m^3/s)	21.915	23.019
Volumen MMC total (m^3/s)	58.072	63.336

Nota. Elaboración propia

Posteriormente, utilizando técnicas de programación lineal, se desarrolló un código para maximizar el almacenamiento de agua. Mientras que, con la programación dinámica, se estructuró un balance mensual y anual del recurso hídrico, tomando en cuenta los volúmenes MMC (millones de metros cúbicos) de entrada y salida.

Además, también se halló la incertidumbre el cual es un factor crítico en cualquier proceso de planificación, para ello se analizaron las incertidumbres relacionadas con los caudales de entrada y salida y, en base a ello, se evaluó la confiabilidad del almacenamiento de la presa, estos resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 17

Confiabilidad del caudal y volumen MMC en los últimos 5 años de la presa Cuchoquesera

Parámetro	Año	Porcentaje (%)
Confiabilidad del caudal	2018	32.80%
	2019	41.90%
	2020	28.40%
	2021	54.90%
	2022	18.60%
Confiabilidad del Volumen MMC	2018	31.20%
	2019	38.60%
	2020	23.30%
	2021	53.40%
	2022	13.80%

Nota. Elaboración propia

Para encontrar los datos de la tabla 17, se realizó la simulación de Monte Carlo para calcular la confiabilidad anual de los caudales y volúmenes de agua, tanto de entrada como de salida, dentro de un sistema hídrico (Presa). Para ello se aplicó la siguiente fórmula general de confiabilidad:

$$C = \frac{\text{Número de veces que la entrada supera a la salida}}{\text{Número total de simulaciones}}$$

Este enfoque permitió evaluar la robustez del sistema hídrico frente a la variabilidad y la incertidumbre inherentes a los caudales y volúmenes de agua, proporcionando una medida cuantitativa de la confiabilidad del sistema en términos de su capacidad para manejar la demanda de agua frente a la oferta fluctuante. Además, la tabla 17, muestra los porcentajes de confiabilidad tanto del caudal como del volumen (en millones de metros cúbicos, MMC) para los últimos 5 años de la presa Cuchoquesera. Estos porcentajes de confiabilidad reflejan la probabilidad de que el total anual de caudal o volumen de entrada supere al total anual de salida, lo cual es un indicador crucial en la gestión de recursos hídricos, especialmente para estructuras como presas donde el equilibrio entre la entrada y salida de agua afecta directamente a la capacidad de

almacenamiento, el control de inundaciones, y la disponibilidad de agua para diversos usos.

- **Confiabilidad del caudal:** La confiabilidad del caudal muestra variabilidad a lo largo de los 5 años, con un mínimo del 18.60% en 2022 y un máximo del 54.90% en 2021. Este rango indica fluctuaciones significativas en la capacidad de la presa para recibir y almacenar caudales de entrada superiores a los caudales de salida, lo cual puede ser resultado de variaciones en las precipitaciones, cambios en el uso del agua aguas abajo, o mejoras en la gestión del recurso hídrico.
- **Confiabilidad del Volumen MMC:** Similar a la confiabilidad del caudal, la confiabilidad del volumen en MMC también fluctúa a lo largo de los años, desde un mínimo del 13.80% en 2022 hasta un máximo del 53.40% en 2021. Estas cifras sugieren que la capacidad de la presa para gestionar volúmenes de agua también está sujeta a variabilidad, reflejando posiblemente los mismos factores que afectan la confiabilidad del caudal.

La notable variabilidad en la confiabilidad tanto del caudal como del volumen de año en año subraya la importancia de tener sistemas de gestión flexibles y adaptativos que puedan responder a las cambiantes condiciones hidrológicas y de demanda. Otro punto a analizar es que los años 2019 y 2021 destacan por tener una mayor confiabilidad en comparación con otros años. Esto podría indicar años de mayores precipitaciones, mejoras en la eficiencia del almacenamiento de la presa, o reducciones en la demanda de agua aguas abajo.

La tendencia descendente hacia 2022 sugiere que puede ser necesario revisar las estrategias de gestión del agua para aumentar la resiliencia de la presa frente a la variabilidad hidrológica y asegurar un suministro de agua confiable y sostenible a largo plazo.

4.2.RESULTADOS CONFORME AL OBJETIVO ESPECÍFICO 2

El objetivo específico 2 planteado en la presente investigación es el siguiente: “Evaluar el impacto de la implementación de técnicas de optimización basadas en bases de datos hídricos en el balance hidrológico de la presa Cuchoquesera”.

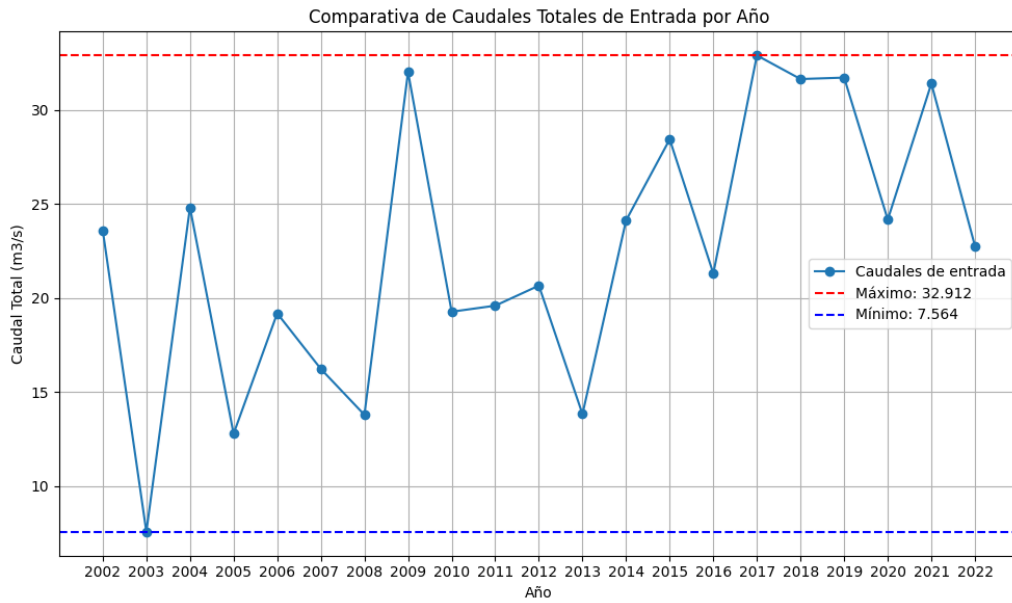
La gestión eficiente del recurso hídrico es crucial, sobre todo en infraestructuras críticas como la presa Cuchoquesera, donde la adecuada administración del agua impacta directamente en múltiples sectores. Basándonos en la información recopilada desde 2002 hasta 2022, se observó una dinámica particular en los caudales y volúmenes de entrada y salida, reflejando la complejidad de su manejo. Para abordar este desafío, se han aplicado técnicas avanzadas de optimización, utilizando tanto la programación lineal como la programación dinámica, con el objetivo principal de maximizar el almacenamiento de agua y asegurar un balance hídrico óptimo a nivel mensual y anual. Este enfoque metódico permite una gestión más precisa y adaptada del recurso, destacándose en el análisis los puntos clave que demuestran la efectividad de estas técnicas para optimizar la gestión del balance hídrico en la presa, lo que se evidencia a través de las tablas y resultados obtenidos en la investigación.

Además, se ha utilizado el método de Monte Carlo para evaluar la variabilidad y la incertidumbre en los flujos de agua, permitiendo una simulación detallada de escenarios futuros y la optimización del balance hídrico de manera más precisa, con el objetivo de maximizar el almacenamiento de agua y asegurar un equilibrio hídrico óptimo a nivel mensual y anual. La integración de estos métodos de optimización y simulación brinda una herramienta poderosa para una gestión hídrica adaptativa y basada en evidencia, resaltando la eficacia de tales técnicas para optimizar la gestión del recurso hídrico en la presa Cuchoquesera, como se demuestra en los análisis y resultados presentados.

Variabilidad en Caudales de entrada: La Tabla 6 refleja la variabilidad anual y mensual de los caudales de entrada, en los años como 2009, 2017 y 2021 muestran picos significativos en los primeros meses, mientras que otros años, como 2003 y 2013, presentan caudales más bajos.

Figura 35

Comparativa de Caudales Totales de Entrada por Año de la presa Cuchoquesera

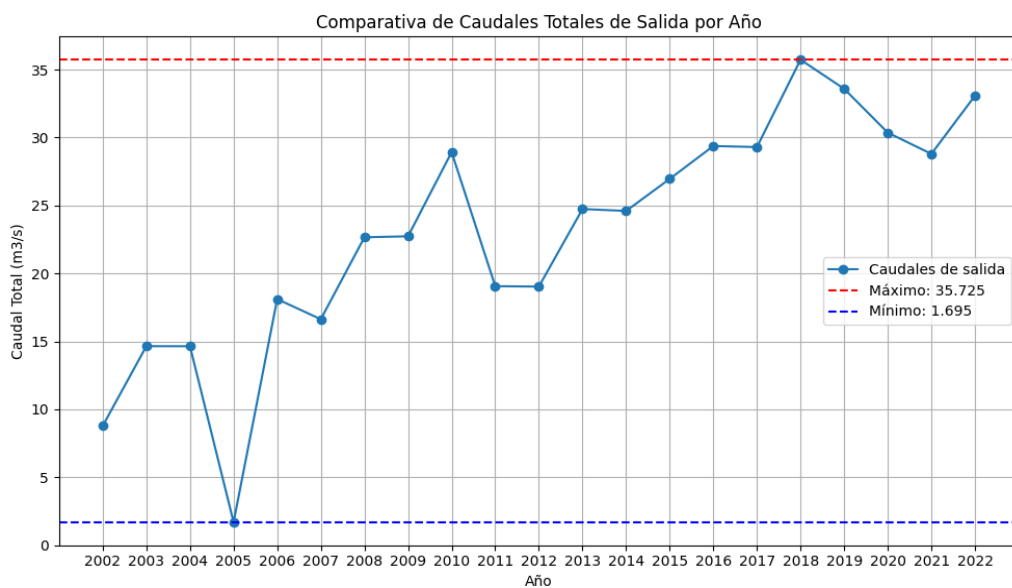


Nota. Elaboración propia

Variabilidad en Caudales de Salida: La tabla 8 refleja la variabilidad anual y mensual de los caudales de salida, donde el año 2018 presenta el máximo valor, mientras que el año 2005 presenta el mínimo valor.

Figura 36

Comparativa de Caudales Totales de Salida por Año de la presa Cuchoquesera

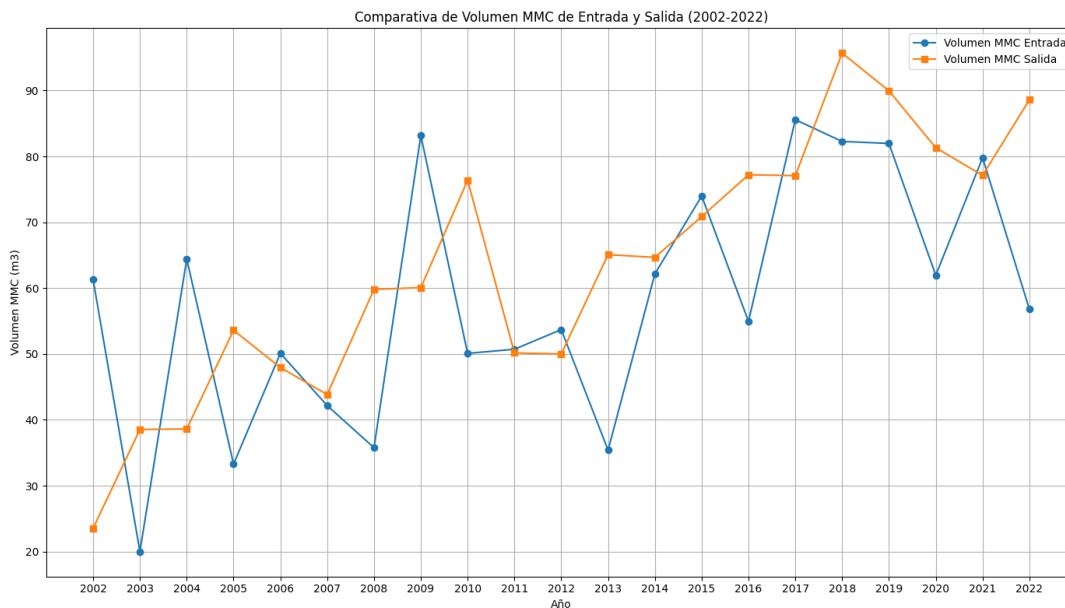


Nota. Elaboración propia

Volúmenes de Entrada vs. Salida: Las Tablas 7 y 9 permiten comparar directamente los volúmenes de entrada y salida, si bien hay meses en que los volúmenes de entrada superan significativamente a los de salida, en otros, la situación es inversa, lo que podría llevar a posibles déficits, estas observaciones se pueden apreciar en la figura 37.

Figura 37

Comparativa de Volumen MMC de Entrada y Salida (2002-2022) de la presa Cuchoquesera



Nota. Elaboración propia

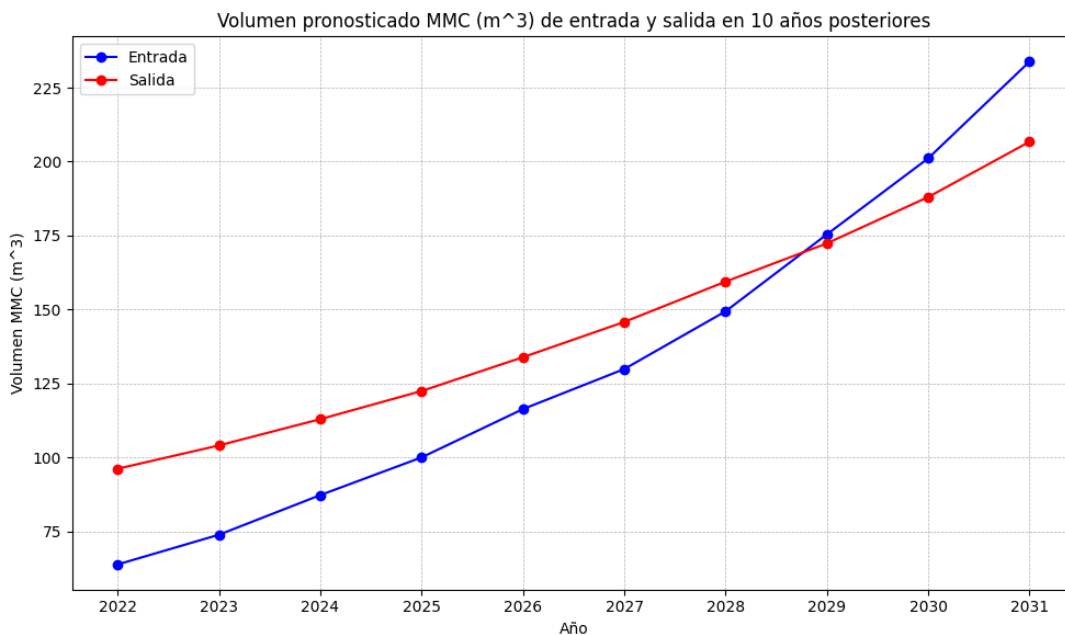
Proyecciones Futuras: El análisis de la Tabla 15, detalla el volumen pronosticado de entrada el cual es la cantidad de agua que fluye hacia la presa durante un período específico y volumen de salida el cual es el volumen de agua que se libera o se deja salir de la presa durante el mismo período expresado en (en millones de metros cúbicos, MMC) para los próximos 10 años de la presa Cuchoquesera, ofrece una perspectiva detallada sobre la gestión de sus recursos hídricos y la sostenibilidad de la presa. Al inicio, el volumen de embalse (Cantidad de agua que puede almacenar la presa en un momento dado) de la presa se establece en 80 MMC, un punto de partida crucial para entender cómo las fluctuaciones en el volumen de entrada y salida afectan su capacidad a lo largo del tiempo. A lo largo de la década, se observa un incremento sostenido tanto en el volumen de entrada como en el de salida. Este aumento progresivo

en el volumen de entrada, que comienza en 63.86 MMC en 2022 y asciende a 233.81 MMC en 2031, refleja una tendencia clara de crecimiento. Sin embargo, este aumento se ve acompañado por un crecimiento paralelo en el volumen de salida, que inicia en 96.2 MMC y alcanza los 206.72 MMC en el mismo periodo. Este patrón de aumento constante en ambos volúmenes sugiere varias implicancias para el volumen de embalse de la presa Cuchoquesera:

- **Capacidad de Almacenamiento:** A pesar del aumento en el volumen de entrada, el crecimiento paralelo y a veces superior del volumen de salida indica que la capacidad de almacenamiento de la presa podría verse presionada. Esencialmente, aunque se capta más agua año tras año, también se libera más agua para mantener el equilibrio y prevenir el desbordamiento o daño estructural.
- **Indicaciones de Cambio:** El incremento sostenido en el volumen de entrada podría indicar factores externos como cambios climáticos, variaciones en las precipitaciones, o incluso mejoras en la captación de agua. Esto refleja la dinámica de la cuenca hidrográfica y posiblemente una mayor disponibilidad de recursos hídricos.

Figura 38

Volumen pronosticado MMC (m³) de entrada y salida en 10 años posteriores de la presa Cuchoquesera



Nota. Elaboración propia

Optimización y Almacenamiento: Con la programación lineal y programación dinámica, se buscó maximizar el almacenamiento de agua a través de la optimización de las diferencias mensuales de volumen de agua, donde cada variable de decisión representaba la diferencia entre el volumen de entrada (precipitaciones) y el volumen de salida (uso o evaporación) para cada mes de cada año. La fórmula matemática utilizada para la función objetivo es la siguiente:

$$x_{i,j} \geq 0 \rightarrow \text{Variable de decisión}$$

Donde, $x_{i,j}$ representa la diferencia entre el volumen de entrada (precipitaciones) y el volumen de salida (consumo o evaporación) en el mes j del año i

$$\text{Maximizar } \sum_{i=2002}^{2021} \sum_{j=1}^{12} x_{i,j}$$

Esta representación matemática o función busca maximizar la suma total de las diferencias mensuales de volumen de agua a lo largo de todos los años y meses considerados, sujetando cada diferencia mensual a no exceder la diferencia real entre la entrada y la salida de agua para ese mes específico y año, según los datos proporcionados.

Los datos obtenidos al aplicar la función se reflejan en la tabla 10, la cual detalla las precipitaciones mensuales desde el año 2002 hasta el 2021, el enfoque de la programación lineal permitiría identificar cómo manejar de manera óptima el almacenamiento de agua en un sistema de embalse o presa, considerando estas entradas de agua. Por otro lado, la programación dinámica se utilizaría para analizar cómo estos flujos de entrada afectan el balance hídrico a lo largo del tiempo, adaptándose a los cambios y tomando decisiones secuenciales que optimicen algún criterio de rendimiento, como minimizar los déficits de agua o maximizar la seguridad hídrica.

La diferencia de estado hídrico observada en la Tabla 10, resultante de esta optimización, resalta cómo ciertos meses y años pueden contribuir al superávit de agua gracias a las precipitaciones, mientras que otros periodos enfrentan déficits. Este conocimiento es vital para la planificación y gestión hídrica, permitiendo a los responsables tomar decisiones informadas sobre cuándo almacenar, liberar o trasladar recursos hídricos para satisfacer las demandas y asegurar la sostenibilidad del sistema.

4.3.RESULTADOS CONFORME AL OBJETIVO ESPECÍFICO 3

El objetivo específico 3 planteado en la presente investigación es el siguiente: “Identificar y analizar los factores externos que afectan el balance hídrico de la presa Cuchoquesera”.

Durante la visita al campo de la presa Cuchoquesera, se llevó a cabo un estudio detallado para identificar factores externos que afectan su balance hídrico, esencialmente, se priorizó la medición de los caudales de entrada y salida, obteniendo datos críticos para comprender las influencias en el volumen de agua de la presa, y que posibles factores externos influyen en los niveles de caudal y volumen MMC (millones de metros cúbicos) de la presa Cuchoquesera.

Figura 39

Medición de los caudales de entrada perspectiva 1



Nota. Elaboración propia

Figura 40
Medición de los caudales de entrada perspectiva 2



Nota. Elaboración propia

Durante la visita de campo a la presa Cuchoquesera, se llevaron a cabo mediciones que revelaron diferencias notables en la entrada de caudal en comparación con años anteriores, estas variaciones pueden observarse detalladamente en las tablas 6 y 8. El análisis sugiere que las fluctuaciones en el caudal de entrada están estrechamente ligadas a las precipitaciones, puesto que en algunos años en las que se tuvo mayores lluvias han resultado en incrementos significativos del caudal, este fenómeno refleja la sensibilidad de la presa a los cambios climáticos y la importancia de monitorear constantemente estos factores para su adecuada gestión.

Figura 41

Medición de los caudales de salida perspectiva 1



Nota. Elaboración propia

Figura 42
Medición de los caudales de salida perspectiva 2



Nota. Elaboración propia

En la visita a la presa Cuchoquesera, también se procedió a realizar mediciones precisas para determinar la entrada y salida del volumen MMC (millones de metros cúbicos) al embalse, ya que estas mediciones son esenciales para comprender la dinámica del flujo de agua y su impacto en la gestión de la presa, los datos recopilados, que reflejan estas mediciones, están presentados en la tabla 7 y tabla 9 , además tras analizar la información, es evidente que diversos factores externos han influido en las variaciones del volumen, entre ellos, las precipitaciones anómalas y cambios ambientales en la zona circundante son factores determinantes que alteran la cantidad de agua que fluye hacia la presa.

Figura 43
Medición de los volúmenes de entrada



Nota. Elaboración propia

Figura 44
Medición de los volúmenes de salida



Nota. Elaboración propia

También durante la visita a la presa Cuchoquesera, se efectuó un análisis batimétrico detallado con el objetivo principal de identificar las áreas más profundas y aquellas zonas con mayor propensión a la sedimentación, este estudio permitió obtener una representación clara de la topografía subacuática de la presa y, por consiguiente, estimar con precisión el volumen de la presa, esto sirvió en gran medida, ya que al contrastar los resultados actuales con mediciones anteriores, se buscó determinar si ha habido un incremento en el volumen de agua almacenado, lo que dio una afirmación, ya que cada año hay un incremento del volumen, de esto se infiere que existe sedimentación de volumen muerto que crece cada año, aparte de las precipitaciones son otro factor externo que influye en estas mediciones.

Figura 45

Punto donde se comenzó la medición batimétrica



Nota. Elaboración propia

4.4. Discusión

La gestión adecuada del balance hídrico es fundamental para garantizar un suministro de agua sostenible, especialmente en infraestructuras críticas como la presa Cuchoquesera, siguiendo este desafío, la presente investigación se ha centrado en identificar y analizar las técnicas de optimización más apropiadas para gestionar dicho balance apoyándose en la literatura existente, como los estudios de Angeles et al. (2021) y Huilcapi (2021) los cuales hacen mención que para realizar un balance hídrico es necesario contar con la técnicas adecuadas que permitan realizarlo, es por ello que se ha validado la eficacia de técnicas tales como la programación lineal y la programación dinámica en maximizar la eficiencia del volumen MMC en la presa. Estas técnicas, pese a ser utilizadas en otros contextos, demuestran ser altamente aplicables y relevantes para el caso de la presa Cuchoquesera ya que nos permiten realizar una evaluación en proyección a futuro.

Además, es esencial subrayar el papel fundamental de las bases de datos hídricos en la gestión de presas, puesto que al coincidir con las observaciones de Mancilla et al. (2019) y Méndez et al. (2020) en que la precisión y actualización constante de estos datos es crucial. El enfoque predictivo realizado, que se adelanta hasta una década en el futuro, no solo refuerza este punto, sino que subraya la necesidad de anticipar variabilidades en la gestión del agua, dado que esta proyección a largo plazo es una contribución significativa que favorece una planificación y gestión más eficaz.

El análisis realizado en la investigación también se ha centrado en identificar y analizar factores externos que influyen en el balance hídrico, en particular las variabilidades climáticas. Siguiendo a Pardo (2023), se ha podido ilustrar cómo dichas variabilidades interactúan y afectan la efectividad de las técnicas de optimización implementadas, y mediante el análisis batimétrico detallado, las visitas de campo para medir caudales y el enfoque en áreas propensas a sedimentación, ofrecen una visión detallada y práctica de las condiciones actuales y futuras de la presa.

Finalmente, el aporte de esta investigación frente a otras realizadas por los autores ya mencionados, radica en que se realizó una evaluación de riesgos y una proyección de volúmenes para la próxima década utilizando el método de Monte Carlo, esta evaluación multidimensional permite una gestión sostenible y anticipada del recurso hídrico, posicionando a la presa Cuchoquesera favorablemente para enfrentar desafíos futuros y asegurar un suministro constante y sostenible de agua para las generaciones venideras. Esta discusión ampliada brinda una visión holística y bien fundamentada sobre la gestión del balance hídrico en la presa Cuchoquesera, sirviendo como una base sólida para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas en la gestión de recursos hídricos.

CONCLUSIONES

El empleo de técnicas de optimización ha desempeñado un papel crucial en la identificación de una tendencia positiva en la gestión hídrica de la presa, ya que, a lo largo de la década, se observó una significativa disminución en la probabilidad de que las salidas superen las entradas, pasando del 75.31% en 2013 al 39.54% en 2023. Esta considerable mejora no solo es indicativa de una refinada práctica de gestión a través de la programación lineal y dinámica, sino que también podría señalar cambios beneficiosos en las condiciones hidrológicas subyacentes.

La confiabilidad del caudal y volumen MMC ha mostrado una tendencia declinante durante el periodo estudiado. En 2018, la confiabilidad del caudal era del 32.80%, y para 2022, había disminuido al 18.60%, esta disminución es un indicativo de la necesidad de revisión y posibles intervenciones en la gestión de la presa.

La presa Cuchoquesera ha experimentado fluctuaciones notables en los caudales de entrada, con evidentes diferencias entre los caudales máximos y mínimos anuales, así como notorias desviaciones estándar. Dicha variabilidad resalta la necesidad de adoptar estrategias de manejo adaptativo, y en este contexto, se implementaron técnicas avanzadas de optimización, como la programación lineal, programación dinámica y simulaciones de Monte Carlo, para abordar de manera efectiva estos desafíos.

El enfoque multidimensional basado en técnicas de optimización y bases de datos hidráulicas ha favorecido una gestión hídrica más eficaz, en particular durante años de significativas variaciones en caudales, esta optimización es esencial para asegurar la disponibilidad de agua, especialmente durante períodos críticos de sequía o alta demanda

La programación lineal y la programación dinámica se han mostrado como técnicas relevantes y aplicables para optimizar el balance hídrico de la presa Cuchoquesera, maximizando la eficiencia del volumen MMC.

RECOMENDACIONES

La tabla 15 de probabilidad muestra que hay años futuros en los que la probabilidad de que la salida sea mayor que la entrada supera el 50%, es por ello que se recomienda desarrollar un plan estratégico para esos años, considerando la importancia de mantener un equilibrio hídrico para evitar un déficit de agua en la presa.

Se recomienda aprovechar las técnicas de modelado y predicción avanzada, como Machine Learning o modelos hidrológicos, para obtener predicciones más precisas de caudales y volúmenes futuros, ya que estas técnicas podrían ayudar en la toma de decisiones y en la implementación de técnicas de optimización.

Se recomienda establecer un sistema de monitoreo continuo en la presa para detectar rápidamente cualquier desequilibrio entre los caudales de entrada y salida, puesto que esto permitiría una respuesta rápida a situaciones imprevistas.

En años con un volumen de entrada bajo, se recomienda contar con estrategias de conservación de agua, los cuales deberían permitir la implementación de tecnologías de ahorro de agua, la sensibilización y educación de las comunidades locales sobre la importancia del uso eficiente del agua, y la consideración de alternativas de abastecimiento, como la reutilización o el almacenamiento de agua durante años húmedos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Angeles, S., Bueno, M., y Diaz, C. (2021). Modelo de sistema automatizado mediante control de programación lineal para mejorar el abastecimiento de agua potable en la urbanización de las casuarinas, Carabaylo 2021. *Unac.edu.pe*. <http://hdl.handle.net/20.500.12952/6839>
- Arias, F. (2006). El proyecto de Investigación. Introducción a la metodología científica. Caracas, Editorial Episteme.
- Asto, H., & Stefy Jesus, J. (2019). Análisis hidrológico y estimación del balance hídrico para la presa de relaves Pataz - la libertad - 2019. Lima, Perú.
- Banco Mundial. (2016, 30 de Agosto). Gestión de los recursos hídricos: Resultados del sector. World Bank; Banco Mundial. <https://www.bancomundial.org/es/results/2013/04/15/water-resources-management-results-profile>
- Bernal, C. (2006). Metodología de la Investigación. México, D.F., Pearson educación.
- Campos, Galán y García. (2011). Análisis de confiabilidad de sistemas de generación aplicado al sistema eléctrico de el Salvador. Tesis publicada por la Universidad Centro Americana “José Simeón Cañas”.
- Campos-Aranda, D. F., (2016). Una aplicación hidrológica de la regresión lineal múltiple ponderada. *Tecnología y Ciencias del Agua*, VII(4), 161-173.
- Chavarro Díaz, J. (Abril de 2017). Modelamiento estocástico de variabilidad hidrológica a escalas de alta resolución temporal.
- Chen Xuekai, Liu, X., Li, B., Wang, Q., Dong, F., Peng, W., Wang, W.-H., Huang, A., y Lian Qiuyue. (2021). *Study on Water Balance and Variations in Water Level of Daihai Lake*. <https://doi.org/10.1109/ichceswidr54323.2021.9656256>
- Faulin, J. (2008). Simulación Montecarlo con Excel. enero 20, 2018. Recuperado de: https://www.academia.edu/29950956/SIMULACION_DE_MONTE_CARLO_CON_EXCEL_ESQUEMA_DE_CONTENIDOS_INTRODUCCION

- Fiebrich, C. M. (2010). Quality assurance procedures for mesoscale. 27(10), 1565-1581. doi:10.1175/2010JTECHA1433.1
- García Beltrán, AN. (2008). Metodología para la generación y evaluación de políticas de operación en sistemas de recursos hídricos. Aplicación a un sistema de México [Tesis doctoral no publicada]. Universitat Politècnica de València. <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/1970>
- García Marín, A., Roldán Cañas, J., & Estévez, J. (2018). La Hidrología y su papel en Ingeniería del Agua. Ingeniería del agua, 18(1), 1–14. doi:10.4995/ia.2014.3048
- Gomez, C. (2015). Hidrografía Marina y continental. Revista Geográfica digital(23).
- Hillier, F. y Lieberman, G. (2002). *Investigación de Operaciones (7ma ed.)*. México: McGraw-Hill/Interamericana editores, S. A. de C. V.
- Huilcapi, V. (2021). *Desarrollo de una metodología para la selección de lazos de control en sistemas multivariables mediante técnicas de optimización multiobjetivo*. <https://doi.org/10.4995/thesis/10251/165014>
- Lafragua-Contreras, J., González-Rojas, D., y Solís Alvarado, Y. (2006). Cantidad y calidad de la información climatológica e hidrométrica para el cálculo de la disponibilidad de agua superficial. Tema: Hidrología, Ponencia 7. XIX Congreso Nacional de Hidráulica, del 8 al 10 de noviembre, Cuernavaca, Morelos, México.
- Maldonado Mendívil, Á. (2021). Análisis de la precipitación y los índices de teleconexión ENOS para la evaluación hidrológica de la presa Rontoccocha, Abancay – 2021. Lima, Perú. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/68007>
- Mancilla Llaca, J., y Montenegro Ruiz, L. (2021). Balance hídrico del río Huamboya y su relación con una Presa, distrito de Camporredondo. Amazonas, Perú. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/87104>
- Martínez Valdés, Y., y Villalejo García, V. (2018). La gestión integrada de los recursos hídricos: una necesidad de estos tiempos. Ingeniería Hidráulica y Ambiental, 39(1).

- Méndez Alvarado, M., Acosta Velázquez, J., y Cortés Becerra, J. (2019). Conservación y Restauración de la Cuenca del Río Presidio; Delimitación de áreas Prioritarias. FINGUACH. Revista De Investigación Científica De La Facultad De Ingeniería De La Universidad Autónoma De Chihuahua, 6(21), 14-16. Obtenido de <https://vocero.uach.mx/index.php/finguach/article/view/418>
- Morice, M. (2010). Desarrollo de un Modelo de Programación Dinámica para el Diseño y Operación del Embalse Guaiquivilo. *Uchile.cl*. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/103682>
- Ollero Ojeda, A. (2007). Crecidas, inundaciones y resiliencia: Restauración fluvial contra los falsos mitos. Orcid. Obtenido de <https://orcid.org/0000-0002-9745-5866>
- OPEMAN. (Abril de 2023). Situación Actual de la Presa Cuchoquesera. Obtenido de Gob.pe: <https://www.gob.pe/institucion/sedaayacucho/noticias/741352-situacion-actual-de-la-presa-cuchoquesera>
- Pardo Loaiza, J. (2023). Mejora de la gestión del recurso hídrico mediante la incorporación de indicadores de regímenes ecológicos en el análisis de sistemas de recursos hídricos. doi:10.4995/Thesis/10251/192461
- Poliopetro, F., y Martínez, A. (2013). Los retos de la seguridad hídrica. Tecnología y ciencias del agua, 4(5). Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S200724222013000500011&script=sci_arttext
- Redondo Fajardo, J. F. (2006). *Librería de Programación Dinámica* [Tesis de pregrado, Universidad de los Andes]. Universidad de los Andes. <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/67cdce6b-17de-4e39-888d-44d4f94ff961/content>
- Riera, R., y Espinoza, M. (2013). Evaluación de confiabilidad en las unidades generadoras de CELEC EP - Hidropaute (Mazar & Molino) utilizando el método de simulación de Montecarlo. *Ups.edu.ec*. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/5148>

Rivera Rondón, C., y Díaz Quirós, C. (2004). Grandes taxones de fitobentos y su relación con la hidrología, física y química de pequeños ríos. *Universitas Scientiarum*, 9, 75-86. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/499/49909407.pdf>

Rodríguez Aragón, L. J. (2011). *Simulación, Método de Montecarlo*. Obtenido de https://previa.uclm.es/profesorado/licesio/docencia/mcoi/tema4_guion.pdf.

Serra de la F., D. (2004). *Métodos Cuantitativos para la Toma de Decisiones*. España; Gestión 2000. España

ANEXOS

ANEXO 1: Matriz de Consistencia de la tesis

MEJORA DEL BALANCE HÍDRICO MEDIANTE LA IMPLEMENTACION DE TECNICAS DE OPTIMIZACION FUNDAMENTADAS EN BASES DE DATOS HIDRAULICAS EN LA PRESA CUCHOQUESERA PROVINCIA DE CANGALLO, DEPARTAMENTO DE AYACUCHO, 2023				
Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodologías
General	General	General	Variable Dependiente	
¿Cómo influyen las bases de datos hidráulicas en la gestión del agua para mejorar el balance hídrico mediante la implementación de técnicas de optimización en la presa Cuchoquesera, provincia de Cangallo, departamento de Ayacucho?	Determinar cómo la implementación de técnicas de optimización, fundamentadas en bases de datos hidráulicas, contribuye a la mejora del balance hídrico en la presa Cuchoquesera, provincia de Cangallo, departamento de Ayacucho.	La implementación de técnicas de optimización, basadas en análisis de bases de datos hidráulicas, resulta en una mejora significativa del balance hídrico en la presa Cuchoquesera, ubicada en la provincia de Cangallo, departamento de Ayacucho.	Mejora del Balance hídrico	<p>En esta investigación, se utilizará un enfoque cuantitativo.</p> <p>El alcance de la investigación es explicativo.</p> <p>El diseño de investigación de la presente tesis es Explicativa - No experimental</p> <p>La población en este proyecto de investigación abarca la totalidad de la Presa Cuchoquesera, junto con su entorno, lo que incluye los recursos hídricos presentes, organizaciones o entidades involucradas o afectadas por la gestión del agua en la Presa Cuchoquesera.</p> <p>La muestra en este proyecto de investigación es la selección de datos hídricos.</p>
Específicos	Específicos	Específicos	Variable Independiente	
¿Qué técnicas de optimización resultan ser más eficaces para el manejo eficiente del balance hídrico en la presa Cuchoquesera?	Identificar las técnicas de optimización más eficaces para el manejo eficiente del balance hídrico en la presa Cuchoquesera.	El uso de técnicas de optimización adecuadas permitirá mejorar el balance hídrico en la presa Cuchoquesera.	Técnicas de optimización fundamentadas en bases de datos hidráulicas	
¿Cómo afecta la aplicación de técnicas de optimización, fundamentadas en análisis de bases de datos hidráulicas, al mejoramiento del balance hídrico de la presa Cuchoquesera?	Evaluar el impacto de la implementación de técnicas de optimización, basadas en análisis de bases de datos hidráulicas, en el mejoramiento del balance hídrico de la presa Cuchoquesera.	La implementación de técnicas de optimización basadas en bases de datos hidráulicas brindará un impacto positivo en el balance hídrico de la presa Cuchoquesera.	Variable Dependiente Dimensiones: Bases de datos hidráulicas. Parámetros hidrológicos. Métodos de optimización.	
¿Qué factores externos e internos influyen en el balance hídrico de la presa Cuchoquesera?	Determinar los principales factores externos e internos que afectan el balance hídrico de la presa Cuchoquesera	El análisis y la identificación de los factores externos brindarán una mejora en el efecto significativo del balance hídrico de la presa Cuchoquesera.	Variable Independiente Dimensiones: Eficiencia en el uso del agua. Calidad del agua. Gestión del agua	

ANEXO 2: Aliviadero de la Presa Cuchoquesera





ANEXO 3: Medición de Batimetría





ANEXO 4: Medición de los caudales









ANEXO 5: Vista frontal del canal hacia la presa Cuchoquesera



ANEXO 6: Salida del canal



ANEXO 7: Estación Meteorológica



ANEXO 8: Programa para maximizar el almacenamiento de Agua

```

+ Código + Texto
Conectar Colab AI
prob = pulp.LpProblem("MaximizarAlmacenamientoDeAgua", pulp.LpMaximize)
meses = list(range(1, 13))
anios = list(range(2002, 2023))
x = pulp.LpVariable.dicts("Diferencia", [(i, j) for i in anios for j in meses], 0)
prob += pulp.LpSum([x[i, j] for i in anios for j in meses])

entrada = {
2002: [7.308, 15.888, 19.838, 1.075, 3.076, 1.583, 1.017, 2.181, 2.157, 1.331, 1.912, 3.931],
2003: [1.996, 0.830, 1.203, 1.861, 1.896, 1.639, 1.773, 1.856, 1.614, 2.315, 0.393, 2.612],
2004: [6.166, 14.891, 14.047, 9.505, 3.499, 1.503, 1.663, 1.403, 1.619, 2.236, 1.816, 6.073],
2005: [6.284, 7.307, 4.857, 1.994, 1.794, 1.523, 1.199, 0.692, 1.353, 1.776, 0.896, 4.386],
2006: [0.013, 8.392, 11.345, 7.243, 2.522, 1.618, 1.193, 1.428, 1.440, 1.369, 1.578, 1.960],
2007: [5.471, 9.635, 9.144, 7.358, 3.953, 0.507, 0.402, 0.235, 0.868, 0.061, 0.000, 4.526],
2008: [5.751, 8.868, 6.460, 2.998, 1.809, 1.777, 1.426, 1.235, 0.893, 1.025, 0.775, 2.747],
2009: [14.414, 15.566, 18.295, 11.531, 4.504, 1.039, 1.253, 1.030, 0.775, 1.320, 3.875, 9.579],
2010: [16.753, 10.244, 4.390, 1.871, 3.841, 1.807, 0.846, 0.817, 1.040, 1.249, 0.871, 6.360],
2011: [14.249, 14.265, 11.158, 0.391, 2.261, 0.525, 0.586, 0.834, 0.472, 0.902, 0.822, 4.250],
2012: [10.090, 10.608, 14.184, 1.358, 1.772, 1.339, 1.055, 0.710, 1.077, 1.650, 2.446, 8.020],
2013: [12.027, 14.085, 0.664, 0.876, 3.048, 2.275, 1.454, 0.270, 0.271, 0.107, 0.209, 0.114],
2014: [2.845, 15.299, 21.028, 9.625, 4.027, 1.716, 1.599, 0.925, 0.417, 2.512, 0.148, 2.016],
2015: [5.619, 13.960, 20.006, 9.021, 12.668, 1.414, 0.475, 0.156, 0.000, 0.530, 2.142, 0.002],
2016: [7.803, 15.046, 12.937, 11.517, 3.480, 1.707, 0.775, 0.276, 0.236, 0.125, 1.689],
2017: [18.000, 19.210, 26.478, 6.694, 4.569, 2.573, 1.743, 0.175, 0.306, 0.797, 2.121, 2.827],
2018: [10.547, 17.275, 17.850, 3.211, 2.253, 1.616, 1.206, 4.203, 2.507, 5.524, 4.010, 2.079],
2019: [13.190, 21.233, 18.222, 4.091, 5.338, 2.508, 1.468, 0.194, 0.401, 0.000, 5.423, 0.892],
2020: [13.247, 22.675, 7.163, 2.957, 4.965, 1.786, 0.294, 0.080, 0.030, 0.198, 0.326, 8.218],
2021: [21.168, 14.388, 21.238, 1.337, 4.688, 3.197, 1.807, 0.647, 0.660, 1.661, 1.949, 7.063],
2022: [16.525, 21.196, 9.425, 1.783, 3.361, 2.054, 0.808, 0.625, 0.196, 0.281, 0.142, 0.384]
}

```

```

+ Código + Texto
Conectar Colab AI
2021: [21.168, 14.388, 21.238, 1.337, 4.688, 3.197, 1.807, 0.647, 0.660, 1.661, 1.949, 7.063],
2022: [16.525, 21.196, 9.425, 1.783, 3.361, 2.054, 0.808, 0.625, 0.196, 0.281, 0.142, 0.384]
}

salida = {
2002: [1.828, 0.163, 0.190, 0.194, 2.039, 2.686, 2.450, 2.787, 2.950, 3.209, 3.138, 1.896],
2003: [2.369, 2.404, 3.130, 2.985, 2.391, 2.169, 2.879, 2.948, 3.556, 5.171, 5.184, 3.344],
2004: [2.346, 1.087, 1.287, 1.704, 3.240, 3.576, 3.431, 4.992, 4.033, 5.009, 4.536, 2.696],
2005: [0.447, 1.650, 2.066, 2.631, 5.350, 6.191, 6.126, 6.359, 5.016, 6.575, 7.029, 4.160],
2006: [1.169, 0.502, 0.443, 0.591, 4.706, 6.345, 6.722, 6.636, 6.705, 6.964, 3.249, 3.908],
2007: [0.731, 1.311, 0.417, 1.361, 2.004, 1.456, 3.646, 8.333, 7.404, 7.003, 6.407, 3.680],
2008: [0.945, 0.394, 0.383, 3.290, 6.696, 6.700, 7.828, 8.035, 8.113, 5.707, 7.158, 4.549],
2009: [1.426, 0.233, 2.121, 1.115, 6.312, 7.059, 7.893, 8.534, 9.055, 8.204, 6.363, 1.660],
2010: [0.156, 0.190, 3.283, 0.338, 6.587, 7.132, 8.217, 7.752, 7.293, 0.934, 0.823, 8.664],
2011: [0.212, 0.000, 0.189, 0.825, 3.372, 6.119, 6.614, 7.698, 6.791, 8.351, 6.229, 3.845],
2012: [1.430, 0.276, 0.843, 0.808, 1.901, 6.385, 6.275, 9.975, 7.638, 6.765, 6.977, 1.529],
2013: [0.497, 0.252, 0.004, 1.872, 7.888, 7.000, 7.580, 9.750, 9.888, 9.746, 8.113, 2.411],
2014: [0.562, 0.000, 0.000, 1.763, 5.158, 0.904, 9.105, 9.793, 7.983, 6.951, 8.603, 5.767],
2015: [0.410, 0.302, 0.000, 1.080, 5.136, 8.376, 9.285, 9.763, 11.988, 10.891, 8.139, 5.499],
2016: [2.735, 1.084, 1.067, 2.009, 6.171, 7.854, 8.528, 9.690, 10.584, 10.031, 11.383, 6.077],
2017: [1.684, 0.354, 0.000, 1.032, 2.831, 6.283, 9.161, 12.020, 11.773, 10.800, 12.373, 8.770],
2018: [2.094, 1.284, 0.000, 2.063, 5.700, 10.717, 11.066, 10.012, 13.181, 12.990, 14.940, 11.641],
2019: [3.772, 0.430, 0.000, 2.103, 5.857, 9.749, 11.830, 12.658, 12.378, 12.187, 13.526, 5.467],
2020: [2.004, 0.413, 1.236, 2.736, 6.092, 9.910, 10.484, 11.670, 11.718, 11.556, 10.260, 3.234],
2021: [1.089, 1.454, 0.947, 0.736, 5.285, 8.366, 10.149, 10.952, 12.187, 11.685, 10.894, 3.460],
2022: [2.845, 0.017, 0.107, 1.759, 5.926, 8.801, 10.522, 11.619, 12.622, 12.291, 12.890, 9.193],
}

```

```

+ Código + Texto
Conectar Colab AI
for i in anios:
    for j in meses:
        prob += x[i, j] <= entrada[i][j-1] - salida[i][j-1]
prob.solve()
print("Status:", pulp.LpStatus[prob.status])
for i in anios:
    for j in meses:
        print(f"Diferencia para el año {i} mes {j}: {x[i, j].varValue}")
print("Total maximizado de agua almacenada:", pulp.value(prob.objective))

Status: Infeasible
Diferencia para el año 2002 mes 1: 5.48
Diferencia para el año 2002 mes 2: 15.725
Diferencia para el año 2002 mes 3: 19.648
Diferencia para el año 2002 mes 4: 0.881
Diferencia para el año 2002 mes 5: 1.037
Diferencia para el año 2002 mes 6: 0.0
Diferencia para el año 2002 mes 7: 0.0
Diferencia para el año 2002 mes 8: 0.0
Diferencia para el año 2002 mes 9: 0.0
Diferencia para el año 2002 mes 10: 0.0
Diferencia para el año 2002 mes 11: 0.0
Diferencia para el año 2002 mes 12: 2.035
Diferencia para el año 2003 mes 1: 0.0
Diferencia para el año 2003 mes 2: 0.0

```

```
+ Código + Texto
Diferencia para el año 2004 mes 11: 0.0
Diferencia para el año 2004 mes 12: 3.377
Diferencia para el año 2005 mes 1: 5.937
Diferencia para el año 2005 mes 2: 5.657
Diferencia para el año 2005 mes 3: 1.991
Diferencia para el año 2005 mes 4: 0.0
Diferencia para el año 2005 mes 5: 0.0
Diferencia para el año 2005 mes 6: 0.0
Diferencia para el año 2005 mes 7: 0.0
Diferencia para el año 2005 mes 8: 0.0
Diferencia para el año 2005 mes 9: 0.0
Diferencia para el año 2005 mes 10: 0.0
Diferencia para el año 2005 mes 11: 0.0
Diferencia para el año 2005 mes 12: 0.226
Diferencia para el año 2006 mes 1: 8.844
Diferencia para el año 2006 mes 2: 7.89
Diferencia para el año 2006 mes 3: 10.992
Diferencia para el año 2006 mes 4: 6.652
Diferencia para el año 2006 mes 5: 0.0
Diferencia para el año 2006 mes 6: 0.0
Diferencia para el año 2006 mes 7: 0.0
Diferencia para el año 2006 mes 8: 0.0
Diferencia para el año 2006 mes 9: 0.0
Diferencia para el año 2006 mes 10: 0.0
Diferencia para el año 2006 mes 11: 0.0
Diferencia para el año 2006 mes 12: 0.0
Diferencia para el año 2007 mes 1: 4.74
Diferencia para el año 2007 mes 2: 8.324
Diferencia para el año 2007 mes 3: 8.727
```

```
+ Código + Texto
Diferencia para el año 2007 mes 9: 0.0
Diferencia para el año 2007 mes 10: 0.0
Diferencia para el año 2007 mes 11: 0.0
Diferencia para el año 2007 mes 12: 0.846
Diferencia para el año 2008 mes 1: 4.806
Diferencia para el año 2008 mes 2: 8.474
Diferencia para el año 2008 mes 3: 6.977
Diferencia para el año 2008 mes 4: 0.0
Diferencia para el año 2008 mes 5: 0.0
Diferencia para el año 2008 mes 6: 0.0
Diferencia para el año 2008 mes 7: 0.0
Diferencia para el año 2008 mes 8: 0.0
Diferencia para el año 2008 mes 9: 0.0
Diferencia para el año 2008 mes 10: 0.0
Diferencia para el año 2008 mes 11: 0.0
Diferencia para el año 2008 mes 12: 0.0
Diferencia para el año 2009 mes 1: 12.988
Diferencia para el año 2009 mes 2: 15.333
Diferencia para el año 2009 mes 3: 16.174
Diferencia para el año 2009 mes 4: 10.416
Diferencia para el año 2009 mes 5: 0.0
Diferencia para el año 2009 mes 6: 0.0
Diferencia para el año 2009 mes 7: 0.0
Diferencia para el año 2009 mes 8: 0.0
Diferencia para el año 2009 mes 9: 0.0
Diferencia para el año 2009 mes 10: 0.0
Diferencia para el año 2009 mes 11: 0.0
Diferencia para el año 2009 mes 12: 7.911
Diferencia para el año 2010 mes 1: 16.597
Diferencia para el año 2010 mes 2: 10.054
```

```
+ Código + Texto
Diferencia para el año 2010 mes 2: 10.054
Diferencia para el año 2010 mes 3: 1.107
Diferencia para el año 2010 mes 4: 0.0
Diferencia para el año 2010 mes 5: 0.0
Diferencia para el año 2010 mes 6: 0.0
Diferencia para el año 2010 mes 7: 0.0
Diferencia para el año 2010 mes 8: 0.0
Diferencia para el año 2010 mes 9: 0.0
Diferencia para el año 2010 mes 10: 0.0
Diferencia para el año 2010 mes 11: 0.0
Diferencia para el año 2010 mes 12: 0.0
Diferencia para el año 2011 mes 1: 14.037
Diferencia para el año 2011 mes 2: 14.265
Diferencia para el año 2011 mes 3: 11.049
Diferencia para el año 2011 mes 4: 0.0
Diferencia para el año 2011 mes 5: 0.0
Diferencia para el año 2011 mes 6: 0.0
Diferencia para el año 2011 mes 7: 0.0
Diferencia para el año 2011 mes 8: 0.0
Diferencia para el año 2011 mes 9: 0.0
Diferencia para el año 2011 mes 10: 0.0
Diferencia para el año 2011 mes 11: 0.0
Diferencia para el año 2011 mes 12: 0.405
Diferencia para el año 2012 mes 1: 8.66
Diferencia para el año 2012 mes 2: 10.332
Diferencia para el año 2012 mes 3: 14.141
Diferencia para el año 2012 mes 4: 0.542
Diferencia para el año 2012 mes 5: 0.0
Diferencia para el año 2012 mes 6: 0.0
```

```
+ Código + Texto
Diferencia para el año 2013 mes 6: 0.0
Diferencia para el año 2013 mes 7: 0.0
Diferencia para el año 2013 mes 8: 0.0
Diferencia para el año 2013 mes 9: 0.0
Diferencia para el año 2013 mes 10: 0.0
Diferencia para el año 2013 mes 11: 0.0
Diferencia para el año 2013 mes 12: 0.0
Diferencia para el año 2014 mes 1: 2.283
Diferencia para el año 2014 mes 2: 15.299
Diferencia para el año 2014 mes 3: 21.028
Diferencia para el año 2014 mes 4: 7.862
Diferencia para el año 2014 mes 5: 0.0
Diferencia para el año 2014 mes 6: 0.0
Diferencia para el año 2014 mes 7: 0.0
Diferencia para el año 2014 mes 8: 0.0
Diferencia para el año 2014 mes 9: 0.0
Diferencia para el año 2014 mes 10: 0.0
Diferencia para el año 2014 mes 11: 0.0
Diferencia para el año 2014 mes 12: 0.0
Diferencia para el año 2015 mes 1: 5.209
Diferencia para el año 2015 mes 2: 13.658
Diferencia para el año 2015 mes 3: 20.000
Diferencia para el año 2015 mes 4: 7.941
Diferencia para el año 2015 mes 5: 7.532
Diferencia para el año 2015 mes 6: 0.0
Diferencia para el año 2015 mes 7: 0.0
Diferencia para el año 2015 mes 8: 0.0
Diferencia para el año 2015 mes 9: 0.0
Diferencia para el año 2015 mes 10: 0.0
Diferencia para el año 2015 mes 11: 0.0
```

```
+ Código + Texto
Diferencia para el año 2016 mes 5: 0.0
Diferencia para el año 2016 mes 6: 0.0
Diferencia para el año 2016 mes 7: 0.0
Diferencia para el año 2016 mes 8: 0.0
Diferencia para el año 2016 mes 9: 0.0
Diferencia para el año 2016 mes 10: 0.0
Diferencia para el año 2016 mes 11: 0.0
Diferencia para el año 2016 mes 12: 0.0
Diferencia para el año 2017 mes 1: 16.484
Diferencia para el año 2017 mes 2: 18.856
Diferencia para el año 2017 mes 3: 26.478
Diferencia para el año 2017 mes 4: 5.662
Diferencia para el año 2017 mes 5: 1.738
Diferencia para el año 2017 mes 6: 0.0
Diferencia para el año 2017 mes 7: 0.0
Diferencia para el año 2017 mes 8: 0.0
Diferencia para el año 2017 mes 9: 0.0
Diferencia para el año 2017 mes 10: 0.0
Diferencia para el año 2017 mes 11: 0.0
Diferencia para el año 2017 mes 12: 0.0
Diferencia para el año 2018 mes 1: 17.453
Diferencia para el año 2018 mes 2: 15.991
Diferencia para el año 2018 mes 3: 17.85
Diferencia para el año 2018 mes 4: 1.148
Diferencia para el año 2018 mes 5: 0.0
Diferencia para el año 2018 mes 6: 0.0
Diferencia para el año 2018 mes 7: 0.0
Diferencia para el año 2018 mes 8: 0.0
Diferencia para el año 2018 mes 9: 0.0
```

```
+ Código + Texto
Diferencia para el año 2019 mes 5: 18.222
Diferencia para el año 2019 mes 4: 1.988
Diferencia para el año 2019 mes 5: 0.0
Diferencia para el año 2019 mes 6: 0.0
Diferencia para el año 2019 mes 7: 0.0
Diferencia para el año 2019 mes 8: 0.0
Diferencia para el año 2019 mes 9: 0.0
Diferencia para el año 2019 mes 10: 0.0
Diferencia para el año 2019 mes 11: 0.0
Diferencia para el año 2019 mes 12: 4.425
Diferencia para el año 2020 mes 1: 11.243
Diferencia para el año 2020 mes 2: 22.262
Diferencia para el año 2020 mes 3: 5.927
Diferencia para el año 2020 mes 4: 0.221
Diferencia para el año 2020 mes 5: 0.0
Diferencia para el año 2020 mes 6: 0.0
Diferencia para el año 2020 mes 7: 0.0
Diferencia para el año 2020 mes 8: 0.0
Diferencia para el año 2020 mes 9: 0.0
Diferencia para el año 2020 mes 10: 0.0
Diferencia para el año 2020 mes 11: 0.0
Diferencia para el año 2020 mes 12: 4.976
Diferencia para el año 2021 mes 1: 20.079
Diferencia para el año 2021 mes 2: 12.934
Diferencia para el año 2021 mes 3: 20.291
Diferencia para el año 2021 mes 4: 0.601
Diferencia para el año 2021 mes 5: 0.0
Diferencia para el año 2021 mes 6: 0.0
Diferencia para el año 2021 mes 7: 0.0
Diferencia para el año 2021 mes 8: 0.0
```

```
+ Código + Texto
Diferencia para el año 2020 mes 12: 4.976
Diferencia para el año 2021 mes 1: 20.079
Diferencia para el año 2021 mes 2: 12.934
Diferencia para el año 2021 mes 3: 20.291
Diferencia para el año 2021 mes 4: 0.601
Diferencia para el año 2021 mes 5: 0.0
Diferencia para el año 2021 mes 6: 0.0
Diferencia para el año 2021 mes 7: 0.0
Diferencia para el año 2021 mes 8: 0.0
Diferencia para el año 2021 mes 9: 0.0
Diferencia para el año 2021 mes 10: 0.0
Diferencia para el año 2021 mes 11: 0.0
Diferencia para el año 2021 mes 12: 3.683
Diferencia para el año 2022 mes 1: 13.68
Diferencia para el año 2022 mes 2: 21.179
Diferencia para el año 2022 mes 3: 9.318
Diferencia para el año 2022 mes 4: 0.024
Diferencia para el año 2022 mes 5: 0.0
Diferencia para el año 2022 mes 6: 0.0
Diferencia para el año 2022 mes 7: 0.0
Diferencia para el año 2022 mes 8: 0.0
Diferencia para el año 2022 mes 9: 0.0
Diferencia para el año 2022 mes 10: 0.0
Diferencia para el año 2022 mes 11: 0.0
Diferencia para el año 2022 mes 12: 0.0
Total maximizado de agua almacenada: 846.8019999999999

import pandas as pd
```

ANEXO 9: Programa para encontrar el balance anual y mensual de agua

```
+ Código + Texto Conectar Colab AI
# Datos de entrada y salida en m3/s
entrada = {
2002: [2.729, 6.568, 7.407, 0.415, 1.148, 0.611, 0.390, 0.814, 0.832, 0.497, 0.738, 1.468],
2003: [0.745, 0.343, 0.449, 0.718, 0.708, 0.633, 0.662, 0.693, 0.623, 0.854, 0.152, 0.975],
2004: [2.302, 6.155, 5.245, 3.607, 1.306, 0.580, 0.621, 0.524, 0.625, 0.835, 0.701, 2.267],
2005: [2.346, 3.021, 1.515, 0.769, 0.670, 0.587, 0.447, 0.258, 0.522, 0.663, 0.346, 1.637],
2006: [3.738, 3.469, 4.236, 2.795, 0.942, 0.624, 0.445, 0.532, 0.555, 0.511, 0.609, 0.737],
2007: [2.043, 3.983, 3.414, 2.839, 1.476, 0.196, 0.150, 0.088, 0.335, 0.023, 0.000, 1.690],
2008: [2.147, 3.666, 2.412, 1.157, 0.675, 0.686, 0.532, 0.461, 0.344, 0.383, 0.299, 1.026],
2009: [5.382, 6.434, 6.031, 4.449, 1.682, 0.401, 0.468, 0.385, 0.299, 0.509, 1.495, 3.696],
2010: [6.255, 4.234, 1.639, 0.722, 1.434, 0.697, 0.316, 0.305, 0.401, 0.482, 0.336, 2.454],
2011: [5.320, 5.896, 4.166, 0.151, 0.844, 0.283, 0.219, 0.311, 0.182, 0.348, 0.317, 1.640],
2012: [3.767, 4.385, 5.296, 0.521, 0.661, 0.517, 0.394, 0.265, 0.415, 0.405, 0.944, 3.094],
2013: [4.498, 5.822, 0.248, 0.338, 1.138, 0.878, 0.543, 0.101, 0.104, 0.041, 0.081, 0.044],
2014: [1.176, 6.324, 7.851, 3.713, 1.503, 0.662, 0.597, 0.345, 0.161, 0.969, 0.057, 0.778],
2015: [2.098, 5.770, 7.469, 3.480, 4.730, 0.545, 0.177, 0.058, 0.000, 0.204, 0.826, 3.087],
2016: [2.615, 6.220, 4.838, 4.443, 1.299, 0.658, 0.289, 0.103, 0.091, 0.048, 0.062, 0.652],
2017: [6.753, 7.941, 9.886, 2.583, 1.706, 0.993, 0.651, 0.065, 0.118, 0.307, 0.818, 1.091],
2018: [7.298, 7.141, 6.664, 1.239, 0.841, 0.623, 0.450, 1.569, 0.998, 2.131, 1.551, 1.149],
2019: [4.928, 8.777, 6.803, 1.578, 1.993, 0.968, 0.548, 0.072, 0.155, 0.000, 2.092, 3.816],
2020: [4.946, 9.373, 2.674, 1.141, 1.854, 0.667, 0.110, 0.030, 0.014, 0.074, 0.126, 3.167],
2021: [8.750, 5.948, 7.929, 0.516, 1.750, 1.233, 0.675, 0.242, 0.255, 0.641, 0.752, 2.725],
2022: [6.831, 8.762, 3.519, 0.688, 1.255, 0.792, 0.302, 0.233, 0.076, 0.108, 0.055, 0.148]
}

salida = {
```

```
+ Código + Texto Conectar Colab AI
salida = {
2002: [0.682, 0.061, 0.071, 0.073, 0.761, 1.003, 0.915, 1.041, 1.101, 1.198, 1.172, 0.708],
2003: [0.884, 0.994, 1.169, 1.152, 0.893, 0.837, 1.111, 1.101, 1.328, 1.931, 2.000, 1.248],
2004: [0.876, 0.440, 0.481, 0.658, 1.210, 1.380, 1.281, 1.864, 1.788, 1.900, 1.750, 1.006],
2005: [0.167, 0.682, 0.771, 1.015, 1.998, 2.388, 2.287, 2.374, 1.935, 2.455, 2.712, 1.553],
2006: [0.437, 0.188, 0.165, 0.228, 1.757, 2.448, 2.510, 2.477, 2.587, 2.600, 1.253, 1.459],
2007: [0.273, 0.542, 0.156, 0.525, 0.748, 0.562, 1.361, 3.111, 2.857, 2.648, 2.472, 1.374],
2008: [0.353, 0.163, 0.143, 1.273, 2.500, 2.585, 2.923, 3.000, 3.130, 2.131, 2.762, 1.698],
2009: [0.532, 0.096, 0.792, 0.430, 2.356, 2.723, 2.947, 3.186, 3.493, 3.097, 2.455, 0.623],
2010: [0.058, 0.079, 1.226, 3.217, 2.459, 2.752, 3.068, 2.894, 2.814, 3.335, 3.790, 3.235],
2011: [0.079, 0.000, 0.041, 0.318, 1.259, 2.361, 2.552, 2.874, 2.620, 3.118, 2.403, 1.435],
2012: [0.534, 0.114, 0.016, 0.312, 0.710, 2.463, 2.421, 3.724, 2.947, 2.526, 2.692, 0.571],
2013: [0.185, 0.104, 0.002, 0.722, 2.945, 2.732, 2.924, 3.640, 3.815, 3.639, 3.130, 0.900],
2014: [0.210, 0.000, 0.000, 0.680, 1.926, 3.435, 3.513, 3.656, 3.080, 2.595, 3.350, 2.153],
2015: [0.153, 0.125, 0.000, 0.417, 1.918, 3.232, 3.582, 3.645, 4.625, 4.066, 3.140, 2.053],
2016: [1.021, 0.448, 0.398, 0.775, 2.304, 3.030, 3.290, 3.618, 4.083, 3.745, 4.392, 2.269],
2017: [0.629, 0.146, 0.000, 0.398, 1.057, 2.424, 3.534, 4.488, 4.542, 4.032, 4.774, 3.275],
2018: [0.782, 0.479, 0.000, 0.770, 2.128, 4.001, 4.131, 3.738, 4.921, 4.850, 5.578, 4.346],
2019: [1.408, 0.161, 0.000, 0.785, 2.187, 3.640, 4.417, 4.726, 4.621, 4.550, 5.050, 2.041],
2020: [0.748, 0.154, 0.461, 1.022, 2.274, 3.700, 3.914, 4.357, 4.375, 4.314, 3.831, 1.207],
2021: [0.407, 0.543, 0.354, 0.275, 1.973, 3.123, 3.789, 4.089, 4.550, 4.333, 4.067, 1.292],
2022: [1.062, 0.007, 0.040, 0.657, 2.212, 3.286, 3.928, 4.338, 4.713, 4.589, 4.813, 3.432]
}

def m3s_to_mmc(m3s_values):
seconds_in_month = 30 * 24 * 60 * 60 # Asumiendo 30 días en un mes
```

```
+ Código + Texto Conectar Colab AI
2022: [1.062, 0.007, 0.040, 0.657, 2.212, 3.286, 3.928, 4.338, 4.713, 4.589, 4.813, 3.432]
}

def m3s_to_mmc(m3s_values):
seconds_in_month = 30 * 24 * 60 * 60 # Asumiendo 30 días en un mes
return [val * seconds_in_month for val in m3s_values]
balance = {}
for year in entrada:
monthly_balance = []
for month in range(12):
volume_entrada = m3s_to_mmc([entrada[year][month]][0])
volume_salida = m3s_to_mmc([salida[year][month]][0])
monthly_balance.append(volume_entrada - volume_salida)

annual_balance = sum(monthly_balance)
balance[year] = {
"monthly": monthly_balance,
"annual": annual_balance
}
for year, data in balance.items():
print(f"Año {year}:")
print(" Balance mensual:", data["monthly"])
print(" Balance anual:", data["annual"])

Año 2002:
```

```
+ Código + Texto Conectar Colab AI
[ ] print(" Balance mensual:", data["monthly"])
print(" Balance anual:", data["annual"])

Año 2002:
Balance mensual: [5305824.0, 16866144.0, 19014912.0, 886464.0, 1003103.9999999995, -1016063.9999999995, -1386720.0, -588384.0, -697248.0, -1816992.0, -112492
Balance anual: 38416832.0
Año 2003:
Balance mensual: [-360288.0, -1687392.0, -1866240.0, -1124928.0, -479520.0, -528768.0, -1163808.0, -1057536.0000000002, -1827360.0, -2765664.0, -4790016.0, -
Balance anual: -18359136.0
Año 2004:
Balance mensual: [3696192.0, 14789952.0, 12348288.0, 7799328.0, 248832.0, -2073599.9999999995, -1710720.0, -3473280.0, -3014496.0, -2760480.0, -2719008.0, 32
Balance anual: 26399520.0
Año 2005:
Balance mensual: [5647968.0, 6062688.0, 1928447.9999999995, -637631.9999999995, -3442176.0, -4668192.0, -4769280.0, -5484672.0, -3662496.0, -4644864.0, -6132
Balance anual: -19585152.0
Año 2006:
Balance mensual: [8556192.0, 8504352.0, 10552032.0, 6653664.0, -2112480.0, -4727808.0, -5352479.999999999, -5038048.0, -5266944.000000001, -5414688.0, -16692
Balance anual: 2799360.0
Año 2007:
Balance mensual: [4587840.0, 8919072.0, 8444736.0, 5997888.0, 1886976.0, -948672.0000000002, -3138912.0, -7835616.000000001, -6537024.000000001, -6804000.0,
Balance anual: -1016664.0000000005
Año 2008:
Balance mensual: [4658007.999999999, 9079776.0, 5881248.0, -300671.99999999953, -4730400.0, -4922208.0, -6197472.0, -6581088.0, -7221312.0, -4538815.999999999
Balance anual: -22998816.0
Año 2009:
Balance mensual: [12571200.0, 16428096.0, 15653088.0, 10417248.0, -1747008.0, -6018624.0, -6425568.0, -7260192.0, -8278848.0, -6708096.0, -2488319.9999999995
Balance anual: 24108192.0
Año 2010:
```

```
+ Código + Texto Conectar Colab AI
Balance mensual: [4658007.999999999, 9079776.0, 5881248.0, -300671.99999999953, -4730400.0, -4922208.0, -6197472.0, -6581088.0, -7221312.0, -4538815.999999999
Balance anual: -22998816.0
Año 2009:
Balance mensual: [12571200.0, 16428096.0, 15653088.0, 10417248.0, -1747008.0, -6018624.0, -6425568.0, -7260192.0, -8278848.0, -6708096.0, -2488319.9999999995
Balance anual: 24108192.0
Año 2010:
Balance mensual: [16062624.0, 10769760.0, 1070496.0, -6467040.0, -2656800.0, -5326559.999999999, -7133184.0, -6710688.0, -6254496.0, -7394976.0, -8952768.0,
Balance anual: -25017984.0
Año 2011:
Balance mensual: [13584672.0, 15282432.0, 10692000.000000002, -432864.0, -1075679.9999999995, -5593536.000000001, -6047136.0, -6643296.0, -6319296.0, -717984
Balance anual: 1391904.0
Año 2012:
Balance mensual: [8379936.0, 11070432.0, 13685760.0, 541728.0, -127008.0, -5044032.0, -5253983.999999999, -8965728.0, -6562044.0, -5497631.999999999, -453081
Balance anual: 4235328.000000001
Año 2013:
Balance mensual: [11158560.0, 14821856.0, 637632.0, -995327.9999999999, -4683744.0, -4885568.000000001, -6171552.0, -9173088.0, -9618912.0, -9326016.0, -7903
Balance anual: -28278720.0
Año 2014:
Balance mensual: [2583872.0, 16391808.0, 20349792.0, 7861536.0, -1096416.0000000005, -7187616.0, -7558272.0, -8582112.0, -7566048.0, -4214592.000000001, -853
Balance anual: -1197504.0
Año 2015:
Balance mensual: [5041440.0, 14631839.999999998, 19359648.0, 7939296.0, 7288704.000000002, -6964704.000000001, -8825760.0, -9297504.0, -11988000.0, -10010304
Balance anual: 3856896.000000001
Año 2016:
Balance mensual: [4131648.0000000014, 14961024.0, 11487744.0, 9507455.999999998, -2604960.0, -6148223.999999999, -7778592.0, -9110880.0, -10347264.0, -958262
Balance anual: -20899296.0
Año 2017:
Balance mensual: [15873408.0, 20204640.0, 25624511.999999996, 5663520.000000001, 1682208.0, -3709152.0, -7472736.0, -11464416.000000002, -11467008.0, -965520
Balance anual: 9364896.0
Año 2018:
```

```
+ Código + Texto Conectar Colab AI
Año 2014:
Balance mensual: [2583872.0, 16391808.0, 20349792.0, 7861536.0, -1096416.0000000005, -7187616.0, -7558272.0, -8582112.0, -7566048.0, -4214592.000000001, -853
Balance anual: -1197504.0
Año 2015:
Balance mensual: [5041440.0, 14631839.999999998, 19359648.0, 7939296.0, 7288704.000000002, -6964704.000000001, -8825760.0, -9297504.0, -11988000.0, -10010304
Balance anual: 3856896.000000001
Año 2016:
Balance mensual: [4131648.0000000014, 14961024.0, 11487744.0, 9507455.999999998, -2604960.0, -6148223.999999999, -7778592.0, -9110880.0, -10347264.0, -958262
Balance anual: -20899296.0
Año 2017:
Balance mensual: [15873408.0, 20204640.0, 25624511.999999996, 5663520.000000001, 1682208.0, -3709152.0, -7472736.0, -11464416.000000002, -11467008.0, -965520
Balance anual: 9364896.0
Año 2018:
Balance mensual: [16889472.0, 17267904.0, 17273088.0, 1215648.0000000005, -3335904.0, -8755776.0, -9541152.0, -5622048.0, -10168416.0, -7047648.000000001, -1
Balance anual: -10549440.0
Año 2019:
Balance mensual: [9123840.0, 22332671.999999996, 17633376.0, 205456.0, -502848.0, -6925824.0, -10028448.0, -12063168.0, -11575872.000000002, -11793600.0, -7
Balance anual: -4810752.0000000002
Año 2020:
Balance mensual: [10881216.0, 23895648.0, 5736096.0, 308448.0, -1088640.0, -7861536.0, -9859968.0, -11215584.0, -11303712.0, -10990080.0, -9603360.0, 5080319
Balance anual: -16021152.0
Año 2021:
Balance mensual: [21625056.0, 14009760.000000002, 19634400.0, 624672.0, -578016.0, -4898880.0, -8071488.0, -9971424.000000002, -11132640.0, -9569664.0, -8592
Balance anual: 6793632.0
Año 2022:
Balance mensual: [14953248.0, 22692960.0, 9017568.0, 80351.99999999977, -2480544.0000000014, -6464448.0, -9398592.0, -10640160.0, -12019104.0, -11614752.0000
Balance anual: -26718336.0
```

ANEXO 10: Programa de la Incertidumbre por Monte Carlo

```
+ Código + Texto Conectar Colab AI
-2.0
import numpy as np

caudales_entrada = [
[2.729, 6.568, 7.487, 0.415, 1.148, 0.611, 0.389, 0.814, 0.832, 0.497, 0.738, 1.468],
[0.745, 0.343, 0.449, 0.718, 0.788, 0.633, 0.662, 0.693, 0.623, 0.864, 0.152, 0.975],
[2.382, 6.355, 5.245, 3.667, 1.386, 0.588, 0.621, 0.524, 0.625, 0.835, 0.781, 2.267],
[2.346, 3.821, 1.515, 0.769, 0.678, 0.587, 0.447, 0.258, 0.522, 0.663, 0.346, 1.637],
[3.738, 3.469, 4.236, 2.795, 0.942, 0.624, 0.445, 0.533, 0.555, 0.511, 0.609, 0.732],
[2.043, 3.983, 3.414, 2.839, 1.476, 0.196, 0.158, 0.888, 0.335, 0.823, 0.888, 1.698],
[2.147, 3.666, 2.412, 1.157, 0.675, 0.686, 0.532, 0.461, 0.344, 0.383, 0.299, 1.828],
[5.382, 6.434, 6.831, 4.449, 1.682, 0.481, 0.468, 0.385, 0.299, 0.589, 1.495, 3.696],
[6.255, 4.234, 1.639, 0.722, 1.434, 0.697, 0.316, 0.385, 0.481, 0.482, 0.336, 2.454],
[5.328, 5.896, 4.166, 0.151, 0.844, 0.283, 0.219, 0.311, 0.182, 0.348, 0.317, 1.648],
[3.767, 4.385, 5.296, 0.521, 0.661, 0.517, 0.394, 0.265, 0.415, 0.485, 0.944, 3.894],
[4.498, 5.822, 0.248, 0.338, 1.138, 0.878, 0.543, 0.181, 0.184, 0.041, 0.881, 0.844],
[1.176, 6.324, 7.851, 3.713, 1.583, 0.662, 0.597, 0.345, 0.161, 0.969, 0.857, 0.778],
[2.898, 5.778, 7.469, 3.488, 4.738, 0.545, 0.177, 0.858, 0.888, 0.284, 0.826, 3.887],
[2.615, 6.228, 4.838, 4.443, 1.299, 0.658, 0.289, 0.183, 0.891, 0.048, 0.862, 0.652],
[6.753, 7.941, 9.886, 2.583, 1.786, 0.993, 0.651, 0.865, 0.118, 0.387, 0.818, 1.891],
[7.298, 7.141, 6.664, 1.239, 0.841, 0.623, 0.458, 1.569, 0.998, 2.131, 1.551, 1.149],
[4.928, 8.777, 6.883, 1.578, 1.993, 0.968, 0.548, 0.872, 0.155, 0.888, 2.892, 3.816],
[4.946, 8.373, 2.674, 1.141, 1.854, 0.667, 0.118, 0.838, 0.814, 0.874, 0.126, 3.167],
[8.758, 5.948, 7.929, 0.516, 1.758, 1.233, 0.675, 0.242, 0.255, 0.641, 0.752, 2.725],
[6.831, 8.763, 3.518, 0.688, 1.255, 0.792, 0.382, 0.233, 0.876, 0.188, 0.855, 0.148]]

caudales_salida = [
[0.682, 0.861, 0.071, 0.873, 0.761, 1.883, 0.915, 1.841, 1.181, 1.198, 1.172, 0.788],
[0.884, 0.994, 1.169, 1.152, 0.893, 0.837, 1.111, 1.181, 1.328, 1.931, 2.088, 1.248],
[0.876, 0.449, 0.481, 0.658, 1.218, 1.388, 1.281, 1.864, 1.788, 1.988, 1.758, 1.886],
[0.167, 0.682, 0.771, 1.015, 1.998, 2.388, 2.287, 2.374, 1.935, 2.455, 2.712, 1.553],
[0.437, 0.188, 0.165, 0.228, 1.757, 2.448, 2.518, 2.477, 2.587, 2.688, 1.253, 1.459],
[0.273, 0.542, 0.156, 0.525, 0.748, 0.562, 1.361, 3.111, 2.857, 2.648, 2.472, 1.374],
[0.353, 0.163, 0.143, 1.273, 2.588, 2.585, 2.923, 3.888, 3.138, 2.131, 2.762, 1.698],
[0.532, 0.896, 0.792, 0.438, 2.356, 2.732, 2.947, 3.186, 3.493, 3.897, 2.455, 0.623],
[0.058, 0.879, 1.226, 3.217, 2.459, 2.752, 3.868, 2.894, 2.814, 3.335, 3.798, 3.235],
[0.079, 0.888, 0.041, 0.318, 1.259, 2.361, 2.552, 2.874, 2.628, 3.118, 2.483, 1.435],
[0.534, 0.114, 0.816, 0.312, 0.718, 2.463, 2.421, 3.724, 2.947, 2.526, 2.692, 0.571],
[0.185, 0.184, 0.882, 0.722, 2.945, 2.732, 2.924, 3.648, 3.815, 3.639, 3.138, 0.988],
[0.218, 0.888, 0.888, 0.688, 1.926, 3.435, 3.513, 3.656, 3.888, 2.595, 3.358, 2.153],
[0.153, 0.125, 0.888, 0.417, 1.918, 3.232, 3.582, 3.645, 4.625, 4.866, 3.148, 2.053],
[1.021, 0.448, 0.398, 0.775, 2.384, 3.838, 3.298, 3.618, 4.883, 3.745, 4.392, 2.269],
[0.629, 0.146, 0.888, 0.398, 1.857, 2.424, 3.534, 4.488, 4.542, 4.832, 4.774, 3.275],
[0.782, 0.479, 0.888, 0.778, 2.128, 4.881, 4.131, 3.738, 4.921, 4.858, 5.578, 4.346],
[1.488, 0.161, 0.888, 0.785, 2.187, 3.648, 4.417, 4.726, 4.621, 4.558, 5.058, 2.841],
[0.748, 0.154, 0.461, 1.822, 2.274, 3.788, 3.914, 4.357, 4.375, 4.314, 3.831, 1.287],
[0.487, 0.543, 0.354, 0.275, 1.973, 3.123, 3.788, 4.889, 4.558, 4.333, 4.867, 1.292],
[1.862, 0.887, 0.848, 0.657, 2.212, 3.286, 3.928, 4.338, 4.713, 4.589, 4.813, 3.432]]

caudales_entrada = np.array(caudales_entrada)
caudales_salida = np.array(caudales_salida)

for idx, caudales_anuales in enumerate(caudales_salida):
    media = np.mean(caudales_anuales)
    std_dev = np.std(caudales_anuales)

    # Simulación Monte Carlo
    n_simulaciones = 10000
    simulaciones = np.random.normal(media, std_dev, n_simulaciones)

    # Resultados
    media_simulada = np.mean(simulaciones)
    std_dev_simulada = np.std(simulaciones)

    print(f"Año {idx + 1}:")
    print(f" Media Estimada: {media_simulada:.2f}")
    print(f" Incertidumbre (desviación estándar): {std_dev_simulada:.2f}")
    print("-" * 30)
```

```
+ Código + Texto Conectar Colab AI
[6.831, 8.762, 3.519, 0.688, 1.255, 0.792, 0.382, 0.233, 0.876, 0.188, 0.855, 0.148]

caudales_salida = [
[0.682, 0.861, 0.071, 0.873, 0.761, 1.883, 0.915, 1.841, 1.181, 1.198, 1.172, 0.788],
[0.884, 0.994, 1.169, 1.152, 0.893, 0.837, 1.111, 1.181, 1.328, 1.931, 2.088, 1.248],
[0.876, 0.449, 0.481, 0.658, 1.218, 1.388, 1.281, 1.864, 1.788, 1.988, 1.758, 1.886],
[0.167, 0.682, 0.771, 1.015, 1.998, 2.388, 2.287, 2.374, 1.935, 2.455, 2.712, 1.553],
[0.437, 0.188, 0.165, 0.228, 1.757, 2.448, 2.518, 2.477, 2.587, 2.688, 1.253, 1.459],
[0.273, 0.542, 0.156, 0.525, 0.748, 0.562, 1.361, 3.111, 2.857, 2.648, 2.472, 1.374],
[0.353, 0.163, 0.143, 1.273, 2.588, 2.585, 2.923, 3.888, 3.138, 2.131, 2.762, 1.698],
[0.532, 0.896, 0.792, 0.438, 2.356, 2.732, 2.947, 3.186, 3.493, 3.897, 2.455, 0.623],
[0.058, 0.879, 1.226, 3.217, 2.459, 2.752, 3.868, 2.894, 2.814, 3.335, 3.798, 3.235],
[0.079, 0.888, 0.041, 0.318, 1.259, 2.361, 2.552, 2.874, 2.628, 3.118, 2.483, 1.435],
[0.534, 0.114, 0.816, 0.312, 0.718, 2.463, 2.421, 3.724, 2.947, 2.526, 2.692, 0.571],
[0.185, 0.184, 0.882, 0.722, 2.945, 2.732, 2.924, 3.648, 3.815, 3.639, 3.138, 0.988],
[0.218, 0.888, 0.888, 0.688, 1.926, 3.435, 3.513, 3.656, 3.888, 2.595, 3.358, 2.153],
[0.153, 0.125, 0.888, 0.417, 1.918, 3.232, 3.582, 3.645, 4.625, 4.866, 3.148, 2.053],
[1.021, 0.448, 0.398, 0.775, 2.384, 3.838, 3.298, 3.618, 4.883, 3.745, 4.392, 2.269],
[0.629, 0.146, 0.888, 0.398, 1.857, 2.424, 3.534, 4.488, 4.542, 4.832, 4.774, 3.275],
[0.782, 0.479, 0.888, 0.778, 2.128, 4.881, 4.131, 3.738, 4.921, 4.858, 5.578, 4.346],
[1.488, 0.161, 0.888, 0.785, 2.187, 3.648, 4.417, 4.726, 4.621, 4.558, 5.058, 2.841],
[0.748, 0.154, 0.461, 1.822, 2.274, 3.788, 3.914, 4.357, 4.375, 4.314, 3.831, 1.287],
[0.487, 0.543, 0.354, 0.275, 1.973, 3.123, 3.788, 4.889, 4.558, 4.333, 4.867, 1.292],
[1.862, 0.887, 0.848, 0.657, 2.212, 3.286, 3.928, 4.338, 4.713, 4.589, 4.813, 3.432]]

caudales_entrada = np.array(caudales_entrada)
caudales_salida = np.array(caudales_salida)

for idx, caudales_anuales in enumerate(caudales_salida):
    media = np.mean(caudales_anuales)
    std_dev = np.std(caudales_anuales)

    # Simulación Monte Carlo
    n_simulaciones = 10000
    simulaciones = np.random.normal(media, std_dev, n_simulaciones)

    # Resultados
    media_simulada = np.mean(simulaciones)
    std_dev_simulada = np.std(simulaciones)

    print(f"Año {idx + 1}:")
    print(f" Media Estimada: {media_simulada:.2f}")
    print(f" Incertidumbre (desviación estándar): {std_dev_simulada:.2f}")
    print("-" * 30)
```

```
+ Código + Texto Conectar Colab AI
[1.488, 0.161, 0.888, 0.785, 2.187, 3.648, 4.417, 4.726, 4.621, 4.558, 5.058, 2.841],
[0.748, 0.154, 0.461, 1.822, 2.274, 3.788, 3.914, 4.357, 4.375, 4.314, 3.831, 1.287],
[0.487, 0.543, 0.354, 0.275, 1.973, 3.123, 3.788, 4.889, 4.558, 4.333, 4.867, 1.292],
[1.862, 0.887, 0.848, 0.657, 2.212, 3.286, 3.928, 4.338, 4.713, 4.589, 4.813, 3.432]]

caudales_entrada = np.array(caudales_entrada)
caudales_salida = np.array(caudales_salida)

for idx, caudales_anuales in enumerate(caudales_salida):
    media = np.mean(caudales_anuales)
    std_dev = np.std(caudales_anuales)

    # Simulación Monte Carlo
    n_simulaciones = 10000
    simulaciones = np.random.normal(media, std_dev, n_simulaciones)

    # Resultados
    media_simulada = np.mean(simulaciones)
    std_dev_simulada = np.std(simulaciones)

    print(f"Año {idx + 1}:")
    print(f" Media Estimada: {media_simulada:.2f}")
    print(f" Incertidumbre (desviación estándar): {std_dev_simulada:.2f}")
    print("-" * 30)
```

```
+ Código + Texto Conectar Colab AI ^
print(f"Año {idx + 1}:")
print(f" Media Estimada: {media_simulada:.2f}")
print(f" Incertidumbre (desviación estándar): {std_dev_simulada:.2f}")
print("-" * 30)
Año 1:
Media Estimada: 0.74
Incertidumbre (desviación estándar): 0.42
-----
Año 2:
Media Estimada: 1.22
Incertidumbre (desviación estándar): 0.36
-----
Año 3:
Media Estimada: 1.22
Incertidumbre (desviación estándar): 0.52
-----
Año 4:
Media Estimada: 1.69
Incertidumbre (desviación estándar): 0.81
-----
Año 5:
Media Estimada: 1.50
Incertidumbre (desviación estándar): 0.99
-----
Año 6:
Media Estimada: 1.38
```

```
+ Código + Texto Conectar Colab AI ^
-----
Año 7:
Media Estimada: 1.89
Incertidumbre (desviación estándar): 1.09
-----
Año 8:
Media Estimada: 1.90
Incertidumbre (desviación estándar): 1.23
-----
Año 9:
Media Estimada: 2.45
Incertidumbre (desviación estándar): 1.22
-----
Año 10:
Media Estimada: 1.61
Incertidumbre (desviación estándar): 1.17
-----
Año 11:
Media Estimada: 1.57
Incertidumbre (desviación estándar): 1.26
-----
Año 12:
Media Estimada: 2.05
Incertidumbre (desviación estándar): 1.46
-----
Año 13:
Media Estimada: 2.07
Incertidumbre (desviación estándar): 1.41
```

```
+ Código + Texto Conectar Colab AI ^
Año 13:
Media Estimada: 2.07
Incertidumbre (desviación estándar): 1.41
-----
Año 14:
Media Estimada: 2.25
Incertidumbre (desviación estándar): 1.62
-----
Año 15:
Media Estimada: 2.41
Incertidumbre (desviación estándar): 1.41
-----
Año 16:
Media Estimada: 2.44
Incertidumbre (desviación estándar): 1.80
-----
Año 17:
Media Estimada: 2.95
Incertidumbre (desviación estándar): 1.94
-----
Año 18:
Media Estimada: 2.02
Incertidumbre (desviación estándar): 1.02
-----
Año 19:
Media Estimada: 2.51
Incertidumbre (desviación estándar): 1.66
-----
Año 20:
```

ANEXO 11: Programa de la confiabilidad anual por Monte Carlo

```

+ Código + Texto
Mes 6: 34.89 mnc
Mes 7: 25.18 mnc
Mes 8: 14.18 mnc

[ ] import random

# Datos proporcionados
caudales_entrada = {
2002: [2.729, 6.568, 7.407, 0.415, 1.148, 0.611, 0.380, 0.814, 0.832, 0.497, 0.738, 1.468],
2003: [0.745, 0.343, 0.449, 0.718, 0.708, 0.633, 0.662, 0.693, 0.623, 0.864, 0.152, 0.975],
2004: [2.302, 6.155, 5.245, 3.667, 1.306, 0.580, 0.621, 0.524, 0.625, 0.835, 0.701, 2.267],
2005: [2.346, 3.021, 1.515, 0.769, 0.670, 0.587, 0.447, 0.258, 0.522, 0.663, 0.346, 1.637],
2006: [3.738, 3.469, 4.236, 2.795, 0.942, 0.624, 0.445, 0.533, 0.555, 0.511, 0.609, 0.732],
2007: [2.043, 3.983, 3.414, 2.839, 1.476, 0.196, 0.150, 0.088, 0.335, 0.023, 0.000, 1.690],
2008: [2.147, 3.666, 2.412, 1.157, 0.675, 0.686, 0.532, 0.461, 0.344, 0.383, 0.299, 1.026],
2009: [5.382, 6.434, 6.831, 4.449, 1.682, 0.401, 0.468, 0.385, 0.299, 0.509, 1.495, 3.696],
2010: [6.255, 4.234, 1.639, 0.722, 1.434, 0.697, 0.316, 0.305, 0.401, 0.482, 0.336, 2.454],
2011: [5.320, 5.896, 4.166, 0.151, 0.844, 0.203, 0.219, 0.311, 0.182, 0.348, 0.317, 1.640],
2012: [3.767, 4.385, 5.296, 0.521, 0.661, 0.517, 0.394, 0.265, 0.415, 0.405, 0.944, 3.094],
2013: [4.490, 5.822, 0.248, 0.338, 1.138, 0.878, 0.543, 0.101, 0.104, 0.041, 0.081, 0.044],
2014: [1.176, 6.324, 7.851, 3.713, 1.503, 0.662, 0.597, 0.345, 0.161, 0.969, 0.057, 0.778],
2015: [2.098, 5.770, 7.469, 3.480, 4.730, 0.545, 0.177, 0.058, 0.000, 0.204, 0.826, 3.087],
2016: [2.615, 6.220, 4.830, 4.443, 1.299, 0.658, 0.289, 0.103, 0.091, 0.048, 0.062, 0.652],
2017: [6.753, 7.941, 9.886, 2.583, 1.706, 0.993, 0.651, 0.065, 0.118, 0.307, 0.818, 1.091],
2018: [7.298, 7.141, 0.664, 1.239, 0.841, 0.623, 0.450, 1.569, 0.998, 2.131, 1.551, 1.149],
2019: [4.928, 8.777, 6.803, 1.578, 1.993, 0.968, 0.548, 0.072, 0.155, 0.000, 2.092, 3.816],
2020: [4.946, 9.373, 2.674, 1.141, 1.854, 0.667, 0.110, 0.030, 0.014, 0.074, 0.126, 3.167],

```

```

+ Código + Texto
2021: [8.750, 5.948, 7.929, 0.516, 1.750, 1.233, 0.675, 0.242, 0.255, 0.641, 0.752, 2.725],
2022: [6.831, 8.762, 3.519, 0.688, 1.255, 0.792, 0.302, 0.233, 0.076, 0.108, 0.055, 0.148]

}

caudales_salida = {
2002: [0.682, 0.061, 0.071, 0.073, 0.761, 1.003, 0.915, 1.041, 1.101, 1.198, 1.172, 0.708],
2003: [0.884, 0.994, 1.169, 1.152, 0.893, 0.837, 1.111, 1.101, 1.328, 1.931, 2.000, 1.248],
2004: [0.876, 0.449, 0.481, 0.658, 1.210, 1.380, 1.281, 1.864, 1.788, 1.900, 1.750, 1.006],
2005: [0.167, 0.682, 0.771, 1.015, 1.998, 2.388, 2.287, 2.374, 1.935, 2.455, 2.712, 1.553],
2006: [0.437, 0.188, 0.165, 0.228, 1.757, 2.448, 2.510, 2.477, 2.587, 2.600, 1.253, 1.459],
2007: [0.273, 0.542, 0.156, 0.525, 0.748, 0.562, 1.361, 3.111, 2.857, 2.648, 2.472, 1.374],
2008: [0.353, 0.163, 0.143, 1.273, 2.500, 2.585, 2.923, 3.000, 3.130, 2.131, 2.762, 1.690],
2009: [0.532, 0.096, 0.792, 0.430, 2.356, 2.723, 2.947, 3.186, 3.493, 3.097, 2.455, 0.623],
2010: [0.058, 0.079, 1.226, 3.217, 2.459, 2.752, 3.068, 2.894, 2.814, 3.335, 3.790, 3.235],
2011: [0.070, 0.000, 0.041, 0.318, 1.259, 2.361, 2.552, 2.874, 2.620, 3.118, 2.403, 1.435],
2012: [0.534, 0.114, 0.016, 0.312, 0.710, 2.463, 2.421, 3.724, 2.947, 2.526, 2.692, 0.571],
2013: [0.185, 0.104, 0.002, 0.722, 2.945, 2.732, 2.924, 3.640, 3.815, 3.639, 3.130, 0.900],
2014: [0.210, 0.000, 0.000, 0.680, 1.926, 3.435, 3.513, 3.656, 3.080, 2.595, 3.350, 2.153],
2015: [0.153, 0.125, 0.000, 0.417, 1.918, 3.232, 3.582, 3.645, 4.625, 4.066, 3.140, 2.053],
2016: [1.021, 0.448, 0.398, 0.775, 2.304, 3.030, 3.290, 3.618, 4.083, 3.745, 4.392, 2.269],
2017: [0.620, 0.146, 0.000, 0.398, 1.057, 2.424, 3.534, 4.488, 4.542, 4.032, 4.774, 3.275],
2018: [0.782, 0.470, 0.000, 0.770, 2.128, 4.001, 4.131, 3.738, 4.921, 4.850, 5.578, 4.346],
2019: [1.408, 0.161, 0.000, 0.785, 2.187, 3.640, 4.417, 4.726, 4.621, 4.550, 5.050, 2.041],
2020: [0.740, 0.154, 0.461, 1.022, 2.274, 3.700, 3.914, 4.357, 4.375, 4.314, 3.831, 1.207],
2021: [0.407, 0.543, 0.354, 0.275, 1.973, 3.123, 3.789, 4.089, 4.550, 4.333, 4.067, 1.292],
2022: [1.062, 0.007, 0.040, 0.657, 2.212, 3.286, 3.928, 4.338, 4.713, 4.589, 4.813, 3.432]

```

```

+ Código + Texto
volumen_entrada = {
2002: [7.308, 15.888, 19.838, 1.075, 3.076, 1.583, 1.017, 2.181, 2.157, 1.331, 1.912, 3.931],
2003: [1.996, 0.830, 1.203, 1.861, 1.896, 1.639, 1.773, 1.856, 1.614, 2.315, 0.393, 2.612],
2004: [6.166, 14.891, 14.047, 9.505, 3.499, 1.503, 1.663, 1.403, 1.619, 2.236, 1.816, 6.073],
2005: [6.284, 7.307, 4.057, 1.994, 1.794, 1.523, 1.199, 0.692, 1.353, 1.776, 0.896, 4.386],
2006: [10.013, 8.392, 11.345, 7.243, 2.522, 1.618, 1.193, 1.428, 1.440, 1.369, 1.578, 1.960],
2007: [5.471, 9.635, 9.144, 7.358, 3.953, 0.507, 0.402, 0.235, 0.868, 0.061, 0.000, 4.526],
2008: [5.751, 8.868, 6.460, 2.998, 1.809, 1.777, 1.426, 1.235, 0.893, 1.025, 0.775, 2.747],
2009: [14.414, 15.566, 18.295, 11.531, 4.504, 1.039, 1.253, 1.030, 0.775, 1.320, 3.875, 9.579],
2010: [16.753, 10.244, 4.390, 1.071, 3.841, 1.807, 0.846, 0.817, 1.040, 1.240, 0.071, 6.360],
2011: [14.249, 14.265, 11.158, 0.391, 2.261, 0.525, 0.586, 0.834, 0.472, 0.902, 0.822, 4.250],
2012: [10.090, 10.608, 14.184, 1.358, 1.772, 1.339, 1.055, 0.710, 1.077, 1.050, 2.446, 8.020],
2013: [12.027, 14.085, 0.664, 0.876, 3.048, 2.275, 1.454, 0.270, 0.271, 0.107, 0.209, 0.114],
2014: [2.845, 15.299, 21.028, 9.625, 4.027, 1.716, 1.599, 0.925, 0.417, 2.512, 0.148, 0.016],
2015: [5.619, 13.960, 20.006, 9.021, 12.668, 1.414, 0.475, 0.156, 0.000, 0.530, 2.142, 0.002],
2016: [7.003, 15.046, 12.937, 11.517, 3.400, 1.707, 0.775, 0.276, 0.236, 0.125, 0.162, 1.689],
2017: [18.008, 19.210, 26.478, 6.694, 4.509, 2.573, 1.743, 0.175, 0.306, 0.797, 2.121, 2.827],
2018: [10.547, 17.275, 17.850, 3.211, 2.253, 1.616, 1.206, 4.203, 2.587, 5.524, 4.019, 2.079],
2019: [13.190, 21.233, 18.222, 4.091, 5.338, 2.508, 1.468, 0.194, 0.401, 0.000, 5.423, 0.802],
2020: [13.247, 22.675, 7.163, 2.957, 4.965, 1.786, 0.294, 0.000, 0.039, 0.198, 0.326, 8.210],
2021: [21.160, 14.388, 21.230, 1.337, 4.680, 3.197, 1.807, 0.647, 0.660, 1.661, 1.940, 7.063],
2022: [16.525, 21.196, 9.425, 1.783, 3.361, 2.054, 0.800, 0.625, 0.196, 0.281, 0.142, 0.384]

}

volumen_salida = {
2002: [1.828, 0.163, 0.190, 0.194, 2.039, 2.666, 2.450, 2.787, 2.950, 3.209, 3.138, 1.896],
2003: [2.360, 2.404, 3.130, 2.985, 2.391, 2.169, 2.870, 2.948, 3.556, 5.171, 5.184, 3.344],
2004: [2.346, 1.087, 1.287, 1.784, 3.240, 3.576, 3.431, 4.992, 4.633, 5.089, 4.536, 2.696],

```

```

+ Código + Texto
Conectar Colab AI
2022: [16.525, 21.196, 9.425, 1.783, 3.361, 2.054, 0.808, 0.625, 0.196, 0.281, 0.142, 0.384]
}
volumen_salida = {
2002: [1.828, 0.163, 0.190, 0.194, 2.039, 2.686, 2.450, 2.787, 2.950, 3.209, 3.138, 1.896],
2003: [2.369, 2.404, 3.130, 2.985, 2.391, 2.169, 2.879, 2.948, 3.556, 5.171, 5.184, 3.344],
2004: [2.346, 1.087, 1.207, 1.704, 3.240, 3.576, 3.431, 4.992, 4.033, 5.009, 4.536, 2.696],
2005: [0.447, 1.650, 2.066, 2.631, 5.350, 6.191, 6.126, 6.359, 5.016, 6.575, 7.029, 4.160],
2006: [1.159, 0.502, 0.443, 0.591, 4.706, 6.345, 6.722, 6.636, 6.705, 6.964, 3.249, 3.900],
2007: [0.731, 1.311, 0.417, 1.361, 2.004, 1.456, 3.646, 8.333, 7.404, 7.093, 6.407, 3.680],
2008: [0.945, 0.394, 0.383, 3.298, 6.696, 6.700, 7.826, 8.035, 8.113, 5.707, 7.158, 4.549],
2009: [1.426, 0.233, 2.121, 1.115, 6.312, 7.059, 7.803, 8.534, 9.055, 8.294, 6.363, 1.669],
2010: [0.156, 0.190, 3.283, 8.338, 6.587, 7.132, 8.217, 7.752, 7.293, 8.934, 9.823, 8.664],
2011: [0.212, 0.000, 0.109, 0.825, 3.372, 6.119, 6.614, 7.698, 6.791, 8.351, 6.229, 3.845],
2012: [1.430, 0.276, 0.043, 0.800, 1.901, 6.385, 6.275, 9.975, 7.638, 6.765, 6.977, 1.529],
2013: [0.497, 0.252, 0.004, 1.872, 7.888, 7.000, 7.500, 9.750, 9.888, 9.746, 8.113, 2.411],
2014: [0.562, 0.000, 0.000, 1.763, 5.158, 8.904, 9.105, 9.793, 7.983, 6.951, 8.683, 5.767],
2015: [0.410, 0.302, 0.000, 1.080, 5.136, 8.376, 9.285, 9.763, 11.988, 10.891, 8.139, 5.499],
2016: [2.735, 1.084, 1.067, 2.009, 6.171, 7.854, 8.528, 9.690, 10.584, 10.031, 11.383, 6.077],
2017: [1.684, 0.354, 0.000, 1.032, 2.831, 6.283, 9.161, 12.020, 11.773, 10.800, 12.373, 8.770],
2018: [2.094, 1.284, 0.000, 2.063, 5.700, 10.717, 11.066, 10.012, 13.181, 12.990, 14.940, 11.641],
2019: [3.772, 0.430, 0.000, 2.103, 5.857, 9.749, 11.830, 12.658, 12.378, 12.187, 13.526, 5.467],
2020: [2.004, 0.413, 1.236, 2.736, 6.092, 9.910, 10.484, 11.670, 11.718, 11.556, 10.260, 3.234],
2021: [1.080, 1.454, 0.947, 0.736, 5.285, 8.366, 10.149, 10.952, 12.187, 11.605, 10.894, 3.460],
2022: [2.845, 0.017, 0.107, 1.759, 5.926, 8.801, 10.522, 11.619, 12.622, 12.291, 12.890, 9.193],
}
confiabilidad_anual_caudal = {}

```

```

+ Código + Texto
Conectar Colab AI
confiabilidad_anual_caudal = {}
confiabilidad_anual_volumen = {}

# Monte Carlo con 1000 iteraciones por año
num_simulaciones = 1000

# Para caudales
for year in caudales_entrada.keys():
    count_entrada_mayor_caudal = 0
    for _ in range(num_simulaciones):
        total_entrada_caudal = sum(random.choice(caudales_entrada[year]) for _ in range(12))
        total_salida_caudal = sum(random.choice(caudales_salida[year]) for _ in range(12))

        if total_entrada_caudal > total_salida_caudal:
            count_entrada_mayor_caudal += 1

    confiabilidad_caudal = count_entrada_mayor_caudal / num_simulaciones
    confiabilidad_anual_caudal[year] = confiabilidad_caudal

# Para volúmenes
for year in volumen_entrada.keys():
    count_entrada_mayor_volumen = 0
    for _ in range(num_simulaciones):
        total_entrada_volumen = sum(random.choice(volumen_entrada[year]) for _ in range(12))
        total_salida_volumen = sum(random.choice(volumen_salida[year]) for _ in range(12))

        if total_entrada_volumen > total_salida_volumen:

```

```

+ Código + Texto
Conectar Colab AI
count_entrada_mayor_volumen += 1

confiabilidad_volumen = count_entrada_mayor_volumen / num_simulaciones
confiabilidad_anual_volumen[year] = confiabilidad_volumen

# Imprimir la confiabilidad anual en términos porcentuales
for year in caudales_entrada.keys():
    print(f"Año {year}:")
    print(f"Confiabilidad del caudal: {confiabilidad_anual_caudal[year]*100:.2f}%")
    print(f"Confiabilidad del volumen: {confiabilidad_anual_volumen[year]*100:.2f}%")
    print()

Año 2002:
Confiabilidad del caudal: 98.20%
Confiabilidad del volumen: 98.10%

Año 2003:
Confiabilidad del caudal: 0.00%
Confiabilidad del volumen: 0.00%

Año 2004:
Confiabilidad del caudal: 94.80%
Confiabilidad del volumen: 94.60%

Año 2005:
Confiabilidad del caudal: 3.20%
Confiabilidad del volumen: 1.60%

```

```
+ Código + Texto Conectar Colab AI
print()
[ ]
Año 2005:
  Confiabilidad del caudal: 3.20%
  Confiabilidad del volumen: 1.60%

Año 2006:
  Confiabilidad del caudal: 56.10%
  Confiabilidad del volumen: 54.00%

Año 2007:
  Confiabilidad del caudal: 48.40%
  Confiabilidad del volumen: 43.80%

Año 2008:
  Confiabilidad del caudal: 4.60%
  Confiabilidad del volumen: 3.90%

Año 2009:
  Confiabilidad del caudal: 81.80%
  Confiabilidad del volumen: 84.40%

Año 2010:
  Confiabilidad del caudal: 10.10%
  Confiabilidad del volumen: 9.90%

Año 2011:
  Confiabilidad del caudal: 49.80%
  Confiabilidad del volumen: 48.30%
```

```
+ Código + Texto Conectar Colab AI
Confiabilidad del volumen: 55.90%
Año 2013:
  Confiabilidad del caudal: 10.30%
  Confiabilidad del volumen: 7.20%

Año 2014:
  Confiabilidad del caudal: 42.80%
  Confiabilidad del volumen: 44.50%

Año 2015:
  Confiabilidad del caudal: 54.00%
  Confiabilidad del volumen: 55.90%

Año 2016:
  Confiabilidad del caudal: 16.80%
  Confiabilidad del volumen: 15.50%

Año 2017:
  Confiabilidad del caudal: 60.20%
  Confiabilidad del volumen: 60.40%

Año 2018:
  Confiabilidad del caudal: 32.80%
  Confiabilidad del volumen: 31.20%

Año 2019:
  Confiabilidad del caudal: 41.90%
  Confiabilidad del volumen: 38.60%
```

```
+ Código + Texto Conectar Colab AI
Año 2017:
  Confiabilidad del caudal: 60.20%
  Confiabilidad del volumen: 60.40%

Año 2018:
  Confiabilidad del caudal: 32.80%
  Confiabilidad del volumen: 31.20%

Año 2019:
  Confiabilidad del caudal: 41.90%
  Confiabilidad del volumen: 38.60%

Año 2020:
  Confiabilidad del caudal: 28.40%
  Confiabilidad del volumen: 23.30%

Año 2021:
  Confiabilidad del caudal: 54.90%
  Confiabilidad del volumen: 53.40%

Año 2022:
  Confiabilidad del caudal: 18.60%
  Confiabilidad del volumen: 13.80%

[ ] import pandas as pd
# Datos
```

ANEXO 11: Programa de Probabilidad de que la salida sea mayor que la entrada 2002-2022 por Monte Carlo

```
+ Código + Texto Conectar Colab AI
import random
import numpy as np

entrada = np.array([
    [2.729, 6.568, 7.407, 0.415, 1.148, 0.611, 0.380, 0.814, 0.832, 0.497, 0.738, 1.468],
    [0.745, 0.343, 0.449, 0.718, 0.708, 0.633, 0.662, 0.693, 0.623, 0.864, 0.152, 0.975],
    [2.302, 6.155, 5.245, 3.667, 1.306, 0.580, 0.621, 0.524, 0.625, 0.835, 0.701, 2.267],
    [2.346, 3.021, 1.515, 0.769, 0.670, 0.587, 0.447, 0.258, 0.522, 0.663, 0.346, 1.637],
    [3.738, 3.469, 4.236, 2.795, 0.942, 0.624, 0.445, 0.533, 0.555, 0.511, 0.609, 0.732],
    [2.043, 3.983, 3.414, 2.839, 1.476, 0.196, 0.150, 0.088, 0.335, 0.023, 0.000, 1.690],
    [2.147, 3.066, 2.412, 1.157, 0.675, 0.686, 0.532, 0.461, 0.344, 0.383, 0.299, 1.026],
    [5.382, 6.434, 6.831, 4.449, 1.682, 0.401, 0.468, 0.385, 0.299, 0.509, 1.495, 3.696],
    [6.255, 4.234, 1.639, 0.722, 1.434, 0.697, 0.316, 0.305, 0.401, 0.482, 0.336, 2.454],
    [5.320, 5.896, 4.166, 0.151, 0.844, 0.203, 0.219, 0.311, 0.182, 0.348, 0.317, 1.640],
    [3.767, 4.385, 5.296, 0.521, 0.601, 0.517, 0.394, 0.265, 0.415, 0.405, 0.944, 3.094],
    [4.498, 5.822, 0.248, 0.338, 1.138, 0.878, 0.543, 0.101, 0.104, 0.041, 0.001, 0.044],
    [1.176, 6.324, 7.851, 3.713, 1.503, 0.662, 0.597, 0.345, 0.161, 0.969, 0.057, 0.778],
    [2.090, 5.770, 7.469, 3.400, 4.730, 0.545, 0.177, 0.050, 0.000, 0.204, 0.826, 3.007],
    [2.615, 6.220, 4.830, 4.443, 1.209, 0.658, 0.289, 0.103, 0.091, 0.048, 0.062, 0.652],
    [6.753, 7.941, 0.806, 2.583, 1.706, 0.993, 0.651, 0.065, 0.110, 0.307, 0.818, 1.091],
    [7.298, 7.141, 6.664, 1.239, 0.841, 0.623, 0.450, 1.569, 0.998, 2.131, 1.551, 1.140],
    [4.928, 0.777, 6.803, 1.578, 1.993, 0.968, 0.548, 0.072, 0.155, 0.000, 2.002, 3.816],
    [4.046, 0.373, 2.674, 1.141, 1.854, 0.667, 0.110, 0.030, 0.014, 0.074, 0.126, 3.167],
    [0.750, 5.048, 7.929, 0.516, 1.750, 1.233, 0.675, 0.242, 0.255, 0.641, 0.752, 2.725],
    [6.831, 0.762, 3.519, 0.688, 1.255, 0.792, 0.302, 0.233, 0.076, 0.108, 0.055, 0.140]
])
```

```
+ Código + Texto Conectar Colab AI
])
salida = np.array([
    [0.602, 0.061, 0.071, 0.073, 0.761, 1.003, 0.915, 1.041, 1.101, 1.198, 1.172, 0.700],
    [0.084, 0.994, 1.169, 1.152, 0.893, 0.037, 1.111, 1.101, 1.328, 1.931, 2.000, 1.240],
    [0.876, 0.449, 0.481, 0.650, 1.210, 1.300, 1.201, 1.064, 1.788, 1.900, 1.750, 1.006],
    [0.167, 0.682, 0.771, 1.015, 1.098, 2.388, 2.287, 2.374, 1.035, 2.455, 2.712, 1.553],
    [0.437, 0.188, 0.165, 0.228, 1.757, 2.448, 2.510, 2.477, 2.587, 2.600, 1.253, 1.459],
    [0.273, 0.542, 0.156, 0.525, 0.740, 0.562, 1.361, 3.111, 2.857, 2.648, 2.472, 1.374],
    [0.353, 0.163, 0.143, 1.273, 2.500, 2.585, 2.923, 3.000, 3.130, 2.131, 2.762, 1.698],
    [0.532, 0.096, 0.792, 0.430, 2.356, 2.723, 2.947, 3.186, 3.493, 3.097, 2.455, 0.623],
    [0.058, 0.079, 1.226, 3.217, 2.459, 2.752, 3.068, 2.894, 2.814, 3.335, 3.790, 3.235],
    [0.079, 0.000, 0.041, 0.318, 1.259, 2.361, 2.552, 2.874, 2.620, 3.118, 2.403, 1.435],
    [0.534, 0.114, 0.016, 0.312, 0.710, 2.463, 2.421, 3.724, 2.947, 2.526, 2.692, 0.571],
    [0.185, 0.104, 0.002, 0.722, 2.945, 2.732, 2.924, 3.640, 3.815, 3.639, 3.130, 0.900],
    [0.210, 0.000, 0.000, 0.680, 1.926, 3.435, 3.513, 3.656, 3.000, 2.595, 3.350, 2.153],
    [0.153, 0.125, 0.000, 0.417, 1.918, 3.232, 3.582, 3.645, 4.625, 4.066, 3.140, 2.053],
    [1.021, 0.448, 0.398, 0.775, 2.304, 3.030, 3.290, 3.618, 4.083, 3.745, 4.392, 2.269],
    [0.629, 0.146, 0.000, 0.398, 1.057, 2.424, 3.534, 4.488, 4.542, 4.032, 4.774, 3.275],
    [0.702, 0.479, 0.000, 0.770, 2.120, 4.001, 4.131, 3.730, 4.921, 4.050, 5.578, 4.346],
    [1.408, 0.161, 0.000, 0.785, 2.187, 3.640, 4.417, 4.726, 4.621, 4.550, 5.050, 2.041],
    [0.748, 0.154, 0.461, 1.022, 2.274, 3.700, 3.914, 4.357, 4.375, 4.314, 3.831, 1.207],
    [0.407, 0.543, 0.354, 0.275, 1.973, 3.123, 3.789, 4.089, 4.550, 4.333, 4.067, 1.292],
    [1.062, 0.007, 0.040, 0.657, 2.212, 3.286, 3.928, 4.338, 4.713, 4.589, 4.813, 3.432]
])

def monte_carlo_simulation(entrada, salida, num_simulations=10000):
```

```
+ Código + Texto Conectar Colab AI
])
])

def monte_carlo_simulation(entrada, salida, num_simulations=10000):
    years, months = entrada.shape
    probab_exceed = []

    for year in range(years):
        count_exceed = 0
        for _ in range(num_simulations):
            random_month = np.random.randint(0, months)
            simulated_entrada = entrada[year, random_month]
            simulated_salida = salida[year, random_month]

            if simulated_salida > simulated_entrada:
                count_exceed += 1

        probab_exceed.append(count_exceed / num_simulations)

    return probab_exceed

risks = monte_carlo_simulation(entrada, salida)
for year, risk in enumerate(risks, start=2002):
    print(f"Probabilidad de que la salida sea mayor que la entrada para el año {year}: {risk:.2%}")
```

```
+ Código + Texto
return prop_exceed

risks = monte_carlo_simulation(entrada, salida)
for year, risk in enumerate(risks, start=2002):
    print(f"Probabilidad de que la salida sea mayor que la entrada para el año {year}: {risk:.2%}")
```

Probabilidad de que la salida sea mayor que la entrada para el año 2002: 49.64%
Probabilidad de que la salida sea mayor que la entrada para el año 2003: 100.00%
Probabilidad de que la salida sea mayor que la entrada para el año 2004: 49.99%
Probabilidad de que la salida sea mayor que la entrada para el año 2005: 66.90%
Probabilidad de que la salida sea mayor que la entrada para el año 2006: 66.67%
Probabilidad de que la salida sea mayor que la entrada para el año 2007: 49.97%
Probabilidad de que la salida sea mayor que la entrada para el año 2008: 75.71%
Probabilidad de que la salida sea mayor que la entrada para el año 2009: 58.44%
Probabilidad de que la salida sea mayor que la entrada para el año 2010: 74.88%
Probabilidad de que la salida sea mayor que la entrada para el año 2011: 66.71%
Probabilidad de que la salida sea mayor que la entrada para el año 2012: 59.13%
Probabilidad de que la salida sea mayor que la entrada para el año 2013: 75.31%
Probabilidad de que la salida sea mayor que la entrada para el año 2014: 66.67%
Probabilidad de que la salida sea mayor que la entrada para el año 2015: 50.25%
Probabilidad de que la salida sea mayor que la entrada para el año 2016: 66.12%
Probabilidad de que la salida sea mayor que la entrada para el año 2017: 57.96%
Probabilidad de que la salida sea mayor que la entrada para el año 2018: 66.15%
Probabilidad de que la salida sea mayor que la entrada para el año 2019: 59.18%
Probabilidad de que la salida sea mayor que la entrada para el año 2020: 58.09%
Probabilidad de que la salida sea mayor que la entrada para el año 2021: 57.73%
Probabilidad de que la salida sea mayor que la entrada para el año 2022: 66.35%

ANEXO 12: Programa de Pronóstico del Volumen en 10 años posteriores por Monte Carlo

```

+ Código + Texto
Conectar Colab AI
import numpy as np

# Tus datos
entrada = np.array([
    [2.729, 6.568, 7.487, 0.415, 1.148, 0.611, 0.380, 0.814, 0.832, 0.497, 0.738, 1.468],
    [0.745, 0.343, 0.449, 0.718, 0.708, 0.633, 0.662, 0.693, 0.623, 0.864, 0.152, 0.975],
    [2.302, 6.155, 5.245, 3.667, 1.306, 0.580, 0.621, 0.524, 0.625, 0.835, 0.701, 2.267],
    [2.346, 3.021, 1.515, 0.769, 0.670, 0.587, 0.447, 0.258, 0.522, 0.663, 0.346, 1.637],
    [3.738, 3.469, 4.236, 2.795, 0.942, 0.624, 0.445, 0.533, 0.555, 0.511, 0.609, 0.732],
    [2.043, 3.983, 3.414, 2.839, 1.476, 0.196, 0.150, 0.088, 0.335, 0.023, 0.000, 1.690],
    [2.147, 3.066, 2.412, 1.157, 0.675, 0.686, 0.532, 0.461, 0.344, 0.383, 0.299, 1.026],
    [5.382, 6.434, 6.831, 4.449, 1.082, 0.401, 0.468, 0.385, 0.299, 0.509, 1.495, 3.696],
    [6.255, 4.234, 1.639, 0.722, 1.434, 0.697, 0.316, 0.305, 0.401, 0.482, 0.336, 2.454],
    [5.328, 5.896, 4.166, 0.151, 0.844, 0.203, 0.219, 0.311, 0.182, 0.348, 0.317, 1.640],
    [3.767, 4.385, 5.296, 0.521, 0.661, 0.517, 0.394, 0.265, 0.415, 0.405, 0.944, 3.094],
    [4.496, 5.822, 0.248, 0.338, 1.138, 0.878, 0.543, 0.101, 0.104, 0.041, 0.001, 0.844],
    [1.176, 6.324, 7.851, 3.713, 1.503, 0.662, 0.597, 0.345, 0.161, 0.969, 0.057, 0.778],
    [2.098, 5.770, 7.469, 3.480, 4.730, 0.545, 0.177, 0.058, 0.000, 0.204, 0.826, 3.087],
    [2.615, 6.220, 4.830, 4.443, 1.299, 0.658, 0.289, 0.103, 0.091, 0.048, 0.062, 0.652],
    [6.753, 7.941, 9.886, 2.583, 1.706, 0.993, 0.651, 0.065, 0.110, 0.307, 0.818, 1.091],
    [7.298, 7.141, 6.664, 1.239, 0.841, 0.623, 0.450, 1.569, 0.990, 2.131, 1.551, 1.149],
    [4.928, 0.777, 6.003, 1.578, 1.993, 0.968, 0.548, 0.072, 0.155, 0.000, 2.002, 3.816],
    [4.946, 0.373, 2.674, 1.141, 1.854, 0.667, 0.110, 0.030, 0.014, 0.074, 0.126, 3.167],
    [8.750, 5.948, 7.929, 0.516, 1.750, 1.233, 0.675, 0.242, 0.255, 0.641, 0.752, 2.725],
    [6.831, 0.762, 3.519, 0.688, 1.255, 0.792, 0.302, 0.233, 0.076, 0.108, 0.055, 0.148]
])

```

```

+ Código + Texto
Conectar Colab AI
    ]
    ]
salida = np.array([
    [0.682, 0.061, 0.071, 0.073, 0.761, 1.003, 0.915, 1.041, 1.101, 1.198, 1.172, 0.708],
    [0.884, 0.994, 1.169, 1.152, 0.893, 0.837, 1.111, 1.101, 1.328, 1.931, 2.000, 1.248],
    [0.876, 0.449, 0.481, 0.658, 1.210, 1.380, 1.281, 1.864, 1.788, 1.900, 1.750, 1.006],
    [0.167, 0.682, 0.771, 1.015, 1.998, 2.388, 2.287, 2.374, 1.935, 2.455, 2.712, 1.553],
    [0.437, 0.188, 0.165, 0.228, 1.757, 2.448, 2.510, 2.477, 2.587, 2.600, 1.253, 1.459],
    [0.273, 0.542, 0.156, 0.525, 0.748, 0.562, 1.361, 3.111, 2.857, 2.648, 2.472, 1.374],
    [0.353, 0.163, 0.143, 1.273, 2.500, 2.585, 2.923, 3.000, 3.130, 2.131, 2.762, 1.698],
    [0.532, 0.096, 0.792, 0.430, 2.356, 2.723, 2.947, 3.186, 3.493, 3.097, 2.455, 0.623],
    [0.058, 0.079, 1.226, 3.217, 2.459, 2.752, 3.068, 2.894, 2.814, 3.335, 3.790, 3.235],
    [0.079, 0.000, 0.041, 0.318, 1.259, 2.361, 2.552, 2.874, 2.620, 3.118, 2.403, 1.435],
    [0.534, 0.114, 0.016, 0.312, 0.710, 2.463, 2.421, 3.724, 2.947, 2.526, 2.692, 0.571],
    [0.185, 0.104, 0.002, 0.722, 2.945, 2.732, 2.924, 3.640, 3.815, 3.639, 3.130, 0.900],
    [0.210, 0.000, 0.000, 0.680, 1.926, 3.435, 3.513, 3.656, 3.080, 2.595, 3.350, 2.153],
    [0.153, 0.125, 0.000, 0.417, 1.918, 3.232, 3.582, 3.645, 4.625, 4.066, 3.140, 2.053],
    [1.021, 0.448, 0.398, 0.775, 2.304, 3.030, 3.290, 3.610, 4.003, 3.745, 4.392, 2.269],
    [0.629, 0.146, 0.000, 0.398, 1.057, 2.424, 3.534, 4.488, 4.542, 4.032, 4.774, 3.275],
    [0.782, 0.479, 0.000, 0.770, 2.128, 4.001, 4.131, 3.738, 4.921, 4.850, 5.578, 4.346],
    [1.408, 0.161, 0.000, 0.785, 2.187, 3.640, 4.417, 4.726, 4.621, 4.550, 5.050, 2.041],
    [0.740, 0.154, 0.461, 1.022, 2.274, 3.700, 3.914, 4.357, 4.375, 4.314, 3.831, 1.207],
    [0.407, 0.543, 0.354, 0.275, 1.973, 3.123, 3.789, 4.009, 4.550, 4.333, 4.067, 1.292],
    [1.062, 0.007, 0.040, 0.657, 2.212, 3.286, 3.928, 4.338, 4.713, 4.589, 4.813, 3.432]
])

def monte_carlo_risk(entrada, salida, num_simulations=10000):

```

```

+ Código + Texto
Conectar Colab AI
    [0.407, 0.543, 0.354, 0.275, 1.973, 3.123, 3.789, 4.009, 4.550, 4.333, 4.067, 1.292],
    [1.062, 0.007, 0.040, 0.657, 2.212, 3.286, 3.928, 4.338, 4.713, 4.589, 4.813, 3.432]
])

def monte_carlo_risk(entrada, salida, num_simulations=10000):
    years, months = entrada.shape

    # Verifica que tienes al menos 10 años de datos
    if years < 10:
        print("No tienes suficientes años de datos para la simulación.")
        return

    risk_results = []

    for year in range(10): # Solo para 10 años
        deficit_count = 0
        for month in range(months):
            for _ in range(num_simulations):
                simulated_entrada = np.random.choice(entrada[year])
                simulated_salida = np.random.choice(salida[year])

                if simulated_salida > simulated_entrada:
                    deficit_count += 1

    risk_percentage = (deficit_count / (months * num_simulations)) * 100
    risk_results.append(risk_percentage)

```

```
+ Código + Texto Conectar Colab AI  
  
if simulated_salida > simulated_entrada:  
    deficit_count += 1  
  
    risk_percentage = (deficit_count / (months * num_simulations)) * 100  
    risk_results.append(risk_percentage)  
  
return risk_results  
  
risks = monte_carlo_risk(entrada, salida)  
start_year = 2023  
  
for i, risk in enumerate(risks):  
    print(f"Porcentaje de riesgo de déficit para el año {start_year + i}: {risk:.2f}% (basado en simulaciones)")  
  
Porcentaje de riesgo de déficit para el año 2023: 39.54% (basado en simulaciones)  
Porcentaje de riesgo de déficit para el año 2024: 97.17% (basado en simulaciones)  
Porcentaje de riesgo de déficit para el año 2025: 43.69% (basado en simulaciones)  
Porcentaje de riesgo de déficit para el año 2026: 73.61% (basado en simulaciones)  
Porcentaje de riesgo de déficit para el año 2027: 44.38% (basado en simulaciones)  
Porcentaje de riesgo de déficit para el año 2028: 57.75% (basado en simulaciones)  
Porcentaje de riesgo de déficit para el año 2029: 65.94% (basado en simulaciones)  
Porcentaje de riesgo de déficit para el año 2030: 46.70% (basado en simulaciones)  
Porcentaje de riesgo de déficit para el año 2031: 67.23% (basado en simulaciones)  
Porcentaje de riesgo de déficit para el año 2032: 52.60% (basado en simulaciones)
```



ACTA N° 022-2024-FIMGC: ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA CIVIL

En la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga de la ciudad de Ayacucho, en cumplimiento a la **Resolución Decanal N° 218-2024-FIMGC-D**, a los diecinueve días del mes de marzo de 2024, siendo las 06:00 p.m, reunidos en el Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, bajo la presidencia del M.Sc. Ing. José Ernesto ESTRADA CÁRDENAS Decano de la FIMGC y los miembros; M.g. Edward LEÓN PALACIOS, M.Sc. Ing. Edwin Carlos GARCÍA SAEZ, M.Sc. Ing. Jaime Leonardo BENDEZÚ PRADO, actuando como secretario docente el M.Sc. Kelvis Ing. BERROCAL ARGUMEDO, para proceder a la sustentación de tesis para optar el Título Profesional de Ingeniera Civil, del bachiller en Ciencias de la Ingeniería Civil:

Maria Purina Roca De la Cruz

Quien presentó la tesis denominada:

“Mejora del balance hídrico mediante la implementación de técnicas de optimización fundamentadas en bases de datos hidráulicas en la presa Cuchoquesera provincia de Cangallo, departamento de Ayacucho, 2023”

Los señores miembros del jurado luego de expuesto la tesis y absueltas las preguntas, delibera y lo declaran:

APROBADO CON NOTA CATORCE (14)

Siendo las 7:20 p.m. del día 19 de marzo de 2024, culmina el acto de sustentación de tesis, y en conformidad a lo actuado los miembros del jurado firmamos al pie del presente.

M.Sc. Ing. José Ernesto ESTRADA
CÁRDENAS
Presidente

M.Sc. Ing. Edwin Carlos GARCÍA
SAEZ Miembro

M.g Ing. Edward LEÓN
PALACIOS
Miembro

M.Sc. Ing. Jaime Leonardo BENDEZÚ
PRADO
Miembro

M.Sc. Ing. Kelvis BERROCAL
ARGUMEDO
Secretario docente de la FIMGC

“Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTANCIA N° 105-2024-FIMGC/ASIH

El que suscribe; responsable verificador de originalidad de trabajos de tesis de pregrado con el software Turnitin, de la Escuelas Profesional de **Ingeniería Civil** de la **Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil**; en cumplimiento a la **Resolución de Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU**, Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga y **Resolución Decanal N° 476-2023-FIMGC-UNSCH-D**, deja constancia de originalidad de trabajo de investigación, que el/la Sr./Srta.

Apellidos y Nombres : Maria Purina Roca De la cruz
Escuela Profesional : Ingeniería Civil
Título de la Tesis : “Mejora del balance hídrico mediante la implementación de técnicas de optimización fundamentadas en bases de datos hidráulicas en la presa Cuchoquesera provincia de Cangallo, departamento de Ayacucho, 2023”
Evaluación de la Originalidad : 13 % Índice de Similitud
Identificador de la entrega : 2412485479

Por tanto, según los Artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, es **PROCEDENTE** otorgar la **Constancia de Originalidad** para los fines que crea conveniente.

En señal de conformidad y verificación se firma la presente constancia

Ayacucho, 04 de julio del 2024



UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil

Verificador de Originalidad de Trabajos de Tesis de Pregrado
Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Civil

“Mejora del balance hídrico
mediante la implementación de
técnicas de optimización
fundamentadas en bases de datos
hidráulicas en la presa
Cuchoquesera provincia de
Cangallo, departamento de
Ayacucho, 2023”

por Maria Purina Roca De la Cruz

Fecha de entrega: 04-jul-2024 08:57a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2412485479

Nombre del archivo: TESIS_MARIA_PURINA_ROCA.pdf (10.37M)

Total de palabras: 26586

Total de caracteres: 145804

“Mejora del balance hídrico mediante la implementación de técnicas de optimización fundamentadas en bases de datos hidráulicas en la presa Cuchoquesera provincia de Cangallo, departamento de Ayacucho, 2023”

INFORME DE ORIGINALIDAD

13%

INDICE DE SIMILITUD

11%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	4%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
3	docplayer.es Fuente de Internet	2%
4	www.ibm.com Fuente de Internet	1%
5	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	<1%

8	repositorio.unican.es Fuente de Internet	<1 %
9	assets.researchsquare.com Fuente de Internet	<1 %
10	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
11	nanopdf.com Fuente de Internet	<1 %
12	purl.org Fuente de Internet	<1 %
13	livrosdeamor.com.br Fuente de Internet	<1 %
14	Submitted to Universidad del Istmo de Panamá Trabajo del estudiante	<1 %
15	www.buenastareas.com Fuente de Internet	<1 %
16	repositorio.upagu.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
17	riunet.upv.es Fuente de Internet	<1 %
18	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
19	www.master-finanzas-cuantitativas.com	

Fuente de Internet

<1 %

20

repositorio.espe.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

21

KLOHN CRIPPEN BERGER S.A.. "MEIA del Proyecto Minero Antamina por Incremento de Reservas y Optimización del Plan de Minado.- IGA0013037", R.D. N° 054-2011-MEM-AAM , 2021

Publicación

<1 %

22

revistaenergia.cenace.org.ec

Fuente de Internet

<1 %

23

www.leedeo.es

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo