

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**TEMPERATURA, PRECIPITACIÓN Y SU INFLUENCIA CON LA SUPERFICIE DE
LA LAGUNA HUAYLLUMAYU, ESPINAR - CUSCO DEL 2015 al 2024**

PRESENTADA POR:

WIDMER ORLANDO PALLI LIPA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PUNO – PERÚ

2026



Repositorio Institucional ALCIRA by [Universidad Privada San Carlos](https://www.upsc.edu.pe/) is licensed under a [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



3.28%

SIMILARITY OVERALL

SCANNED ON: 14 APR 2026, 9:42 AM

Originality & Authorship Report

Your text is highlighted according to the matched content in the results above.

● IDENTICAL
1.06%

● CHANGED TEXT
2.21%

Report #32466041

WIDMER ORLANDO PALLI LIPA // TEMPERATURA, PRECIPITACIÓN Y SU INFLUENCIA C
ON LA SUPERFICIE DE LA LAGUNA HUAYLLUMAYU, ESPINAR - CUSCO DEL 2015 al
2024 RESUMEN La presente investigación tuvo como objetivo determinar la
influencia de la temperatura y la precipitación en la superficie de la
laguna Huayllumayu, ubicada en la provincia de Espinar - Cusco (2015 -
2024). La muestra estuvo constituida por 120 registros mensuales, obtenidos
de imágenes satelitales Landsat procesadas mediante el índice NDWI, así
como datos de temperatura promedio y precipitación acumulada procedentes de
registros meteorológicos. Como resultados se evidenció que existe una
relación inversa, fuerte y estadísticamente significativa entre la temperatura
promedio y la superficie de la laguna Huayllumayu, con un coeficiente de
correlación de Pearson de $r = -0,620$ ($p < 0,01$). Asimismo, el análisis d
e tendencias mostró una disminución progresiva de la superficie expresada
por la ecuación $y = -0,6353x + 36\ 358$, mientras que la temperatura prese
ntó una tendencia creciente descrita por la ecuación $y = 0,0009x + 4,0175$,
lo que evidencia el efecto negativo del incremento térmico sobre el
espejo de agua. La precipitación acumulada presenta una relación directa,
positiva y estadísticamente significativa con la superficie de la laguna,
aunque de intensidad baja a moderada ($r = 0,305$; $p < 0,01$). La tendenc
ia de la precipitación se describió mediante la ecuación $y = -0,0009$
 $x + 59,318$, mientras que la superficie mantuvo la misma tendencia decrecient

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS
FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
TESIS

**TEMPERATURA, PRECIPITACIÓN Y SU INFLUENCIA CON LA SUPERFICIE DE
LA LAGUNA HUAYLLUMAYU, ESPINAR - CUSCO DEL 2015 al 2024**

PRESENTADA POR:

WIDMER ORLANDO PALLI LIPA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

: 
Dra. MARLENE CUSI MONTESINOS


PRIMER MIEMBRO

: 
Mg. JULIÓ WILFREDO CANO OJEDA

SEGUNDO MIEMBRO

: 
M.Sc. KORINA ASQUI GOMEZ

ASESOR DE TESIS

: 
Mg. LUIS ALBERTH ROSSEL BERNEDO

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería Ambiental

Línea de investigación: Ciencias Ambientales

Puno, 16 de abril del 2026.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia, cuyo apoyo incondicional ha sido la base fundamental para alcanzar este logro académico. A mis padres, por su ejemplo constante de responsabilidad, disciplina y honestidad, valores que han guiado cada etapa de mi formación profesional y personal. Su confianza en mis capacidades, incluso en los momentos de mayor dificultad, me brindó la fortaleza necesaria para continuar avanzando con firmeza.

A mis hermanos y demás seres queridos, quienes con palabras de aliento, comprensión y paciencia acompañaron este proceso, agradezco profundamente su presencia y motivación permanente. Cada gesto, cada sacrificio y cada muestra de cariño han sido esenciales para culminar este camino.

A todos ellos, dedico este trabajo como muestra de gratitud y reconocimiento por ser mi mayor impulso y por compartir conmigo la convicción de que el esfuerzo y la perseverancia permiten alcanzar metas significativas.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Privada San Carlos, institución que me abrió sus puertas y me brindó una formación profesional integral, orientada al desarrollo sostenible y al progreso de nuestra región. Su compromiso con la excelencia académica ha sido fundamental para mi crecimiento personal y profesional.

A la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, por proporcionarme las herramientas, conocimientos y valores necesarios para comprender y enfrentar los desafíos ambientales de nuestro entorno. Cada curso, cada experiencia y cada espacio de aprendizaje contribuyeron significativamente a la consolidación de esta etapa formativa.

A los distinguidos miembros del jurado calificador,

- Dra. Marlene Cusi Montesinos,
- Mg. Julio Wilfredo Cano Ojeda,
- M.Sc. Korina Asqui Gomez,

a quienes expreso mi reconocimiento por ser parte esencial de esta investigación. Su tiempo, dedicación y rigurosidad académica han permitido enriquecer y fortalecer este trabajo, aportando orientaciones valiosas para su adecuada culminación.

A mi asesor, Mg. Luis Alberth Rossel Bernedo, por su constante apoyo, guía y compromiso durante todo el proceso de elaboración de esta tesis. Su paciencia, experiencia profesional y orientación metodológica fueron determinantes para lograr un trabajo sólido y coherente, así como para mantener la motivación necesaria en cada etapa de la investigación.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ANEXOS	8
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
INTRODUCCIÓN	11

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.1.1. PROBLEMA GENERAL.	14
1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.	14
1.2. ANTECEDENTES	15
1.2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES.	15
1.2.2. ANTECEDENTES NACIONALES.	16
1.2.3. ANTECEDENTES LOCALES.	17
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.	20
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	20

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO	21
2.1.1 CAMBIO CLIMÁTICO Y VARIABILIDAD CLIMÁTICA	21

2.1.2. TEMPERATURA	22
2.1.3. PRECIPITACIÓN	22
2.1.4. HIDROLOGÍA LACUSTRE	22
2.1.5. TELEDETECCIÓN APLICADA AL MONITOREO DE CUERPOS DE AGUA	23
2.1.6. ÍNDICE NDWI PARA DETECCIÓN DE SUPERFICIES DE AGUA	24
2.1.7. IMPORTANCIA ECOLÓGICA Y SOCIOAMBIENTAL DE LAS LAGUNAS ALTOANDINAS	25
2.2. MARCO CONCEPTUAL	26
2.3. MARCO NORMATIVO	28
2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	29
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL.	29
2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	29
CAPÍTULO III	
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	
3.1. ZONA DE ESTUDIO	30
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	31
3.2.1. POBLACIÓN.	31
3.2.2. MUESTRA.	32
3.3. MÉTODOS Y MATERIALES	33
3.3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	33
3.3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.	33
3.3.3. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	33
3.3.4. TÉCNICAS.	33
3.4. METODOLOGÍA POR OBJETIVOS ESPECÍFICOS	34
3.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	36
3.6. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO	36

CAPÍTULO IV

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DE LA RELACIÓN ENTRE LAS VARIACIONES DE TEMPERATURA Y LOS CAMBIOS EN LA SUPERFICIE DE LA LAGUNA HUAYLLUMAYU, ESPINAR - CUSCO, EN EL PERIODO 2015 AL 2024.	38
4.2. ANÁLISIS DE LA RELACIÓN ENTRE LAS VARIACIONES DE PRECIPITACIÓN Y LOS CAMBIOS EN LA SUPERFICIE DE LA LAGUNA HUAYLLUMAYU, ESPINAR - CUSCO, EN EL PERIODO 2015 AL 2024.	42
4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.	45
4.4. PROCESO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS.	48
4.4.1. DE LA HIPÓTESIS GENERAL	48
4.4.2. DE LA PRIMERA HIPÓTESIS ESPECÍFICA	49
4.4.3. DE LA SEGUNDA HIPÓTESIS ESPECÍFICA	51
CONCLUSIONES	53
RECOMENDACIONES	54
BIBLIOGRAFÍA	55
ANEXOS	60

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 01: Operacionalización de variables.	36
Tabla 02: Resumen descriptivo de las variaciones de la temperatura y superficie, del 2015 - 2024.	38
Tabla 03: Resumen descriptivo de las variaciones de la precipitación y superficie, del 2015 - 2024.	42
Tabla 04: Matriz de correlación entre la temperatura y la superficie.	50
Tabla 05: Matriz de correlación entre la precipitación y la superficie.	51

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01: Importancia de los ecosistemas andinos.	26
Figura 02: Ubicación del distrito de Espinar en el departamento de Cusco.	31
Figura 03: Imagen satelital de la Laguna Huayllumayu.	32
Figura 04: Variaciones de las temperaturas versus superficie en la laguna Huayllumayu y sus tendencias respectivas.	40
Figura 05: Variaciones de la precipitación versus superficie en la laguna Huayllumayu y sus tendencias respectivas.	44

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 01: Matriz de consistencia de la investigación.	61
Anexo 02: Tabulación de datos, de superficie, precipitación y temperatura.	62
Anexo 03: Determinación de la zona de estudio para las descargas de las imágenes entre el periodo del 2014 al 2024.	66
Anexo 04: Determinación del tipo de imágenes a descargar.	67

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar la influencia de la temperatura y la precipitación en la superficie de la laguna Huayllumayu, ubicada en la provincia de Espinar - Cusco (2015 - 2024). La muestra estuvo constituida por 120 registros mensuales, obtenidos de imágenes satelitales Landsat procesadas mediante el índice NDWI, así como datos de temperatura promedio y precipitación acumulada procedentes de registros meteorológicos. Como resultados se evidenció que existe una relación inversa, fuerte y estadísticamente significativa entre la temperatura promedio y la superficie de la laguna Huayllumayu, con un coeficiente de correlación de Pearson de $r = -0,620$ ($p < 0,01$). Asimismo, el análisis de tendencias mostró una disminución progresiva de la superficie expresada por la ecuación $y = -0,6353x + 36\ 358$, mientras que la temperatura presentó una tendencia creciente descrita por la ecuación $y = 0,0009x + 4,0175$, lo que evidencia el efecto negativo del incremento térmico sobre el espejo de agua. La precipitación acumulada presenta una relación directa, positiva y estadísticamente significativa con la superficie de la laguna, aunque de intensidad baja a moderada ($r = 0,305$; $p < 0,01$). La tendencia de la precipitación se describió mediante la ecuación $y = -0,0009x + 59,318$, mientras que la superficie mantuvo la misma tendencia decreciente ($y = -0,6353x + 36\ 358$), indicando que, si bien las lluvias contribuyen a la recuperación parcial del espejo de agua, su efecto no logra contrarrestar completamente la tendencia de reducción superficial. Se concluye que la temperatura y la precipitación influyen de manera significativa en la superficie de la laguna, observándose una tendencia general de reducción del espejo de agua, donde la temperatura ejerce una influencia negativa predominante, mientras que la precipitación actúa como un factor compensador de menor intensidad.

Palabras clave: Cambio climático, Huayllumayu, Imágenes satelitales, Precipitación, Temperatura.

ABSTRACT

This research aimed to determine the influence of temperature and precipitation on the surface of Huayllumayu Lagoon, located in the province of Espinar, Cusco (2015-2024). The sample consisted of 120 monthly records obtained from Landsat satellite images processed using the NDWI index, as well as average temperature and accumulated precipitation data from meteorological records. The results showed a strong and statistically significant inverse relationship between average temperature and the surface area of Huayllumayu Lagoon, with a Pearson correlation coefficient of $r = -0.620$ ($p < 0.01$). Furthermore, trend analysis showed a progressive decrease in surface area, expressed by the equation $y = -0.6353x + 36358$, while temperature exhibited an increasing trend described by the equation $y = 0.0009x + 4.0175$, demonstrating the negative effect of the temperature increase on the water surface area. Accumulated precipitation showed a direct, positive, and statistically significant relationship with the lagoon's surface area, although of low to moderate intensity ($r = 0.305$; $p < 0.01$). The precipitation trend was described by the equation $y = -0.0009x + 59.318$, while the surface area maintained the same decreasing trend ($y = -0.6353x + 36358$), indicating that, although rainfall contributes to the partial recovery of the water surface area, its effect does not completely counteract the trend of surface area reduction. It is concluded that temperature and precipitation significantly influence the surface area of the lagoon, with a general trend of decreasing water volume observed. Temperature exerts a predominantly negative influence, while precipitation acts as a less intense compensatory factor.

Keywords: Climate change, Huayllumayu, Satellite images, Precipitation, Temperature

INTRODUCCIÓN

El análisis de los efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos altoandinos constituye una prioridad para la gestión ambiental y el desarrollo sostenible de las comunidades que dependen directamente de ellos. En este contexto, el presente estudio permitirá identificar y analizar científicamente la relación entre las variables climáticas, específicamente la temperatura y la precipitación, y los cambios en la superficie de la laguna durante el periodo comprendido entre los años 2014 y 2024. La recopilación de datos históricos y el análisis multitemporal proporcionarán una base técnica sólida y confiable, que podrá ser utilizada por autoridades locales, instituciones académicas y organismos dedicados a la gestión ambiental en la formulación de planes de monitoreo, estrategias de manejo hídrico y acciones de adaptación frente a los efectos del cambio climático.

La investigación reviste especial importancia para las comunidades asentadas en los alrededores de la laguna, cuya vida cotidiana, actividades productivas y abastecimiento doméstico dependen en gran medida del agua que ésta provee. Comprender cómo las variaciones climáticas, tanto en temperatura como en precipitación, influyen en la disponibilidad del recurso hídrico permitirá sensibilizar a la población sobre los riesgos asociados al cambio climático. Asimismo, contribuirá a fomentar una cultura de conservación, uso racional del agua y participación comunitaria en la vigilancia y protección del entorno natural.

El estudio adquiere un valor significativo al considerar que la laguna Huayllumayu forma parte de un ecosistema altoandino frágil y estratégico. Las lagunas de altura cumplen funciones esenciales como reservorios de biodiversidad, reguladoras del ciclo hidrológico y fuentes críticas de agua durante épocas de estiaje. La disminución o deterioro de su superficie, inducida por variaciones climáticas, representa una amenaza directa a estos servicios ecosistémicos y, por ende, al bienestar de las poblaciones que dependen de ellos. En este sentido, generar evidencia científica que explique la relación entre el clima y la dinámica superficial de la laguna resulta fundamental para sustentar políticas de

protección de ecosistemas acuáticos, fortalecer la gestión territorial y promover acciones de mitigación y adaptación ambiental.

Con el fin de presentar de manera ordenada y coherente los elementos de la investigación, el desarrollo del presente documento se ha estructurado en los siguientes capítulos:

- Capítulo I: Se expone el planteamiento del problema, acompañado de información relevante relacionada con la investigación. Asimismo, se presentan los antecedentes a nivel internacional, nacional y local, para finalmente establecer los objetivos del estudio.
- Capítulo II: Se desarrolla el sustento conceptual y teórico que fundamenta la investigación, incluyendo el marco teórico, el marco conceptual y la normatividad nacional vigente. Al término del capítulo se formulan las hipótesis del trabajo.
- Capítulo III: Se describe la metodología empleada en la investigación, detallando la zona de estudio, la población y la muestra, así como los procedimientos estadísticos utilizados.
- Capítulo IV: Se presentan los resultados obtenidos, acompañados del análisis e interpretación correspondiente. Finalmente, se exponen las conclusiones del estudio y se plantean recomendaciones derivadas de la experiencia investigativa y de la evidencia generada.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, el planeta continúa enfrentando los efectos cada vez más evidentes del cambio climático global, considerado por la comunidad científica como una de las mayores amenazas para la estabilidad ambiental y el bienestar humano. Los informes recientes del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCCC, 2025) señalan que la temperatura promedio del planeta ha aumentado aproximadamente 1,3 °C respecto a los niveles preindustriales, generando profundas alteraciones en los sistemas climáticos, hidrológicos y ecológicos del mundo (United Nations, 2025).

En el contexto latinoamericano, esta problemática es particularmente crítica en los Andes, donde la mayoría de los sistemas hídricos dependen de precipitaciones estacionales y del derretimiento de glaciares (CEPAL, 2017). Países como Perú, Bolivia, Ecuador y Colombia enfrentan desafíos significativos por la disminución de reservas de agua dulce, asociadas al retroceso glaciar y a la variabilidad climática. Esta situación compromete la sostenibilidad de comunidades rurales, sistemas agropecuarios y abastecimiento de agua en ciudades intermedias (Ibarra & Belmonte, 2017).

A nivel nacional, el Perú experimenta un escenario complejo frente al cambio climático. Según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), se ha identificado un incremento progresivo en las temperaturas promedio, así como una creciente irregularidad en los patrones de precipitación (Chirinos, 2021). Estas alteraciones afectan la estabilidad de ecosistemas acuáticos, como lagunas altoandinas, muchas de las

cuales han reducido significativamente su superficie en la última década. Esta situación representa una amenaza directa a la seguridad hídrica, biodiversidad y actividades económicas que dependen del agua, como la agricultura y la ganadería (MEF, 2019).

En el ámbito local, el distrito de Espinar, ubicado en la región Cusco, no es ajeno a esta problemática. La laguna Huayllumayu, un cuerpo de agua emblemático del área, ha mostrado cambios en su superficie en los últimos años, los cuales coinciden con variaciones climáticas reportadas en la zona (Castro & Tapia, 2023). La población local ha percibido una disminución paulatina en el volumen de agua, lo que ha generado inquietudes respecto a la disponibilidad futura del recurso. Sin embargo, no existen estudios concluyentes que analicen con rigurosidad científica la influencia que ejercen la temperatura y la precipitación sobre la superficie de esta laguna. La falta de información técnica limita la implementación de políticas de adaptación y conservación de ecosistemas hídricos en la provincia.

En este contexto, surge la necesidad de investigar de forma específica la influencia que ejercen las variables climáticas de temperatura y precipitación en la superficie de la laguna Huayllumayu, en Espinar – Cusco, durante el periodo 2014 al 2024, con el fin de contribuir al conocimiento científico y brindar herramientas que orienten la gestión sostenible del recurso hídrico en el contexto del cambio climático.

1.1.1. PROBLEMA GENERAL.

¿Cuál es la influencia de la temperatura y precipitación en la superficie de la laguna Huayllumayu, Espinar - Cusco, en el periodo 2015 al 2024?

1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.

- ¿Qué relación existe entre las variaciones de temperatura y los cambios en la superficie de la laguna Huayllumayu, Espinar - Cusco, en el periodo 2015 al 2024?
- ¿Qué relación existe entre las variaciones de precipitación y los cambios en la superficie de la laguna Huayllumayu, Espinar - Cusco, en el periodo 2015 al 2024?

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES.

Gonzales (2021), ha realizado diversas investigaciones donde han destacado la importancia de los lagos en la regulación climática y en el sostenimiento de la biodiversidad regional. En Michoacán, los cuerpos de agua de Cuitzeo, Pátzcuaro y Zirahuén representan ecosistemas estratégicos tanto por su valor ecológico como por su función socioeconómica. Un estudio reciente analizó la evolución de estos lagos mediante técnicas de teledetección y sistemas de información geográfica, con el propósito de caracterizar las transformaciones ocurridas entre 1993 y 2019 y su vínculo con variables ambientales como la temperatura, la evapotranspiración, el grado de aridez y la cobertura vegetal circundante. Los resultados revelaron una marcada reducción en la extensión de Cuitzeo (85%) y Pátzcuaro (25%), mientras que Zirahuén mostró un comportamiento más favorable, con un incremento del 16% en su superficie. Asimismo, las temperaturas medias registradas 18.8 °C en Cuitzeo, 16.9 °C en Pátzcuaro y 16.6 °C en Zirahuén explican los niveles de evapotranspiración estimados para cada uno de ellos.

Vizueté (2025), viendo que en la Amazonía ecuatoriana, la laguna de Limoncocha representa un ecosistema fundamental cuya estabilidad se ha visto comprometida por los efectos del cambio climático, realizó una investigación realizada entre 2013 y 2024 analizó las transformaciones de su superficie hídrica mediante un enfoque metodológico mixto, utilizando imágenes satelitales Landsat procesadas en QGIS 3.34.9 y diversos índices espectrales para evaluar los cambios ocurridos en el espejo de agua. Además, se aplicó el modelo econométrico ARIMA para estimar la evolución futura de este cuerpo lacustre. Los resultados evidenciaron fluctuaciones notorias, especialmente en 2017, cuando el área de la laguna se redujo a 163,2 hectáreas, y en 2021, donde disminuyó aún más hasta 132,0 hectáreas. Asimismo, las proyecciones del modelo ARIMA señalaron un valor medio estimado de 196.662,9 hectáreas para los próximos cinco años, aunque acompañado de una considerable incertidumbre. Estas variaciones ponen de manifiesto la vulnerabilidad del ecosistema frente al calentamiento global, resaltando la

urgencia de implementar estrategias de monitoreo continuo y acciones de conservación que permitan asegurar la sostenibilidad de este sistema tropical esencial para la biodiversidad regional.

1.2.2. ANTECEDENTES NACIONALES.

Carrillo (2022), en una investigación centrada en la laguna Parón, situada en la Cordillera Blanca, examinó durante 17 años (2003 - 2020) la influencia de las temperaturas máximas, mínimas y las precipitaciones sobre la variación de su superficie. Para ello se aplicó el índice NDWI en la delimitación del espejo de agua y se utilizó la regresión lineal para evaluar el nivel de dependencia entre las variables. Los resultados mostraron que la laguna experimentó una expansión del 8% en su superficie, lo cual contrasta con estudios previos como el de Emmer et al. (2016) que sugerían la persistencia prolongada de los lagos glaciares sin cambios significativos. Asimismo, se identificó que la relación entre la temperatura máxima y la precipitación es directa pero presenta una dependencia mínima del 1%, mientras que el vínculo entre la precipitación y la superficie de la laguna también es directo, con una dependencia baja del 4%. Estos hallazgos evidencian que, aunque las variables climáticas influyen sobre la dinámica del lago, su efecto estadístico resulta leve en el área inmediata de Parón.

Cruz (2023), aplicó el algoritmo Random Forest para la clasificación de coberturas y la identificación precisa de cuerpos hídricos, apoyándose además en los índices NDWI y NDVI, procesados mediante Google Earth Engine. Para examinar las tendencias y relaciones climáticas, se utilizaron el test Mann–Kendall y pruebas de correlación con variables como la precipitación y la temperatura. Los resultados demostraron la alta eficacia del modelo Random Forest, reflejada en un coeficiente Kappa de 1, que indica una coincidencia prácticamente perfecta en la clasificación. El análisis de tendencias reveló un valor $Z = -0.338$, correspondiente a una reducción anual de -0.013 km^2 en la extensión superficial de la laguna. Asimismo, la correlación entre la precipitación y el área del espejo de agua fue baja ($r = 0.38$), mientras que las temperaturas presentaron una correlación inversa débil, influyendo moderadamente en la disminución del cuerpo

lagunar. En síntesis, el estudio evidencia que la reducción de la superficie de la laguna Chacas está asociada principalmente a la variabilidad de las precipitaciones, mientras que la temperatura actúa como un factor modulador en este proceso..

Eraso (2024), examinó cómo varía el nivel del espejo de agua de la laguna Lasuntay frente a los eventos climáticos de El Niño (2015) y La Niña (2020) dentro del Área de Conservación Regional Huaytapallana. Para ello se emplearon imágenes satelitales Sentinel-2, procesadas mediante una clasificación supervisada con el algoritmo Random Forest. Asimismo, se aplicó la correlación de Pearson para evaluar la relación entre los indicadores macroclimáticos del fenómeno ENSO y el comportamiento hidrológico de la laguna. Los resultados evidenciaron que el episodio cálido de El Niño no generó alteraciones significativas en la lámina de agua de Lasuntay. En contraste, la fase fría La Niña produjo variaciones notorias en la extensión del lago, registrándose un promedio de 21.34 hectáreas, con valores fluctuantes entre 20.91 y 21.88 hectáreas. Esto demuestra que La Niña ejerce una influencia marcada sobre las fluctuaciones del nivel del agua, y El Niño no presenta un efecto relevante en este ecosistema altoandino.

1.2.3. ANTECEDENTES LOCALES.

Ochoa y Jerson (2021), examinaron la variabilidad espacial y temporal de la sequía meteorológica en el lago Titicaca. Para ello se consideraron cinco estaciones meteorológicas como muestra: Puno, Juli, Desaguadero, Ilave y Yunguyo, evaluando principalmente las variables de precipitación y temperatura. Los resultados indicaron que, en términos de precipitación, las estaciones de Puno y Juli registraron incrementos de 0,18% y 5,53%, respectivamente, mientras que Desaguadero disminuyó en 0,74%, Ilave en 1,52% y Yunguyo en 5,53%. En cuanto a la temperatura, las estaciones de Puno y Yunguyo evidenciaron una disminución de 0,012% y 0,009%, respectivamente; en contraste, Desaguadero mostró un leve aumento de 0,003%, Ilave de 0,008% y Juli de 0,003%. Estos hallazgos reflejan la presencia de variaciones heterogéneas tanto en precipitación como en temperatura, demostrando que la sequía meteorológica en la región presenta un comportamiento espacial y temporal diferenciado.

Flores et al. (2021), evaluaron cómo los factores climáticos afectan la regionalización de las precipitaciones máximas de 24 horas. Para ello se consideraron datos provenientes de 29 estaciones meteorológicas, aplicaron modelos de regresión lineal y no lineal, distribuciones estadísticas Log Normal de tres parámetros y Log Gumbel, así como análisis de zonas homogéneas mediante métodos de clúster, y se calcularon periodos de retorno utilizando máxima verosimilitud. Los resultados indicaron que las distribuciones Log Normal 3 parámetros y Log Gumbel presentaron el mejor ajuste. El modelo regional de regresión mostró $r^2 = 0,388$, con un estadístico Durbin-Watson de 0,5456, confirmando que la regresión no era espuria. Se identificaron cinco zonas homogéneas, con coeficientes r^2 de 0,932; 0,339; 0,962; 0,863 y 0,990 en las zonas 1 a 5, respectivamente. Los factores climáticos fueron mayormente significativos ($p < 0,05$). Los modelos regionales lineales y no lineales alcanzaron r^2 de 0,48 y 0,52, mientras que los modelos no lineales individuales lograron $r^2 = 0,51$, 0,51 y 0,50. Estos hallazgos confirman que la altitud, longitud y latitud tienen una influencia destacada en la regionalización de las precipitaciones máximas.

Zubieta et. al (2021), analizaron los efectos del cambio climático sobre la ocurrencia de sequías en las cuencas que integran el Sistema TDPS, conformado por el Lago Titicaca, el Río Desaguadero y el Lago Poopó. Para ello, se compararon los datos históricos del periodo 1984-2014 con las proyecciones climáticas para 2034 - 2064, utilizando información mensual del proyecto CMIP5 bajo el escenario de emisiones RCP8.5. Los resultados revelaron que un aumento de la temperatura regional media de hasta 3 °C, junto con variaciones en la intensidad, cantidad y distribución espacial de la precipitación, provocaría sequías más intensas, frecuentes y prolongadas en el Sistema TDPS. Asimismo, se proyecta un incremento en la frecuencia de sequías agrícolas e hidrológicas, con duraciones de 1 a 2 meses. La región sur de la cuenca (Bolivia) experimentaría impactos más severos que la región norte (Perú), debido a la reducción de la precipitación anual y un mayor aumento de la evapotranspiración. Estos hallazgos evidencian la creciente vulnerabilidad del sistema frente al cambio climático y la

necesidad de estrategias de adaptación para mitigar los efectos sobre la disponibilidad de agua.

Porras et al. (2022), evaluaron la variabilidad interanual de la temperatura superficial del agua (LSWT) en el lago Titicaca durante los inviernos del periodo 2001–2014. Para ello, se utilizaron imágenes satelitales MODIS (producto MOD11A2) con una resolución de 1 km y compuestos de 8 días, junto con el producto MOD06L2 para identificar períodos de cielo despejado durante los meses invernales de junio, julio y agosto. Se analizaron dos subcuencas principales del lago: Lago Mayor (LM) y Lago Menor (Lm), utilizando series de tiempo, el coeficiente de variación (Cv) y análisis de componentes principales (PCA) para identificar tendencias temporales. Los resultados mostraron que la variabilidad de la temperatura superficial en el Lago Mayor fue baja ($Cv < 9\%$), lo que indica ausencia de cambios significativos en el periodo estudiado. La temperatura promedio registrada fue de aproximadamente $13,224\text{ }^{\circ}\text{C}$ para el Lago Mayor y $12,695\text{ }^{\circ}\text{C}$ para el Lago Menor. Adicionalmente, mediante el PCA se identificó una tendencia positiva en la LSWT desde 2004 hasta 2010, siendo este último año el de mayor valor del primer componente principal (PC1) para ambas subcuencas.

Jihuallanca (2024), analizó la relación existente entre la precipitación y la temperatura con la superficie de la laguna Lagunillas, ubicada en Santa Lucía - Puno, durante el periodo 2013–2023. La muestra consistió en 132 imágenes satelitales Landsat 8, correspondientes a cada mes del periodo estudiado, descargadas del catálogo de la USGS, y procesadas mediante el índice NDWI para identificar cambios en la extensión superficial de la laguna. Los resultados evidenciaron que la relación entre la precipitación y la superficie de la laguna fue significativa ($p = 0.00$), registrándose un valor máximo de 314.3 mm en enero de 2017 y un valor mínimo de 0.00 mm en junio de 2014, 2015, 2021 y en agosto de 2016–2019, con un promedio de 56.22 mm. Por su parte, la relación entre la temperatura y la superficie también fue significativa ($p = 0.00$), con valores mínimos y máximos de $-0.03\text{ }^{\circ}\text{C}$ en julio de 2015 y $7.37\text{ }^{\circ}\text{C}$ en diciembre de 2023, respectivamente, y un promedio de $4.04\text{ }^{\circ}\text{C}$. La correlación entre temperatura y superficie fue fuerte

(0.625), mientras que la de precipitación y superficie fue moderada (0.492). En ambos casos, el p-valor confirma que las correlaciones son significativas al 99%, demostrando la influencia de las variables climáticas en la variación de la superficie lacustre.

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. OBJETIVO GENERAL.

Determinar la influencia de la temperatura y la precipitación en la superficie de la laguna Huayllumayu, Espinar - Cusco, en el periodo 2015 al 2024.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Analizar la relación entre las variaciones de temperatura y los cambios en la superficie de la laguna Huayllumayu, Espinar - Cusco, en el periodo 2015 al 2024.
- Analizar la relación entre las variaciones de precipitación y los cambios en la superficie de la laguna Huayllumayu, Espinar - Cusco, en el periodo 2015 al 2024.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1 CAMBIO CLIMÁTICO Y VARIABILIDAD CLIMÁTICA

El cambio climático se define como una alteración persistente en los patrones promedio del sistema climático global o regional durante períodos prolongados, generalmente superiores a varias décadas. Este fenómeno está impulsado por factores naturales como la variabilidad en la radiación solar o la actividad volcánica y, principalmente, por actividades humanas que incrementan la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera. Entre estos gases destacan el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O), cuyos incrementos han intensificado el efecto invernadero y generado un calentamiento progresivo del planeta (CLEAN, 2020).

Por su parte, la variabilidad climática refiere a las fluctuaciones naturales del clima dentro de escalas temporales que abarcan meses, años o décadas. Esta variabilidad está asociada a procesos internos del sistema climático, como El Niño–Oscilación del Sur (ENSO), la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) o la Oscilación Antártica (AAO). Estas oscilaciones pueden generar anomalías temporales en la precipitación, la temperatura y otros parámetros atmosféricos, sin que necesariamente representen un cambio estructural del clima (Gettelman & Rood, 2016).

La interacción entre cambio climático y variabilidad climática es un aspecto crítico para los estudios hidrometeorológicos. Mientras la variabilidad explica fluctuaciones recurrentes o cíclicas, el cambio climático modifica las tendencias de fondo sobre las cuales dichas variaciones ocurren. Esto implica que eventos extremos como sequías,

inundaciones o olas de calor pueden intensificarse o volverse más frecuentes bajo un clima en calentamiento .

2.1.2. TEMPERATURA

La temperatura del aire se relaciona directamente con la energía cinética de las moléculas que lo componen. A mayor movimiento molecular, mayor es la temperatura registrada. Este parámetro se mide normalmente en grados Celsius (°C) o Kelvin (K) y su comportamiento depende de múltiples factores, como la radiación solar, la altitud, la latitud, la circulación atmosférica y la cobertura del suelo. En términos físicos, la Tierra recibe energía del Sol mediante radiación electromagnética. Parte de esta energía es absorbida por la superficie terrestre y reemitida hacia la atmósfera en forma de radiación infrarroja, lo que regula el balance energético planetario y, por lo tanto, la temperatura global (Polanco, 2017).

2.1.3. PRECIPITACIÓN

La precipitación es el proceso mediante el cual el agua que se encuentra en la atmósfera en forma de vapor se condensa y cae a la superficie terrestre debido a la gravedad. Puede presentarse en diferentes formas, tales como lluvia, nieve, granizo, llovizna o aguanieve, dependiendo de las condiciones atmosféricas, especialmente de la temperatura (ALMAWATECH, 2024).

La precipitación constituye una fase fundamental del ciclo hidrológico, ya que es el principal mecanismo por el cual el agua retorna desde la atmósfera hacia los ecosistemas terrestres y acuáticos, alimentando ríos, lagos, lagunas, glaciares, suelos y acuíferos. Su variabilidad espacial y temporal influye directamente en el clima, la disponibilidad hídrica, la agricultura y los procesos ambientales. En meteorología e hidrología, la precipitación se mide comúnmente en milímetros (mm), que representan la altura de agua acumulada sobre una superficie plana durante un período determinado (Brown et al., 2015).

2.1.4. HIDROLOGÍA LACUSTRE

La hidrología lacustre es la rama de la hidrología que se encarga del estudio integral de los lagos, comprendiendo sus características físicas, químicas, biológicas y los procesos

que regulan su dinámica interna y externa. Su análisis incluye la interacción entre el lago y su cuenca hidrográfica, así como los flujos de entrada y salida de agua, los balances hídricos, la calidad del agua y las transformaciones ambientales que afectan a estos ecosistemas. Los lagos representan reservorios naturales cruciales que responden de manera sensible a los cambios climáticos, presiones antrópicas y variaciones estacionales (MIDAGRI, 2011).

Los lagos funcionan como sistemas hidrológicos complejos compuestos por varios subsistemas interrelacionados:

Aportes hídricos (Moreno, 2020):

- Los lagos reciben agua principalmente a través de:
- Precipitación directa sobre la superficie lacustre.
- Afluentes superficiales, como ríos, quebradas y escorrentías.
- Aportes subterráneos, provenientes del flujo de acuíferos o filtraciones desde la cuenca.
- Aportes glaciares o nivales, especialmente en zonas altoandinas.

2.1.5. TELEDETECCIÓN APLICADA AL MONITOREO DE CUERPOS DE AGUA

a. Principios de la teledetección en cuerpos de agua

La teledetección se basa en la captación de la radiación electromagnética reflejada o emitida por los cuerpos terrestres. El agua presenta respuestas espectrales particulares (Ancari, 2022):

- Absorbe fuertemente la radiación en bandas del infrarrojo cercano (NIR) y medio (SWIR).
- Refleja moderadamente en el espectro visible, especialmente en la banda verde.

Estas características permiten diferenciar superficies de agua libre respecto a su entorno, así como identificar niveles de turbidez, clorofila o concentración de sedimentos.

b. Sensores y plataformas utilizadas (Peña, 2010):

Los principales satélites utilizados para el monitoreo de cuerpos de agua incluyen:

Satélites ópticos

- **Landsat (NASA–USGS):** con más de 40 años de continuidad temporal; resoluciones de 30 m. Ideal para análisis multitemporales y cálculo de índices como NDWI.
- **Sentinel-2 (ESA):** resolución espacial de hasta 10 m y alta frecuencia de revisita (5 días). Muy utilizado para mapear cuerpos de agua pequeños y cambios rápidos.
- **MODIS (NASA):** posee menor resolución espacial pero alta repetitividad diaria, útil para lagos grandes.

Satélites de radar (SAR) (Jonker, 2023).

Trabajan en microondas, por lo que pueden penetrar nubes y operar de día y de noche.

- **Sentinel-1 (ESA):** ampliamente usado para cartografía de inundaciones y variabilidad hídrica en zonas nubladas.
- **RADARSAT, ALOS PALSAR:** aplicados para monitoreo de humedales y detección de agua bajo cobertura vegetal.

c. Delimitación y variación de superficies de agua (Ingeoexpert, 2021)

Mediante índices espectrales como NDWI, MNDWI o AWEI, se pueden generar mapas precisos de la superficie hídrica. Esto permite:

- Cuantificar reducción o incremento de lagunas y lagos.
- Detectar procesos de desecación o inundación.
- Analizar fluctuaciones estacionales y de largo plazo relacionadas con el clima o actividad humana.

2.1.6. ÍNDICE NDWI PARA DETECCIÓN DE SUPERFICIES DE AGUA

El Normalized Difference Water Index (NDWI) es un índice espectral ampliamente utilizado en teledetección para identificar, resaltar y delimitar cuerpos de agua superficiales utilizando imágenes satelitales. Fue propuesto por McFeeters (McFeeters, 2013). con el propósito de mejorar la diferenciación entre superficies de agua y otros elementos del paisaje como vegetación, suelo expuesto o áreas urbanas.

El NDWI se basa en el comportamiento de la radiación electromagnética sobre las superficies de agua. El agua absorbe fuertemente la radiación en el infrarrojo cercano (NIR), mientras que refleja parte de la energía en la región del verde del espectro visible. En contraste, la vegetación y el suelo reflejan mayor cantidad en el NIR, lo que permite diferenciarlos claramente del agua (OnGeo, 2024).

El índice se calcula mediante la fórmula:

$$NDWI = \frac{(Green - NIR)}{(Green + NIR)}$$

Donde:

- **Green** → banda del espectro visible verde (Ej.: Banda 3 en Landsat 8).
- **NIR** → banda de infrarrojo cercano (Ej.: Banda 5 en Landsat 8).

Los valores del NDWI oscilan entre **-1 y 1**, donde:

- **Valores positivos (0 a 1)** → Alta probabilidad de presencia de agua.
- **Valores cercanos a 0 o negativos** → Suelo seco, vegetación o áreas urbanas.
- **Valores significativamente negativos** → Superficies muy reflectivas en NIR (vegetación densa).

2.1.7. IMPORTANCIA ECOLÓGICA Y SOCIOAMBIENTAL DE LAS LAGUNAS

ALTOANDINAS

Las lagunas altoandinas, ubicadas generalmente por encima de los 3 800 m s. n. m., constituyen ecosistemas estratégicos por su función ecológica, hidrológica y social dentro de las regiones altoandinas. Son cuerpos de agua que se caracterizan por su alta sensibilidad a las variaciones climáticas y por albergar una biodiversidad única adaptada a condiciones extremas de radiación, bajas temperaturas, hipoxia y marcada estacionalidad de precipitaciones. Su relevancia trasciende lo ambiental, pues cumplen un rol central en la economía, cultura y sostenibilidad de las poblaciones andinas (Becerra et al., 2022).

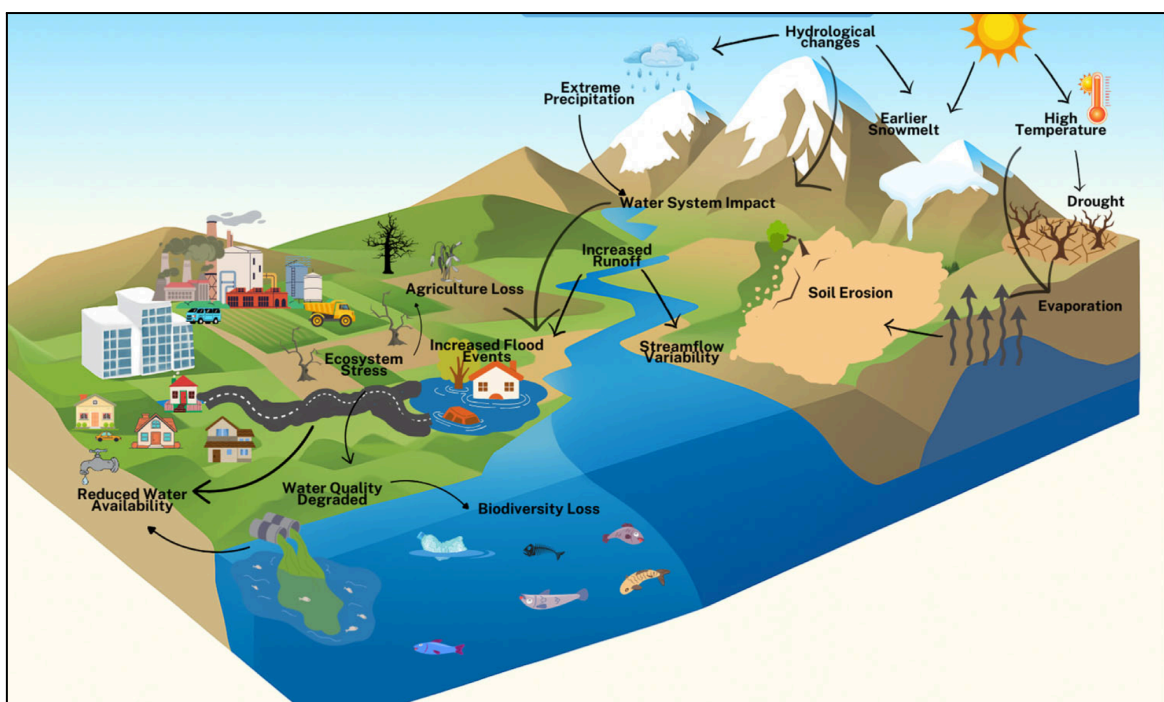


Figura 01: Importancia de los ecosistemas andinos.

Fuente: (Rodríguez et al., 2025)

Las lagunas altoandinas son hábitats naturales para una gran diversidad de flora y fauna adaptada a ambientes hostiles. Estos ecosistemas albergan especies endémicas y emblemáticas como (Cervantes et al., 2021):

- **Aves acuáticas:** parihuanas, zambullidores, patos andinos.
- **Anfibios y peces nativos** como *Orestias*.
- **Vegetación hidrófila y macrófitas** esenciales para el mantenimiento del equilibrio ecológico.

Su existencia contribuye a mantener procesos ecológicos fundamentales, como la dinámica trófica, la regulación de nutrientes y la provisión de refugios para especies migratorias.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

Cambio climático. El cambio climático es la modificación sostenida de los patrones promedio del sistema climático global o regional durante largos periodos, generalmente superiores a varias décadas. Está impulsado por factores naturales y, principalmente, por

actividades humanas que incrementan la concentración de gases de efecto invernadero como CO₂, CH₄ y N₂O. (CLEAN,2020).

Hidrología lacustre. La hidrología lacustre estudia la dinámica física, química y biológica de los lagos, considerando los procesos internos y su interacción con la cuenca hidrográfica. Este campo analiza entradas y salidas de agua, balances hídricos y variaciones ambientales que afectan a los ecosistemas lacustres. Los lagos responden sensiblemente a presiones antrópicas y cambios climáticos. (MIDAGRI,2011); (Moreno,2020).

Importancia ecológica y socioambiental de las lagunas altoandinas. Las lagunas altoandinas son ecosistemas estratégicos ubicados por encima de los 3 800 m s. n. m., caracterizados por su alta biodiversidad y sensibilidad climática. Albergan especies endémicas adaptadas a condiciones extremas y sostienen procesos ecológicos esenciales como la regulación hídrica y la dinámica de nutrientes. (Becerra et al.,2022).

Índice NDWI. El NDWI es un índice espectral utilizado en teledetección para resaltar y delimitar cuerpos de agua superficial mediante el contraste entre la reflectancia en la banda verde y la absorción en el infrarrojo cercano. Sus valores oscilan entre -1 y 1, donde los valores positivos indican presencia de agua y los negativos corresponden a vegetación o suelo. (McFeeters,2013); (OnGeo,2024).

Precipitación. La precipitación es el proceso mediante el cual el vapor de agua atmosférico se condensa y cae a la superficie terrestre en forma de lluvia, nieve, granizo o llovizna. Representa la principal vía de retorno del agua desde la atmósfera hacia los ecosistemas. (Brown et al.,2015).

Teledetección aplicada al monitoreo de cuerpos de agua. La teledetección permite obtener información de cuerpos de agua a partir de la radiación reflejada o emitida, aprovechando la baja reflectancia del agua en el infrarrojo cercano y su mayor respuesta en el verde. La combinación de sensores ópticos y de radar facilita el seguimiento de variaciones hídricas, aún en condiciones de nubosidad. (Ancari, 2022); (Peña, 2010).

Temperatura. La temperatura del aire es una medida de la energía cinética de las moléculas atmosféricas y se expresa en grados Celsius o Kelvin. Su variación depende de la radiación solar, la altitud, la latitud, la circulación atmosférica y las características de la superficie. (Polanco, 2017).

2.3. MARCO NORMATIVO

Constitución Política del Perú (1993). Reconoce en su artículo 2 el derecho de toda persona a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de su vida. Asimismo, establece la obligación del Estado de promover el uso sostenible de los recursos naturales y la protección de los ecosistemas acuáticos.

Ley General del Ambiente – Ley N.º 28611. Es la norma marco para la gestión ambiental en el Perú. Establece principios como prevención, sostenibilidad, gestión integral del recurso hídrico y acceso a la información ambiental. También promueve la investigación científica para la comprensión de los impactos del cambio climático en los sistemas naturales.

Ley de Recursos Hídricos – Ley N.º 29338. Define al agua como un recurso natural de dominio público y establece lineamientos para su gestión integrada. Incluye la obligación de monitorear los cuerpos de agua, evaluar la oferta hídrica y proteger las fuentes naturales, como lagunas y manantiales altoandinos. La Autoridad Nacional del Agua (ANA) es el ente rector.

Estrategia Nacional ante el Cambio Climático (ENCC, 2015). Plantea acciones para reducir vulnerabilidades frente a la variabilidad climática, especialmente en sistemas hídricos. Promueve estudios hidrometeorológicos, investigación sobre impactos en lagos y lagunas, y el fortalecimiento de sistemas de información climática.

Ley Marco sobre Cambio Climático – Ley N.º 30754. Crea disposiciones institucionales para la gestión del cambio climático en el Perú. Establece la necesidad de monitorear las variaciones de temperatura, precipitación y disponibilidad hídrica, así como proteger ecosistemas estratégicos como las lagunas altoandinas que cumplen funciones de regulación hídrica.

2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL.

La temperatura y precipitación se relacionan significativamente con la superficie de la laguna Huayllumayu, Espinar - Cusco, en el periodo 2015 al 2024.

2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- Las variaciones de la temperatura influyen significativamente en la superficie de la laguna Huayllumayu, distrito de Espinar, región Cusco, durante el período 2015–2024.
- Las variaciones de la precipitación influyen significativamente en la superficie de la laguna Huayllumayu, distrito de Espinar, región Cusco, durante el período 2015–2024.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO

La presente investigación se desarrolló en la laguna Huayllumayu, ubicada en el distrito de Espinar, provincia del mismo nombre, en la región Cusco, al sureste del Perú. Esta laguna se localiza en una zona altoandina, a una altitud aproximada de 4,400 metros sobre el nivel del mar, dentro de un ecosistema de puna húmeda. Sus coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator), corresponden a la siguiente ubicación:

- Zona UTM: 19 L 748500 E, 8347000 N.

La laguna Huayllumayu constituye una fuente importante de agua dulce para la población local y los sistemas productivos ganaderos de la zona. Su superficie está conformada por aguas de origen pluvial y de escorrentía, con flujos estacionales que varían de acuerdo con la intensidad de las lluvias y las temperaturas predominantes en el altiplano andino.

En cuanto a su situación ambiental, el entorno de la laguna enfrenta una creciente presión debido a factores climáticos y antropogénicos. En los últimos años, se ha reportado una disminución progresiva de su superficie, fenómeno que podría estar relacionado con el aumento de la temperatura media anual, la irregularidad en las precipitaciones y la presencia de actividades humanas como la ganadería extensiva y el pastoreo intensivo en sus alrededores.

Asimismo, el distrito de Espinar ha sido escenario de conflictos socioambientales vinculados al uso y conservación de los recursos hídricos, lo que pone en evidencia la necesidad de fortalecer los sistemas de monitoreo ambiental y la toma de decisiones basada en evidencia científica.



Figura 02: Ubicación del distrito de Espinar en el departamento de Cusco.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN.

La población en esta investigación estuvo conformada por todos los datos climáticos (temperatura y precipitación) registrados en la zona del distrito de Espinar - Cusco, así como por las imágenes satelitales que contienen información sobre la superficie de la laguna Huayllumayu durante el periodo comprendido entre los años 2015 al 2024.

Asimismo, se considera como parte de la población todos los registros históricos disponibles en las estaciones meteorológicas más cercanas a la laguna, y las bases de datos geospaciales proporcionadas por instituciones como SENAMHI y plataformas como Google Earth Engine, USGS (con imágenes Landsat).

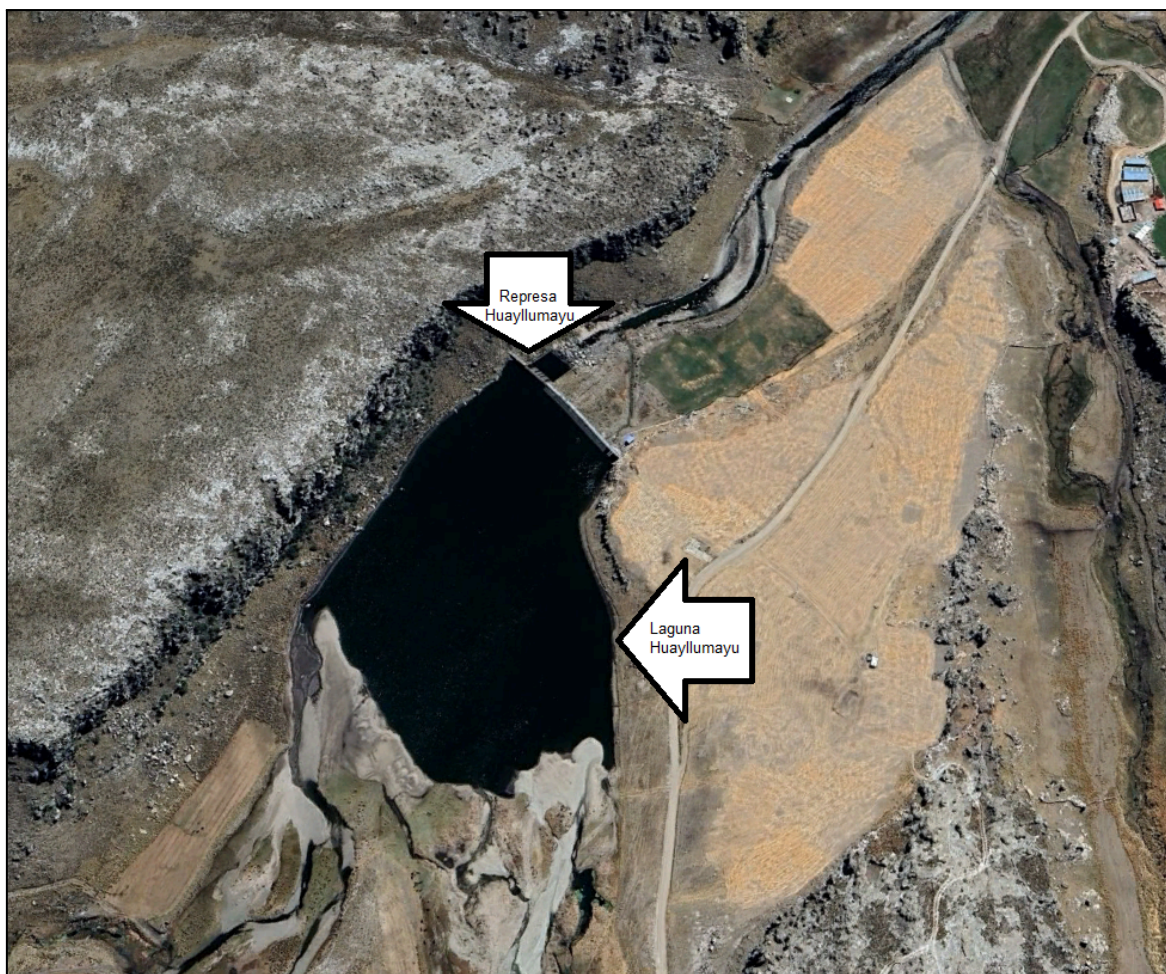


Figura 03: Imagen satelital de la Laguna Huayllumayu.

Fuente: Google maps.

3.2.2. MUESTRA.

La muestra estuvo constituida por:

- Datos mensuales de temperatura máxima, mínima y media, así como datos de precipitación total, durante el periodo 2015 - 2024, obtenidos de estaciones meteorológicas relevantes y de bases de datos satelitales corregidas y validadas.
- Imágenes satelitales multitemporales (Landsat 8) correspondientes a los años seleccionados (01 imagen por mes, haciendo un total de 120 imágenes) que permitan delimitar y calcular la superficie de la laguna Huayllumayu a lo largo del periodo de estudio.

Se empleó un **muestreo no probabilístico por conveniencia**, ya que se seleccionaron los datos e imágenes que cumplan con criterios técnicos de calidad, cobertura y

disponibilidad, asegurando que no presenten nubes significativas ni errores radiométricos.

3.3. MÉTODOS Y MATERIALES

3.3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación es de tipo **descriptiva-correlacional**, ya que se orienta a describir el comportamiento de las variables climáticas (temperatura y precipitación) y la superficie de la laguna Huayllumayu en el periodo 2015 al 2024, así como se estableció el grado de relación estadística entre dichas variables mediante el análisis cuantitativo. Se determinó la existencia de una correlación significativa entre los cambios en el clima y las variaciones en la superficie de la laguna.

3.3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.

El diseño de la investigación es **no experimental**, debido a que no se manipularon intencionalmente las variables independientes (temperatura y precipitación), sino que se observaron y analizaron tal como han ocurrido a lo largo del tiempo. Se trabajó con datos históricos y registros satelitales para evaluar las relaciones existentes entre las variables en un periodo determinado sin intervención del investigador.

3.3.3. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

El estudio adopta un enfoque cuantitativo, ya que se basó en la recolección, análisis e interpretación de datos numéricos obtenidos a través de registros meteorológicos e imágenes satelitales. Este enfoque permitió medir las variables en términos estadísticos y establecer correlaciones mediante herramientas matemáticas, asegurando objetividad y precisión en los resultados.

3.3.4. TÉCNICAS.

La técnica utilizada fue el NDWI (Índice Diferencial de Agua Normalizado), el cual permitió la determinación de la superficie de la laguna “Huayllumayu”, para cada una de las imágenes satelitales sobre la cual se va aplicar.

3.4. METODOLOGÍA POR OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Objetivo específico 1: Analizar la relación entre las variaciones de temperatura y los cambios en la superficie de la laguna Huayllumayu, Espinar - Cusco, en el periodo 2014 al 2024.

Para este objetivo, se determinó la superficie de la laguna Huayllumayu expresada en kilómetros cuadrados (km²), utilizando imágenes satelitales de libre acceso provenientes de los satélites Landsat 8, seleccionados por su adecuada resolución espacial y alta disponibilidad temporal (USGS, 2021). Las imágenes fueron descargadas desde la plataforma oficial del Servicio Geológico de los Estados Unidos (<https://earthexplorer.usgs.gov/>).

- La técnica aplicada fué de tipo observacional indirecta (teleobservación), y se empleó el Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI), el cual permitió identificar cuerpos de agua y delimitar su superficie mediante bandas espectrales específicas (EOS, 2025). Para ello, se utilizaron softwares especializados como ArcGIS, QGIS y ENVI, que facilitaron la descarga, procesamiento y análisis de imágenes satelitales.
- En paralelo, se recopilaron los datos históricos de temperatura máxima, mínima y media anual, provenientes de estaciones meteorológicas del SENAMHI localizadas en la zona de Espinar y áreas aledañas, priorizando aquellas con continuidad de datos y validación técnica.
- Finalmente, se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson para evaluar la relación estadística entre las variaciones anuales de temperatura y la superficie de la laguna, determinando su nivel de significancia y dirección (positiva o negativa).

Objetivo específico 2: Analizar la relación entre las variaciones de precipitación y los cambios en la superficie de la laguna Huayllumayu, Espinar - Cusco, en el periodo 2014 al 2024.

Para este objetivo, se empleó el mismo procedimiento de análisis espacial de la laguna Huayllumayu descrito anteriormente, utilizando imágenes satelitales Landsat y el índice NDWI para determinar su superficie anual durante el periodo de estudio.

- Posteriormente, se recopilaron los datos de precipitación total mensual y anual, obtenidos de las estaciones meteorológicas del SENAMHI, correspondientes a la jurisdicción del distrito de Espinar o estaciones más próximas. Se dió prioridad a aquellas estaciones que cuenten con datos completos, consistentes y validados para el periodo 2015 - 2024.
- El análisis estadístico se realizó aplicando también el coeficiente de correlación de Pearson, con el fin de establecer si existe una relación estadísticamente significativa entre la precipitación registrada y las variaciones en la superficie de la laguna Huayllumayu. Se interpretó el grado y dirección de la correlación, considerando el contexto climático y geográfico de la zona.

3.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Tabla 01. Operacionalización de variables.

Variable	Definición	Indicador o definición operativa	Escala de medición	Categoría y valores
VARIABLE INDEPENDIENTE	Definido como la interrelación entre las variables climáticas (humedad, precipitación, temperatura y presión y viento) presentes en una unidad territorial, a un determinado tiempo (Villar, 2019).	Precipitación promedio anual	mm	Numérico
VARIABLE DEPENDIENTE:	Es un cuerpo de agua formado por precipitación o escorrentía pluvial en terrenos con depresiones.	Superficie	°C	Numérico
Superficie de la laguna Huayllumayu			Km ²	Numérico

3.6. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental, longitudinal y retrospectivo, al analizar datos mensuales de temperatura, precipitación y superficie de la laguna Huayllumayu correspondientes al periodo 2015 - 2024. El alcance del estudio fue descriptivo–correlacional, debido a que se caracterizaron

las variables climáticas y posteriormente se evaluó su relación con la superficie lacustre. El análisis estadístico incluyó estadística descriptiva (valores máximo, mínimo, promedio, moda y desviación estándar), el coeficiente de correlación de Pearson con un nivel de significancia del 1% ($p < 0,01$), y regresión lineal simple para identificar las tendencias temporales de las variables. El procesamiento de la información se realizó mediante software estadístico y herramientas SIG, garantizando la confiabilidad de los resultados.

CAPÍTULO IV

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DE LA RELACIÓN ENTRE LAS VARIACIONES DE TEMPERATURA Y LOS CAMBIOS EN LA SUPERFICIE DE LA LAGUNA HUAYLLUMAYU, ESPINAR - CUSCO, EN EL PERIODO 2015 AL 2024.

Tabla 02: Resumen descriptivo de las variaciones de la temperatura y superficie, del 2015 - 2024.

Estadístico	Superficie (m ²)	Temperatura promedio (°C)
Máximo	37 244.56	6.44
Mínimo	35 674.72	-0.03
Moda	35 674.72	-0.03
Promedio	36 341.13	3.89
Desviación estándar	526.27	2.31

Fuente: Anexo 02.

En la Tabla 02 se presenta el resumen descriptivo de las variaciones de la temperatura promedio y la superficie de la laguna Huayllumayu, correspondiente al período 2015–2024. Este análisis estadístico descriptivo permite caracterizar el comportamiento general de ambas variables a lo largo del período de estudio.

La superficie de la laguna Huayllumayu registró un valor máximo de 37 244.56 m² y un valor mínimo de 35 674.72 m², evidenciando una variabilidad moderada del espejo de agua durante el período analizado. El valor promedio de la superficie fue de 36 341.13

m², con una desviación estándar de 526.27 m², lo que indica fluctuaciones interanuales relativamente controladas alrededor del valor medio.

Por su parte, la temperatura promedio presentó un valor máximo de 6.44 °C y un valor mínimo de -0.03 °C, siendo este último también el valor de la moda, lo que refleja la recurrencia de temperaturas cercanas al punto de congelación durante los meses de invierno en la zona altoandina. El promedio de la temperatura fue de 3.89 °C, con una desviación estándar de 2.31 °C, mostrando una variabilidad térmica significativa a lo largo del período de estudio.

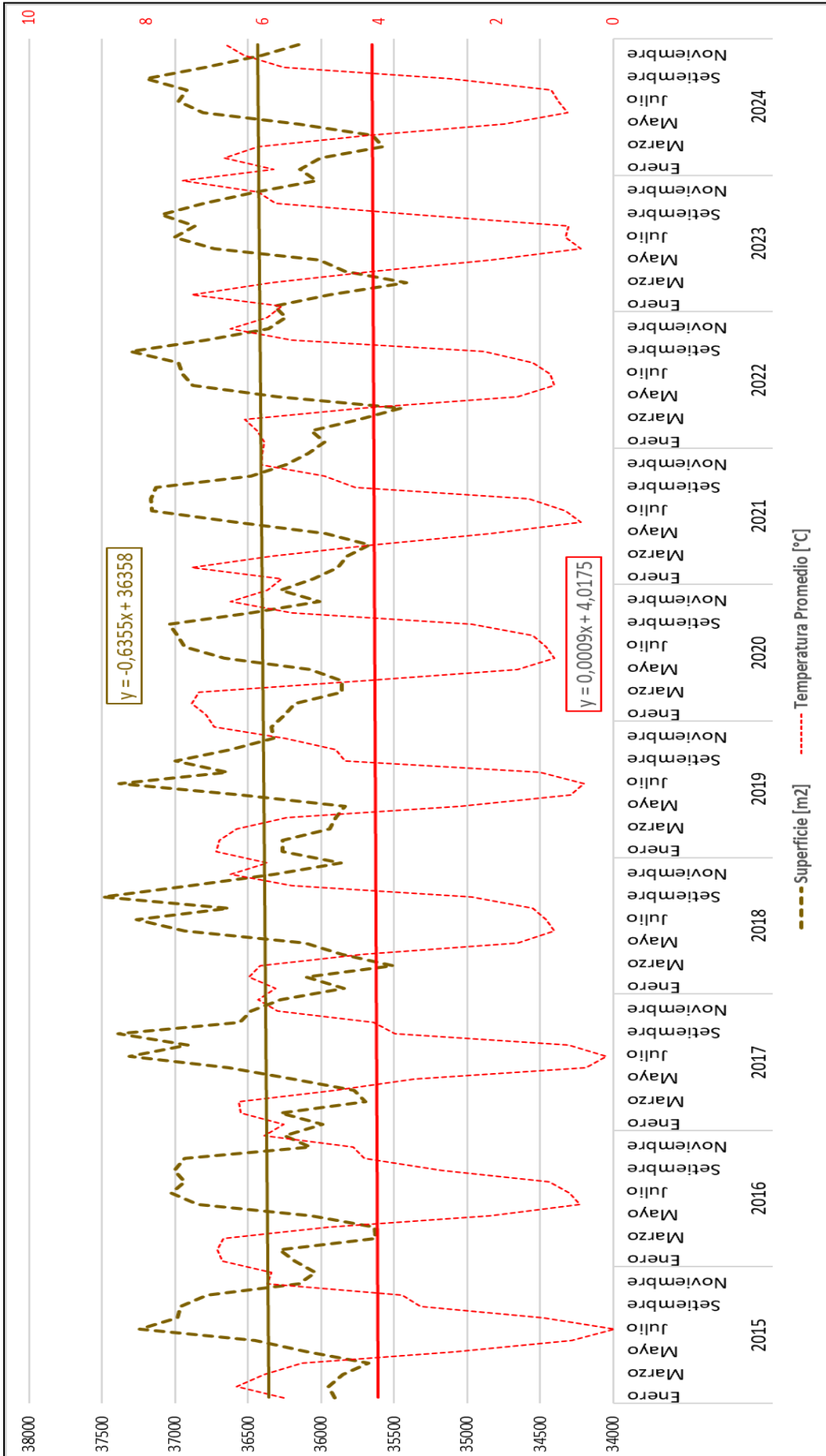


Figura 04: Variaciones de las temperaturas versus superficie en la laguna Huayllumayu y sus tendencias respectivas.

La Figura 04 representa de manera conjunta las variaciones temporales de la temperatura promedio y la superficie de la laguna Huayllumayu, correspondientes al período 2015–2024, así como sus tendencias lineales estimadas mediante regresión.

En relación con la superficie de la laguna, se observa una variabilidad interanual marcada, con incrementos y disminuciones asociadas a la estacionalidad climática. No obstante, al analizar la tendencia general, la ecuación lineal $y = - 0.6353x + 36\ 358$ evidencia una pendiente negativa, lo que indica una reducción progresiva de la superficie del espejo de agua a lo largo del tiempo. Esta tendencia sugiere que, pese a las recuperaciones temporales observadas en algunos años o estaciones, el comportamiento global de la superficie es decreciente durante el período de estudio.

Por su parte, la temperatura promedio muestra fluctuaciones estacionales propias del clima altoandino; sin embargo, su tendencia lineal, representada por la ecuación $y = 0.0009x + 4.0175$, presenta una pendiente positiva, lo que indica un incremento gradual y sostenido de la temperatura promedio a lo largo del período analizado. Este comportamiento refleja una tendencia al calentamiento progresivo en la zona de estudio.

La comparación visual de ambas tendencias permite identificar un comportamiento opuesto entre las variables, donde el aumento progresivo de la temperatura coincide temporalmente con la disminución de la superficie de la laguna. Esta relación inversa refuerza la pertinencia de evaluar estadísticamente la influencia de la temperatura sobre la superficie del cuerpo de agua, tal como se plantea en los objetivos e hipótesis de la investigación.

Asimismo, la Figura 04 permite apreciar que los cambios más pronunciados en la superficie suelen presentarse en periodos posteriores a incrementos térmicos sostenidos, lo cual sugiere una posible respuesta retardada del sistema hidrológico ante variaciones climáticas, aspecto que será abordado con mayor profundidad en el análisis correlacional y la discusión de resultados.

4.2. ANÁLISIS DE LA RELACIÓN ENTRE LAS VARIACIONES DE PRECIPITACIÓN Y LOS CAMBIOS EN LA SUPERFICIE DE LA LAGUNA HUAYLLUMAYU, ESPINAR - CUSCO, EN EL PERIODO 2015 AL 2024.

Tabla 03: Resumen descriptivo de las variaciones de la precipitación y superficie, del 2015 - 2024.

Estadístico	Superficie (m ²)	Precipitación acumulada (mm)
Máximo	37 244.56	187.00
Mínimo	35 674.72	0.00
Moda	35 674.72	0.00
Promedio	36 341.13	58.59
Desviación estándar	526.27	59.93

Fuente: Anexo 02.

La Tabla 03 presenta el resumen estadístico descriptivo de las variaciones de la precipitación acumulada y la superficie de la laguna Huayllumayu, correspondiente al período 2015–2024. Este análisis permite caracterizar el comportamiento general de ambas variables y su grado de dispersión a lo largo del tiempo.

La superficie de la laguna Huayllumayu registró un valor máximo de 37 244.56 m² y un valor mínimo de 35 674.72 m², siendo este último también el valor de la moda, lo que indica una mayor recurrencia de superficies cercanas a dicho valor durante el período de estudio. El promedio de la superficie fue de 36 341.13 m², con una desviación estándar de 526.27 m², evidenciando una variabilidad moderada del espejo de agua.

En cuanto a la precipitación acumulada mensual, se registró un valor máximo de 187.00 mm y un valor mínimo de 0.00 mm, siendo este último también el valor de la moda, lo que refleja la alta frecuencia de meses secos en la zona de estudio. El promedio de precipitación fue de 58.59 mm, con una desviación estándar de 59.93 mm, lo que

evidencia una alta variabilidad en el régimen de precipitaciones durante el período analizado.

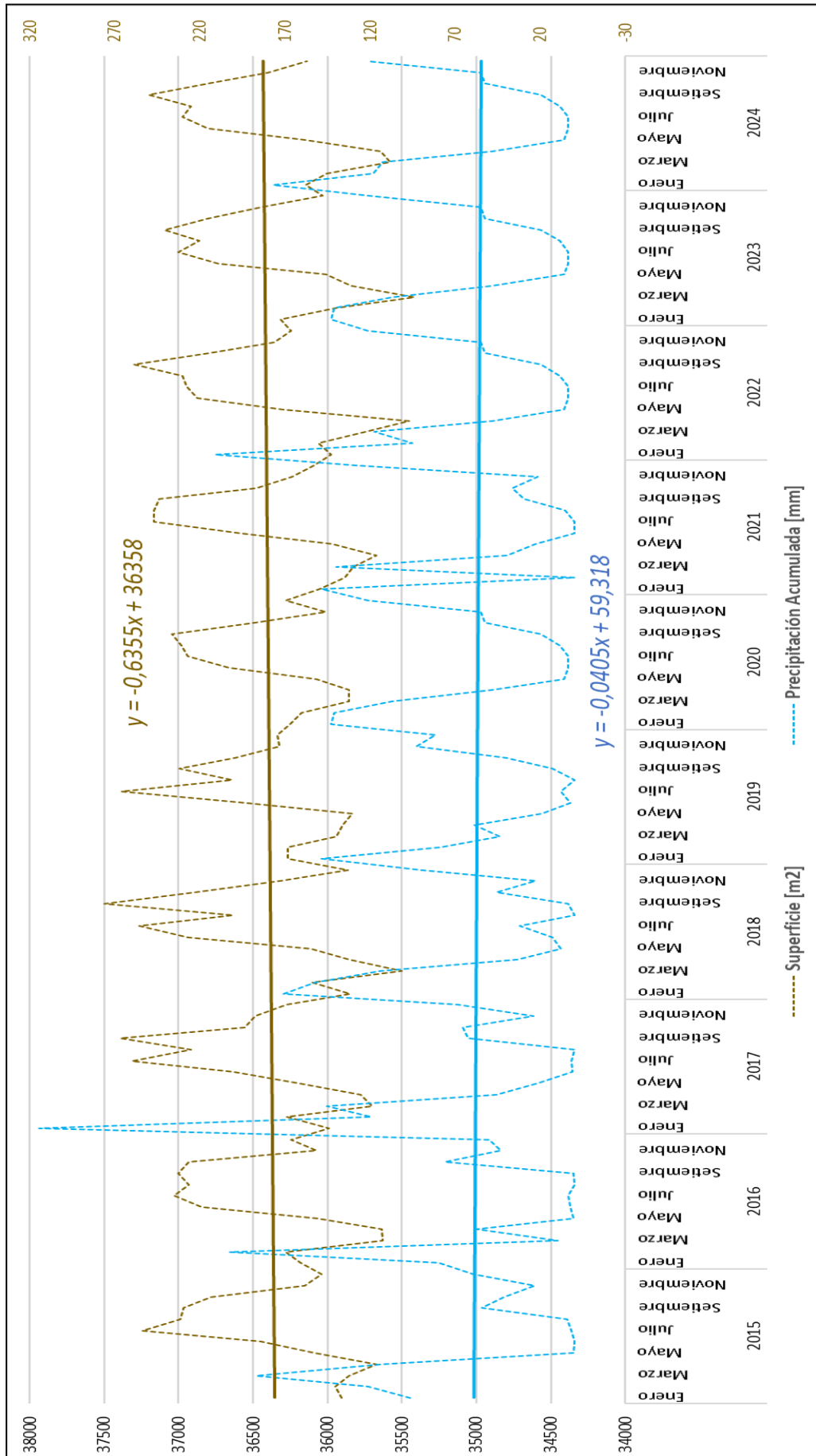


Figura 05: Variaciones de la precipitación versus superficie en la laguna Huayllumayu y sus tendencias respectivas.

La Figura 05 muestra las variaciones temporales de la precipitación acumulada y la superficie de la laguna Huayllumayu, así como sus tendencias lineales, correspondientes al período 2015–2024. En relación con la superficie de la laguna, la tendencia lineal está representada por la ecuación $y = -0.6353x + 36\,358$, la cual evidencia una pendiente negativa, indicando una disminución progresiva de la superficie del espejo de agua a lo largo del período de estudio, coherente con los resultados observados en las figuras anteriores.

Por su parte, la precipitación acumulada presenta una tendencia lineal descrita por la ecuación $y = -0.0009x + 59.318$, cuya pendiente negativa sugiere una leve disminución de la precipitación acumulada promedio a lo largo del período analizado. Aunque la variabilidad interanual de la precipitación es elevada, la tendencia general indica una reducción gradual del aporte hídrico proveniente de las lluvias.

El análisis conjunto de ambas tendencias permite observar que la disminución progresiva de la precipitación coincide temporalmente con la reducción de la superficie de la laguna, lo que refuerza la pertinencia de evaluar la influencia de la precipitación sobre la dinámica superficial del cuerpo de agua, conforme a lo planteado en los objetivos específicos de la investigación.

Asimismo, la Figura 05 evidencia que los valores más altos de superficie tienden a presentarse en periodos asociados a mayores registros de precipitación, mientras que los descensos más marcados de la superficie se observan en etapas caracterizadas por una reducción de las lluvias, aspecto que será abordado con mayor profundidad en el análisis estadístico posterior.

4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

En relación con el estudio de Gonzales (2021), desarrollado en los lagos de Michoacán (Cuitzeo, Pátzcuaro y Zirahuén), se observa una contradicción sustancial. Mientras Gonzales reporta reducciones drásticas de superficie (hasta 85%) asociadas a temperaturas medias relativamente elevadas (entre 16.6 °C y 18.8 °C) y altos niveles de evapotranspiración, en la laguna Huayllumayu la disminución superficial es moderada y

progresiva, con una tendencia lineal negativa leve ($y = -0.6353x + 36358$), a pesar de una tendencia positiva de la temperatura ($y = 0.0009x + 4.0175$). Esta diferencia sugiere que, en Huayllumayu, el incremento térmico no genera pérdidas abruptas de superficie como en sistemas lacustres de menor altitud y mayor presión antrópica. Asimismo, el estudio de Vizuete (2025) en la laguna Limoncocha (Amazonía ecuatoriana) evidencia fluctuaciones extremas del espejo de agua y una alta vulnerabilidad frente al calentamiento global, con reducciones marcadas en años específicos. En contraste, los resultados de Huayllumayu no muestran colapsos abruptos de superficie, sino una variabilidad contenida, lo cual contradice el patrón de alta inestabilidad observado en ecosistemas tropicales. Esta diferencia puede explicarse por el contexto altoandino, donde la temperatura absoluta es menor y los procesos de evapotranspiración son menos intensos.

Respecto a Carrillo (2022) en la laguna Parón, existe una contradicción parcial. Carrillo reporta una expansión del 8% de la superficie, mientras que en Huayllumayu se evidencia una tendencia decreciente. Además, Carrillo identifica una dependencia climática mínima (1% para temperatura y 4% para precipitación), mientras que en Huayllumayu la correlación temperatura–superficie es moderada e inversa ($r = -0.620$) y estadísticamente significativa ($p = 0.000$). Esto indica que, a diferencia de Parón, la temperatura ejerce un efecto más determinante sobre la superficie de Huayllumayu.

En comparación con Cruz (2023), quien halló una correlación débil entre temperatura y superficie (inversa) y una relación baja con la precipitación ($r = 0.38$), los resultados de Huayllumayu muestran una contradicción en la intensidad de la relación térmica, ya que el coeficiente de Pearson obtenido ($r = -0.620$) es notablemente mayor en magnitud. No obstante, se observa coincidencia en que la precipitación mantiene una relación directa pero moderada con la superficie, aunque en Huayllumayu esta relación es ligeramente menor ($r = 0.305$). Por otro lado, los hallazgos de Eraso (2024), que señalan una influencia marcada de La Niña y una escasa incidencia de El Niño sobre la superficie de la laguna Lasuntay, contrastan con Huayllumayu, donde las variaciones superficiales

responden de manera más continua a las tendencias climáticas promedio, sin evidenciar cambios abruptos asociados a eventos ENSO específicos. Esto sugiere una respuesta hidrológica más amortiguada del sistema lacustre estudiado.

Los resultados de Ochoa y Jerson (2021) en el lago Titicaca evidencian una heterogeneidad espacial y temporal en las tendencias de precipitación y temperatura. En Huayllumayu, en cambio, las tendencias son más consistentes, especialmente en la relación inversa entre temperatura y superficie, lo cual contradice la alta variabilidad espacial observada a escala regional en el sistema Titicaca. El estudio de Flores et al. (2021) resalta la fuerte influencia de la altitud y la localización geográfica en la regionalización de las precipitaciones. Esta evidencia respalda parcialmente los resultados de Huayllumayu, donde la precipitación presenta una correlación positiva significativa, aunque su influencia directa sobre la superficie resulta menor que la de la temperatura, lo que contradice la idea de una dominancia exclusiva del factor pluviométrico. Las proyecciones de Zubieta et al. (2021) advierten un escenario futuro de sequías más severas asociadas a incrementos térmicos y reducción de precipitaciones. Sin embargo, los resultados actuales de Huayllumayu muestran que, durante el periodo 2015–2024, la precipitación aún mantiene un efecto compensatorio parcial, evidenciado por la correlación positiva con la superficie, lo cual contradice un escenario de colapso hidrológico inmediato. Finalmente, al comparar con Jihuallanca (2024), se identifica una contradicción relevante en la intensidad de la relación climática. Mientras Jihuallanca reporta una correlación fuerte entre temperatura y superficie (0.625) y una moderada con la precipitación (0.492), en Huayllumayu la temperatura mantiene una relación inversa moderada (-0.620), pero la precipitación muestra una correlación significativamente menor (0.305). Esto evidencia que, aun dentro de lagunas altoandinas del sur del Perú, existen respuestas hidrológicas diferenciadas, posiblemente condicionadas por la morfometría, conectividad hídrica y características locales de la cuenca.

4.4. PROCESO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS.

4.4.1. DE LA HIPÓTESIS GENERAL

Planteamos las siguientes hipótesis:

- H_0 : La temperatura y la precipitación no se relacionan significativamente con la superficie de la laguna Huayllumayu, Espinar - Cusco, en el período 2015 al 2024.
- H_a : La temperatura y la precipitación se relacionan significativamente con la superficie de la laguna Huayllumayu, Espinar - Cusco, en el período 2015 al 2024.

En primer lugar, la Tabla 02 muestra el resumen descriptivo de la temperatura promedio y la superficie de la laguna, evidenciando una variabilidad térmica comprendida entre $-0,03$ °C y $6,44$ °C, así como una superficie que oscila entre $35\ 674,72$ m² y $37\ 244,56$ m². Estos valores reflejan cambios mensuales significativos en ambas variables durante el período de estudio. De manera complementaria, la Figura 04 evidencia que la tendencia de la temperatura es creciente ($y = 0.0009x + 4.0175$), mientras que la superficie presenta una tendencia decreciente ($y = -0.6353x + 36\ 358$), lo cual sugiere una relación inversa entre ambas variables.

Asimismo, la Tabla 04, correspondiente a la matriz de correlación entre la temperatura y la superficie, muestra un coeficiente de correlación de Pearson de $-0,620$, con un nivel de significancia bilateral $p = 0,000$, indicando una relación negativa fuerte y estadísticamente significativa al 99% de confianza. Este resultado confirma que el incremento de la temperatura promedio se asocia con la reducción de la superficie de la laguna Huayllumayu.

Por otro lado, la Tabla 03 presenta el resumen descriptivo de la precipitación acumulada y la superficie de la laguna, donde se observa una precipitación promedio de $58,59$ mm, con valores máximos de $187,00$ mm y mínimos de $0,00$ mm, lo que evidencia una marcada variabilidad pluviométrica. La Figura 05 muestra que la tendencia de la precipitación es ligeramente decreciente ($y = -0.0009x + 59.318$), mientras que la superficie de la laguna mantiene una tendencia negativa, lo que sugiere una relación directa, aunque moderada, entre ambas variables.

La Tabla 05, correspondiente a la matriz de correlación entre la precipitación y la superficie, evidencia un coeficiente de correlación de Pearson de 0,305, con un nivel de significancia $p = 0,000$, lo que indica una relación directa y estadísticamente significativa al 99% de confianza. Este resultado demuestra que los incrementos en la precipitación acumulada se asocian con aumentos en la superficie de la laguna, aunque con menor intensidad que la relación observada con la temperatura.

En conjunto, los resultados de las Tablas 04 y 05, así como las tendencias observadas en las Figuras 04 y 05, evidencian que tanto la temperatura como la precipitación mantienen relaciones estadísticamente significativas con la superficie de la laguna Huayllumayu durante el período 2015–2024. En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula (H_0) **y se acepta la hipótesis alternativa (H_a)**.

4.4.2. DE LA PRIMERA HIPÓTESIS ESPECÍFICA

Planteamos las siguientes hipótesis:

- H_0 : Las variaciones de la temperatura no influyen significativamente en la superficie de la laguna Huayllumayu, distrito de Espinar, región Cusco, durante el período 2015-2024.
- H_a : Las variaciones de la temperatura influyen significativamente en la superficie de la laguna Huayllumayu, distrito de Espinar, región Cusco, durante el período 2015-2024.

Tabla 04: Matriz de correlación entre la temperatura y la superficie.

		Temperatura	
		Superficie [m2]	Promedio [°C]
Superficie [m2]	Correlación de Pearson	1	-,620**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	120	120
Temperatura Promedio [°C]	Correlación de Pearson	-,620**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	120	120

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

En primer lugar, el análisis descriptivo presentado en la Tabla 02 evidencia que la temperatura promedio durante el período 2015–2024 presentó una variabilidad comprendida entre -0,03 °C y 6,44 °C, con un valor promedio de 3,89 °C. Paralelamente, la superficie de la laguna mostró fluctuaciones entre 35 674,72 m² y 37 244,56 m², lo que refleja cambios relevantes en el espejo de agua a lo largo del período de estudio.

Asimismo, la Figura 04 muestra las variaciones temporales de la temperatura promedio y la superficie de la laguna, así como sus respectivas tendencias. La tendencia de la temperatura representada por la ecuación $y = 0.0009x + 4.0175$, lo que indica un incremento gradual de la temperatura promedio. En contraste, la superficie de la laguna presenta una tendencia decreciente, expresada mediante la ecuación $y = -0.6353x + 36358$, evidenciando una reducción progresiva del área superficial. Este comportamiento opuesto sugiere una relación inversa entre ambas variables.

El análisis estadístico de correlación, presentado en la Tabla 04, confirma esta relación inversa. El coeficiente de correlación de Pearson obtenido fue de $r = -0,620$, con un nivel de significancia bilateral $p = 0,000$, lo que indica una correlación negativa fuerte y estadísticamente significativa al 99% de confianza. Este resultado demuestra que los

incrementos en la temperatura promedio se asocia con disminuciones en la superficie de la laguna Huayllumayu.

En función de los resultados obtenidos y considerando el nivel de significancia estadística, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y **se acepta la hipótesis alternativa (H_a)**.

4.4.3. DE LA SEGUNDA HIPÓTESIS ESPECÍFICA

Planteamos las siguientes hipótesis:

- H_0 : Las variaciones de la precipitación no influyen significativamente en la superficie de la laguna Huayllumayu, distrito de Espinar, región Cusco, durante el período 2015-2024.
- H_a : Las variaciones de la precipitación influyen significativamente en la superficie de la laguna Huayllumayu, distrito de Espinar, región Cusco, durante el período 2015-2024.

Tabla 05: Matriz de correlación entre la precipitación y la superficie.

		Precipitación	
		Superficie [m2]	Acumulada [mm]
Superficie [m2]	Correlación de Pearson	1	,305**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	120	120
Precipitación Acumulada [mm]	Correlación de Pearson	,305**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	120	120

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

En primer lugar, el análisis descriptivo presentado en la Tabla 03 evidencia que la precipitación acumulada durante el período 2015–2024 presentó una marcada variabilidad, con valores máximos de 187,00 mm, mínimos de 0,00 mm y un promedio de 58,59 mm. De manera paralela, la superficie de la laguna mostró fluctuaciones entre 35

674,72 m² y 37 244,56 m², lo que refleja cambios en el espejo de agua asociados a la dinámica pluviométrica de la zona de estudio.

Asimismo, la Figura 05 muestra las variaciones temporales de la precipitación acumulada y la superficie de la laguna, así como sus respectivas tendencias. La tendencia de la precipitación presenta una ligera pendiente negativa, representada por la ecuación $y = -0.0009x + 59.318$, lo que indica una leve disminución de la precipitación acumulada a lo largo del período de estudio. En tanto, la superficie de la laguna mantiene una tendencia decreciente, expresada mediante la ecuación $y = -0.6353x + 36 358$, sugiriendo que la reducción del espejo de agua ocurre en un contexto de variabilidad e irregularidad de las precipitaciones.

El análisis estadístico de correlación, presentado en la Tabla 05, muestra un coeficiente de correlación de Pearson de $r = 0,305$, con un nivel de significancia bilateral $p = 0,000$, lo que indica una correlación directa de intensidad moderada y estadísticamente significativa al 99% de confianza. Este resultado evidencia que los incrementos en la precipitación acumulada se asocian con aumentos en la superficie de la laguna Huayllumayu, aunque con una influencia menor en comparación con la temperatura.

En función de los resultados obtenidos y considerando el nivel de significancia estadística, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y **se acepta la hipótesis alternativa (H_a)**.

CONCLUSIONES

PRIMERA. La temperatura y la precipitación influyen de manera significativa en la superficie de la laguna Huayllumayu durante el periodo 2015 - 2024. Los resultados evidencian que la temperatura presenta una influencia inversa moderada y estadísticamente significativa sobre la superficie del espejo de agua ($r = -0.620$; $p = 0.000$), mientras que la precipitación muestra una influencia directa pero moderada ($r = 0.305$; $p = 0.000$). En conjunto, ambas variables climáticas explican la dinámica temporal de la superficie lacustre, siendo la temperatura el factor de mayor incidencia relativa en la reducción progresiva del área de la laguna.

SEGUNDA. Existe una relación inversa moderada y estadísticamente significativa entre la temperatura promedio y la superficie de la laguna Huayllumayu en el periodo de estudio. El análisis de tendencias muestra un incremento sostenido de la temperatura ($y = 0.0009x + 4.0175$), acompañado de una disminución progresiva de la superficie ($y = -0.6353x + 36358$), lo que confirma que el aumento térmico favorece procesos como la evaporación, contribuyendo a la reducción del espejo de agua.

TERCERA. La precipitación acumulada mantiene una relación directa, significativa pero de intensidad moderada con la superficie de la laguna Huayllumayu durante el periodo 2015 - 2024. Aunque la tendencia de la precipitación es ligeramente decreciente ($y = -0.0009x + 59.318$), su correlación positiva con la superficie ($r = 0.305$; $p = 0.000$) indica que los incrementos pluviométricos contribuyen parcialmente a la recuperación o mantenimiento del espejo de agua.

RECOMENDACIONES

PRIMERA. A la Autoridad Nacional del Agua (ANA), en coordinación con el Gobierno Regional del Cusco y la Municipalidad Provincial de Espinar, fortalecer los programas de monitoreo hidrometeorológico permanente en la laguna Huayllumayu, incorporando el seguimiento conjunto de temperatura, precipitación y superficie lacustre mediante sensores climáticos y teledetección, con el fin de anticipar escenarios de reducción del espejo de agua y apoyar la toma de decisiones en la gestión sostenible del recurso hídrico.

SEGUNDA. Al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y a las instituciones académicas y centros de investigación ambiental, profundizar el análisis del impacto del incremento de la temperatura sobre los procesos de evaporación y balance hídrico de la laguna Huayllumayu, promoviendo estudios complementarios que integren variables como evapotranspiración potencial, radiación solar y viento, a fin de diseñar estrategias de adaptación frente al calentamiento en ecosistemas altoandinos.

TERCERA. A la Municipalidad Distrital de Espinar, en articulación con las comunidades locales y organizaciones de usuarios de agua, implementar medidas de manejo y conservación del entorno inmediato de la laguna, tales como el control del pastoreo intensivo, la protección de zonas de recarga hídrica y la restauración de bofedales, con el propósito de optimizar el aprovechamiento de la precipitación disponible y reducir la vulnerabilidad de la superficie lacustre frente a la variabilidad climática.

BIBLIOGRAFÍA

- ALMAWATECH. (2024). *Precipitación—Glosario*.
<https://www.almawatech.com/es/aguas-residuales/praezipitation/>
- Ancari Villcarani, L. (2022). LA TELEDETECCIÓN SATELITAL Y LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL. *Revista de Información, Tecnología y Sociedad*, 40.
http://revistasbolivianas.umsa.bo/scielo.php?script=sci_abstract&pid=&lng=es&nrm=iso&tlng=
- Becerra, V., Beizaga, W., & Vargas, R. (2022). ECOSISTÉMICOS: CASO DE LAGUNAS ALTOANDINAS. *El Antoniano*, 135(1), 18-49.
<https://doi.org/10.51343/anto.v135i1.863>
- Brown Manrique, O., Gallardo Ballat, Y., Correa Santana, A., & Barrios García, S. (2015). El cambio climático y sus evidencias en las precipitaciones. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 36(1), 88-101.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1680-03382015000100007&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Carrillo Espinoza, J. I. (2022). Análisis de las variables climatológicas sobre la laguna Parón en el periodo 2003 al 2020, Ancash, Perú. *Revista Científica: BIOTECH AND ENGINEERING*, 2(02), 20-37. <https://doi.org/10.52248/eb.vol2iss02.53>
- Castro Salazar, M. M., & Tapia Marquina, H. A. (2023). *Estudio hidrológico de la microcuenca río Huayllumayo para la demanda agrícola de las comunidades campesinas de Oquebamba y Pumahuasi, provincia de Espinar, región Cusco*.
<http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/11878>
- CEPAL. (2017). *Daño y pérdida de biodiversidad*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
<https://www.cepal.org/es/temas/biodiversidad/perdida-biodiversidad>
- Cervantes, R., Sánchez, J. M., Alegre, J., Rendón, E., Baiker, J. R., Locatelli, B., Bonnesoeur, V., Cervantes, R., Sánchez, J. M., Alegre, J., Rendón, E., Baiker, J. R., Locatelli, B., & Bonnesoeur, V. (2021). Contribución de los ecosistemas

- altoandinos en la provisión del servicio ecosistémico de regulación hídrica. *Ecología Aplicada*, 20(2), 137-146. <https://doi.org/10.21704/rea.v20i2.1804>
- Chirinos, R. (2021). *Efectos económicos del cambio climático en el Perú* (Banco Central de Reserva del Perú). Serie de Documentos de Trabajo Working Paper series. <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Documentos-de-Trabajo/2021/documento-de-trabajo-009-2021.pdf>
- CLEAN. (2020). *Entendiendo el clima*. Enseñando Sobre El Clima. https://cleanet.org/clean/literacy/climate/spanish/principle_5.html
- Cruz Chique, W. J. (2023). *Análisis multitemporal del espejo de agua de la laguna chacas empleando imágenes satelitales Landsat (1984—2022)*. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/20842>
- EOS. (2025). *NASA's Earth Observing System Project Science Office | NASA's Earth Observing System*. <https://eosps.nasa.gov/content/nasas-earth-observing-system-project-science-office>
- Eraso Tiza, Y. Y. (2024). Comportamiento del nivel de espejo de agua de la laguna Lasuntay durante el fenómeno de La Niña (2020-2021) en el Área de Conservación Regional Huaytapallana. *Universidad Continental*. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/17469>
- Flores-Condori, E., Flores-Quispe, E. L., & Morales-Aranibar, L. (2021). Influencia de factores climáticos en la regionalización de precipitaciones máximas en la vertiente del Lago Titicaca. *Manglar*, 18(1), Article 1. <https://doi.org/10.17268/manglar.2021.004>
- Gettelman, A., & Rood, R. B. (2016). Components of the Climate System. En A. Gettelman & R. B. Rood, *Demystifying Climate Models* (Vol. 2, pp. 13-22). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-48959-8_2
- Gonzales, C. (2021). *Analisis multitemporal de los lagos de Michoacán mediante teledeteccion* [Universidad Michoacan de San Nicolas de Hidalgo].

- https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB_UMICH/6428/FB-M-2021-0834.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy&ved=2ahUKEwj4h__6y8-OAxVBO7kGHf73PCoQFnoECBgQAQ&usg=AOvVaw2ot55bKwyj3GSbodznG5lb
- Ibarra, D., & Belmonte, F. (2017). *Comprendiendo el litoral: Dinámica y procesos* (Ediciones de la Universidad de Murcia).
<https://www.age-geografia.es/site/wp-content/uploads/2017/12/IbarraBelmonte.pdf>
- Ingeoexpert. (2021). *¿Qué son los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y cómo funcionan?*
<https://ingeoexpert.com/articulo/que-son-los-sistemas-de-informacion-geografica-sig-y-como-funcionan/>
- IPCCC. (2025). *Los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero y el Sexto Informe de Evaluación (IE6)*.
https://archive.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml
- Jihuallanca Pari, Y. (2024). Relación entre la precipitación y temperatura con la superficie de la laguna Lagunillas, Santa Lucia – Puno, periodo del 2013 al 2023. *Universidad Privada San Carlos*.
<http://repositorio.upsc.edu.pe:8080/handle/UPSC/1165>
- Jonker, A. (2023, octubre 30). *¿Qué es un SIG (sistema de información geográfica)? | IBM*. <https://www.ibm.com/mx-es/think/topics/geographic-information-system>
- McFeeters, S. (2013). Using the Normalized Difference Water Index (NDWI) within a Geographic Information System to Detect Swimming Pools for Mosquito Abatement: A Practical Approach. *Remote Sensing*, 5(7), 3544-3561.
<https://doi.org/10.3390/rs5073544>
- MEF. (2019). *Plan Nacional de INFRAESTRUCTURA para la COMPETITIVIDAD*. Ministerio de Economía y Finanzas.
https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_privada/planes/PNIC_2019.pdf
- MIDAGRI. (2011). *Diagnóstico y Plan de Gestión de los Recursos Hídricos en la Cuenca*

de Madre de Dios – Fase I.

<https://www.midagri.gob.pe/portal/42-sector-agrario/recurso-agua/326-lagunas>

Moreno, H. (2020). *Estudio sobre la definición de algunos términos geográficos , lago y laguna*. (Artículo del Boletín de la Sociedad Geográfica de Colombia).

https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/MORENO%201953.%20Lago%20y%20laguna.pdf

Ochoa, P., & Jerson, L. (2021). Variabilidad espacial y temporal de la sequía meteorológica en el lago Titicaca al 2030. *Repositorio Institucional - UCV*.

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/62008>

OnGeo. (2024). *The remote sensing indices NDVI, NDMI, and NDWI*. OnGeo Intelligence.

<https://ongeo-intelligence.com/blog/remote-sensing-indices>

Peña, M. A. (2010). Propiedades del primer sistema de teledetección hiperespectral chileno. *Revista de geografía Norte Grande*, 46, 159-163.

<https://doi.org/10.4067/S0718-34022010000200011>

Polanco, D. (2017). *Temperatura: Definición, medición y escalas—Naturaleza y ecología*.

<https://naturaleza.animalesbiologia.com/atmosfera/temperatura-definicion-medicion-escalas>

Porras, C. A. V., Aguirre, C., Rejas, M. A. C., & Salinas, J. B. G. (2022). Variabilidad interanual de la temperatura superficial del lago Titicaca usando imágenes MODIS del invierno (2001-2014). *Revista de Investigación de Física*, 25(1), Article 1.

<https://doi.org/10.15381/rif.v25i1.21030>

Rodríguez Castillo, A., Ugarte López, W., Paredes Pérez, A., & Cano Urbina, E. (2025).

Valoración de servicios ambientales de Lagunas Altoandinas bajo una visión ecosistémica, Microcuenca Caballo Norte, Perú. *HOLOS*, 8(40).

<https://doi.org/10.15628/holos.2024.16773>

United Nations, C. C. (2025). *Get the latest climate change news*. <https://unfccc.int/>

Vizquete-Montero, M. O. (2025). Análisis de la respuesta hidrológica de la laguna Limoncocha a las tendencias climáticas globales. *Revista Cubana de*

Meteorología, 31(1).

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2664-08802025000100005&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Zubieta Barragán, R., Molina-Carpio, J., Laqui, W., Sulca Jota, J. C., & Ilbay, M. (2021).

Impactos del cambio climático en diferentes tipos de sequías en la cuenca del Titicaca. <http://hdl.handle.net/20.500.12816/5336>

ANEXOS

Anexo 01: Matriz de consistencia de la investigación. TEMPERATURA, PRECIPITACIÓN Y SU INFLUENCIA CON LA SUPERFICIE DE LA LAGUNA HUAYLLUMAYU, ESPINAR - CUSCO DEL 2015 al 2024.

PROBLEMA	OBJETIVOS		HIPÓTESIS		VARIABLES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	METODOLOGÍA
	OBJETIVO GENERAL	OBJETIVO ESPECÍFICO	HIPÓTESIS GENERAL	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS				
¿Cuál es la influencia de la temperatura y precipitación en la superficie de la laguna Huayllumayu, Espinar - Cusco, en el periodo 2015 al 2024?	Determinar la influencia de la temperatura y la precipitación en la superficie de la laguna Huayllumayu, Espinar - Cusco, en el periodo 2015 al 2024.		La temperatura y precipitación se relacionan significativamente con la superficie de la laguna Huayllumayu, Espinar - Cusco, en el periodo 2015 al 2024.		V.I. Temperatura y Precipitación	- Precipitación acumulada mensual. - Temperatura media mensual	Software ARGIS Registro de datos meteorológicos del SENAMHI.	La técnica utilizada será el procesamiento de imágenes satelitales. Método de análisis de datos, - Análisis correlacional - Análisis descriptivo (gráficos de tendencia)
PROBLEMA ESPECÍFICO	OBJETIVO ESPECÍFICO	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS			V.D. Superficie de la laguna Huayllumayu.	- Superficie		
¿Qué relación existe entre las variaciones de temperatura y los cambios en la superficie de la laguna Huayllumayu, Espinar - Cusco, en el periodo 2015 al 2024?	Analizar la relación entre las variaciones de temperatura y los cambios en la superficie de la laguna Huayllumayu, Espinar - Cusco, en el periodo 2015 al 2024.		No se ha considerado debido a que la hipótesis general abarca a las dimensiones precipitación y temperatura.					
¿Qué relación existe entre las variaciones de precipitación y los cambios en la superficie de la laguna Huayllumayu, Espinar - Cusco, en el periodo 2015 al 2024?	Analizar la relación entre las variaciones de precipitación y los cambios en la superficie de la laguna Huayllumayu, Espinar - Cusco, en el periodo 2015 al 2024.							

Anexo 02: Tabulación de datos, de superficie, precipitación y temperatura.

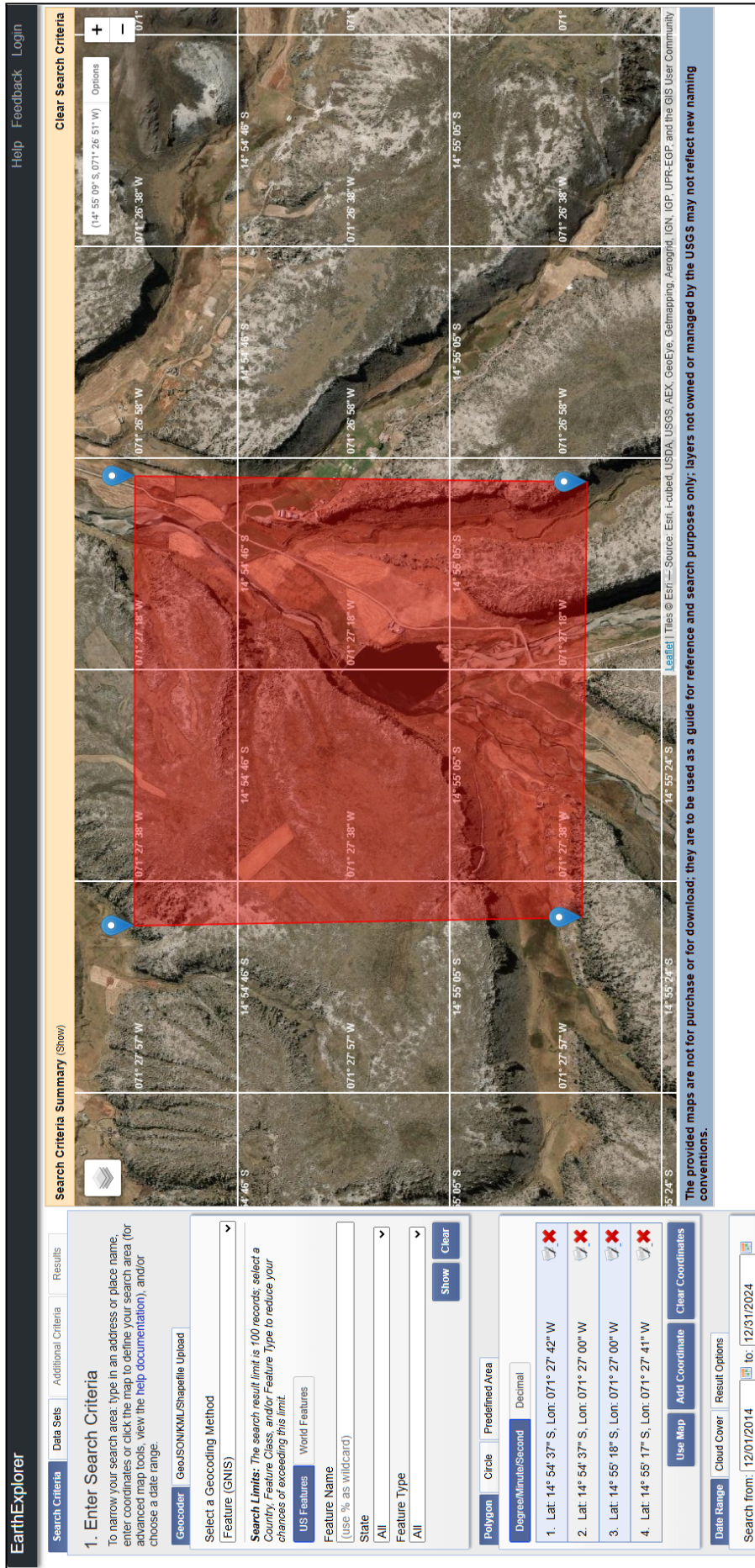
	A	B	C	D	E
1	Año	Mes	Superficie [m ²]	Precipitación Acumulada [mm]	Temperatura Promedio [°C]
2	2015	Enero	35905.36028	96.4	5.638709677
3	2015	Febrero	35945.98823	121	6.442857143
4	2015	Marzo	35854.02986	187	5.967741935
5	2015	Abril	35674.72213	114.1	5.333333333
6	2015	Mayo	36093.01327	0.2	2.709677419
7	2015	Junio	36451.94443	0	0.706666667
8	2015	Julio	37244.56382	1.8	-0.025806452
9	2015	Agosto	36985.54762	4	1.2
10	2015	Setiembre	36966.61069	54.5	3.293333333
11	2015	Octubre	36782.27699	41.5	3.612903226
12	2015	Noviembre	36152.1606	23.2	5.913333333
13	2015	Diciembre	36037.32934	59.4	5.858064516
14	2016	Enero	36181.25757	79.7	6.696774194
15	2016	Febrero	36284.29569	202.6	6.772413793
16	2016	Marzo	35628.84304	9.8	6.677419355
17	2016	Abril	35634.17176	57.5	4.866666667
18	2016	Mayo	36067.33363	0.5	2.103225806
19	2016	Junio	36845.41618	2	0.566666667
20	2016	Julio	37029.23382	3.4	0.748387097
21	2016	Agosto	36933.94708	0	1.096774194
22	2016	Setiembre	37005.0787	0.3	2.933333333
23	2016	Octubre	36932.80203	76	4.264516129
24	2016	Noviembre	36077.71036	43	4.446666667
25	2016	Diciembre	36247.86235	49.7	5.980645161
26	2017	Enero	35993.77575	314.3	5.638709677
27	2017	Febrero	36276.56128	119.2	6.378571429
28	2017	Marzo	35699.84555	145.7	6.419354839
29	2017	Abril	35774.89139	45.5	4.773333333
30	2017	Mayo	36197.19838	21.7	3.406451613
31	2017	Junio	36631.84748	1	0.473333333
32	2017	Julio	37312.22288	1.6	0.122580645
33	2017	Agosto	36915.6349	0	0.75483871
34	2017	Setiembre	37393.62157	62.3	3.74
35	2017	Octubre	36557.0932	65.2	4.109677419
36	2017	Noviembre	36482.64339	23.9	5.753333333
37	2017	Diciembre	36275.45664	68.5	6.083870968

	A	B	C	D	E
38	2018	Enero	35845.93847	171.1	5.787096774
39	2018	Febrero	36102.85771	152.1	6.242857143
40	2018	Marzo	35505.13363	114.1	6.038709677
41	2018	Abril	35855.10898	33.2	4.286666667
42	2018	Mayo	36112.70753	7.8	1.638709677
43	2018	Junio	36938.52796	12.9	1.006666667
44	2018	Julio	37263.78667	32.1	1.148387097
45	2018	Agosto	36633.53719	0	1.374193548
46	2018	Setiembre	37496.60836	3.6	2.42
47	2018	Octubre	36891.05648	45.5	5.503225806
48	2018	Noviembre	36316.37338	22.7	6.56
49	2018	Diciembre	35864.2842	89.8	5.922580645
50	2019	Enero	36266.62189	148.2	6.793548387
51	2019	Febrero	36267.17394	78.7	6.75
52	2019	Marzo	35942.73461	43.7	6.451612903
53	2019	Abril	35899.95016	58.6	5.593333333
54	2019	Mayo	35836.23362	19	2.619354839
55	2019	Junio	36550.36345	2.2	0.733333333
56	2019	Julio	37381.88766	7.6	0.496774194
57	2019	Agosto	36640.86108	0	1.251612903
58	2019	Setiembre	36998.18302	12.6	4.593333333
59	2019	Octubre	36621.14958	39.9	4.741935484
60	2019	Noviembre	36323.57099	92.5	5.626666667
61	2019	Diciembre	36338.52899	81.5	6.838709677
62	2020	Enero	36250.06834	142.9	6.974193548
63	2020	Febrero	36177.41189	140.8	7.217241379
64	2020	Marzo	35856.18818	107.01	7.094117647
65	2020	Abril	35859.42615	48.2	4.286666667
66	2020	Mayo	36074.43285	6.2	1.638709677
67	2020	Junio	36665.10714	3.7	1.006666667
68	2020	Julio	36938.52796	3.6	1.148387097
69	2020	Agosto	36984.39937	8.3	1.374193548
70	2020	Setiembre	37043.05092	19.8	2.42
71	2020	Octubre	36482.64339	52.5	5.503225806
72	2020	Noviembre	36012.27316	55	6.56
73	2020	Diciembre	36278.77078	121.3	5.922580645

	A	B	C	D	E
74	2021	Enero	36054.7803	148.3	5.670967742
75	2021	Febrero	35885.35097	0	7.217241379
76	2021	Marzo	35825.45661	139.7	5.858064516
77	2021	Abril	35671.51743	39.2	4.096666667
78	2021	Mayo	35972.03841	23	2.096774194
79	2021	Junio	36587.40774	0	0.56
80	2021	Julio	37162.65273	0.1	0.806451613
81	2021	Agosto	37164.97149	5.1	1.438709677
82	2021	Setiembre	37130.7992	29.5	4.42
83	2021	Octubre	36480.96757	36.1	4.941935484
84	2021	Noviembre	36239.59224	21.2	6.026666667
85	2021	Diciembre	36086.45329	129.2	6.012903226
86	2022	Enero	35974.21096	211	5.967741935
87	2022	Febrero	36064.6039	95.1	6.092857143
88	2022	Marzo	35741.08176	117.8	6.309677419
89	2022	Abril	35454.94036	48.2	4.286666667
90	2022	Mayo	36301.43361	6.2	1.638709677
91	2022	Junio	36877.92332	3.7	1.006666667
92	2022	Julio	36946.54724	3.6	1.083333333
93	2022	Agosto	36976.36365	8.3	1.374193548
94	2022	Setiembre	37303.46003	19.8	2.22
95	2022	Octubre	36791.93292	52.5	5.503225806
96	2022	Noviembre	36361.8215	55	6.56
97	2022	Diciembre	36246.20802	121.3	5.922580645
98	2023	Enero	36316.92694	142.9	5.670967742
99	2023	Febrero	35941.10802	140.8	7.217241379
100	2023	Marzo	35414.88781	107.01	5.858064516
101	2023	Abril	35838.92888	48.2	4.096666667
102	2023	Mayo	36012.27316	6.2	2.096774194
103	2023	Junio	36735.20602	3.7	0.56
104	2023	Julio	37005.0787	3.6	0.806451613
105	2023	Agosto	36863.65874	8.3	0.753333333
106	2023	Setiembre	37097.84492	19.8	3.373333333
107	2023	Octubre	36801.59392	52.5	5.783870968
108	2023	Noviembre	36443.02352	55	6.086666667
109	2023	Diciembre	36031.87938	121.3	7.377419355

	A	B	C	D	E
110	2024	Enero	36145.03075	176.95	5.819354839
111	2024	Febrero	36003.02208	117.95	6.655049261
112	2024	Marzo	35577.23711	112.405	6.083870968
113	2024	Abril	35645.90054	48.2	4.191666667
114	2024	Mayo	36156.54959	6.2	1.867741935
115	2024	Junio	36806.71062	3.7	0.783333333
116	2024	Julio	36975.78981	3.6	0.944892473
117	2024	Agosto	36920.21124	8.3	1.063763441
118	2024	Setiembre	37200.36835	19.8	2.796666667
119	2024	Octubre	36797.04694	52.5	5.643548387
120	2024	Noviembre	36402.37723	55	6.323333333
121	2024	Diciembre	36139.4587	121.3	6.65

Anexo 03: Determinación de la zona de estudio para las descargas de las imágenes entre el periodo del 2014 al 2024.



EarthExplorer Help Feedback Login

Search Criteria Data Sets Additional Criteria Results

1. Enter Search Criteria
To narrow your search area, type in an address or place name, enter coordinates or click the map to define your search area (for advanced map tools, view the [help documentation](#)), and/or choose a date range.

Geocoder:

Select a Geocoding Method
Feature: (GNIS)

Search Limits: The search result limit is 100 records, select a Country, Feature Class, and/or Feature Type to reduce your chances of exceeding this limit.

US Features World Features

Feature Name
(use % as wildcard)

State
All

Feature Type
All

Stop Clear

Polygon Circle Predefined Area

Degree/Minute/Second Decimal

1. Lat: 14° 54' 37" S, Lon: 071° 27' 42" W ❌
2. Lat: 14° 54' 37" S, Lon: 071° 27' 00" W ❌
3. Lat: 14° 55' 18" S, Lon: 071° 27' 00" W ❌
4. Lat: 14° 55' 17" S, Lon: 071° 27' 41" W ❌

Use Map Add Coordinate Clear Coordinates

Date Range Cloud Cover Result Options

Search from: to:

Search Criteria Summary (Show) Clear Search Criteria

(14° 55' 09" S, 071° 26' 51" W) Options

071° 26' 38" W 14° 54' 46" S 071° 26' 58" W 14° 54' 46" S 071° 27' 38" W 14° 54' 46" S 071° 27' 18" W 14° 54' 46" S 071° 27' 38" W 14° 54' 46" S 071° 27' 18" W 14° 55' 05" S 071° 26' 38" W 14° 55' 05" S 071° 26' 58" W 14° 55' 05" S 071° 27' 38" W 14° 55' 05" S 071° 27' 18" W 14° 55' 24" S 14° 55' 24" S

Legal | Tiles © Esri — Source: Esri, DeLorme, GeoEye, Geometric, IGN, IGP, UPR-EGP, and the GIS User Community

The provided maps are not for purchase or for download; they are to be used as a guide for reference and search purposes only; layers not owned or managed by the USGS may not reflect new naming conventions.

Anexo 04: Determinación del tipo de imágenes a descargar.

Search Criteria
Data Sets
Additional Criteria
Results

4. Search Results

If you selected more than one data set to search, use the dropdown to see the search results for each specific data set.

Note: *You must be logged in to download and order scenes*

Show Browse/Footprint Controls
▼

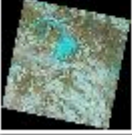

Show Result Controls
▼

Data Set
[Click here to export your results »](#)

Landsat 8-9 OLI/TIRS C2 L1
▼

« First ‹ Previous of 5 Next › Last »

Displaying 1 - 100 of 487

	<p>ID: LC08_L1TP_003070_20241227_20250103_02_T1</p> <p>Date Acquired: 2024/12/27</p> <p>Path: 003</p> <p>Row: 070</p> <div style="display: flex; justify-content: center; gap: 5px;"> </div>
	<p>ID: LC08_L1TP_003071_20241227_20250103_02_T1</p> <p>Date Acquired: 2024/12/27</p> <p>Path: 003</p> <p>Row: 071</p> <div style="display: flex; justify-content: center; gap: 5px;"> </div>
	<p>ID: LC09_L1TP_003070_20241219_20241219_02_T1</p> <p>Date Acquired: 2024/12/19</p> <p>Path: 003</p> <p>Row: 070</p> <div style="display: flex; justify-content: center; gap: 5px;"> </div>
	<p>ID: LC08_L1TP_003070_20241211_20241218_02_T1</p> <p>Date Acquired: 2024/12/11</p>

[DOI Privacy Policy](#) | [Legal](#) | [Accessibility](#) | [Site Map](#) | [Contact USGS](#)