

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**COMPORTAMIENTO DEL ESPEJO DE AGUA DE LA LAGUNA UMAYO
APLICANDO IMÁGENES SATELITALES LANDSAT (PERIODO 2010 - 2025)**

PRESENTADA POR:

MARY LUZ RAMÍREZ QUISPE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PUNO – PERÚ

2025



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/)



10.34%

SIMILARITY OVERALL

SCANNED ON: 16 DEC 2025, 6:03 PM

Similarity report

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

● IDENTICAL
1.85%

● CHANGED TEXT
8.48%

Report #30714263

MARY LUZ RAMÍREZ QUISPE // COMPORTAMIENTO DEL ESPEJO DE AGUA DE LA LAGUNA U MAYO APLICANDO IMÁGENES SATELITALES LANDSAT (PERIODO 2010 - 2025)

RESUMEN El estudio tuvo como objetivo determinar el comportamiento del espejo de agua de la laguna Umayo aplicando imágenes satelitales Landsat (periodo 2010 - 2025). La investigación es de diseño no experimental de tipo descriptivo, además se descargó imágenes satelitales Landsat cada dos años bajo un criterio intencional, y se empleó el Índice de Agua Normalizado por Diferencia (NDWI) como herramienta principal para el procesamiento de las imágenes. Los resultados revelaron las siguientes variaciones en la extensión del espejo de agua: 2010: 27.39 km², 2012: 33.91 km², 2014: 35.46 km², 2016: 33.57 km², 2018: 27.30 km², 2020: 75.61 km², 2022: 23.43 km², 2025: 83.21 km², de igual forma el análisis mostró que la precipitación en el periodo en estudio oscila entre 65.19mm a 45.72mm, presentando una relación directamente proporcional con la superficie del agua, cuando las precipitaciones disminuyen a una razón de -0.49% , también lo hace la superficie del espejo de agua; mientras que la temperatura oscila entre 16.28°C a 18.99°C, presentando una relación inversamente proporcional, donde a medida que la temperatura aumenta a una razón de 0.13%, la superficie del espejo de agua disminuye, además se proyecta que para el año 2040, el espejo de agua disminuirá a 23.07 km², lo que representa una reducción significativa con

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

COMPORTAMIENTO DEL ESPEJO DE AGUA DE LA LAGUNA UMAYO
APLICANDO IMÁGENES SATELITALES LANDSAT (PERIODO 2010 - 2025)

PRESENTADA POR:

MARY LUZ RAMÍREZ QUISPE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:


PRESIDENTE

: 
Mg. JULIO WILFREDO CANO OJEDA

PRIMER MIEMBRO

: 
Dra. MARLENE CUSI MONTESINOS

SEGUNDO MIEMBRO

: 
M.Sc. KORINA ASQUI GOMEZ

ASESOR DE TESIS

: 
Dr. ESTEBAN ISIDRO LEON APAZA

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub Área: Ingeniería Ambiental

Línea de investigación: Ciencias ambientales

Puno, 18 de diciembre del 2025.

DEDICATORIA

A Dios por haber permitido llegar hasta este momento y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis padres Olga quispe, Teofilo carreon por poner en mi toda su fe y su confianza de ver este sueño hecho realidad por su ejemplo de perseverancia y constancia que los caracterizan y que me han influenciado siempre por el valor mostrado para salir adelante por darme una carrera para mi futuro todo esto se lo debo a ustedes. A mi hermano Vladimir por estar presente en cada momento. por darme sus positivos consejos.

A mi nueva familia, a mi esposo Fredy por su apoyo incondicional, paciencia infinita y amor. a mi bebe Mark, razón de mi fuerza extra ha sido fundamental para que yo pueda enfocarme en culminar esta meta. Su presencia me enseña el verdadero significado de la perseverancia y la fe por ser mi red de apoyo en esta etapa tan retadora son mi motivación y razón de ser con ustedes, he aprendido que la familia no solo se hereda, sino que también se construye.

A mi tío Francisco cuya ausencia hoy me duele pero cuyo legado perdura. por enseñarme a valorar lo invisible el amor, la honestidad y la bondad que trascienden lo material. se que desde donde estés, celebras este momento.

A mis abuelos que estuvieron alentando en cada momento de mi vida su amor y enseñanzas son el faro que ilumina mi camino por cada risa, por cada historia y por el recuerdo imborrable de su cariño.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Privada San Carlos - Puno, por brindarme la oportunidad de acceder a estudios superiores, en especial a la escuela profesional de ingeniería ambiental y su destacada plana docente, por ser el espacio donde pude desarrollar mis capacidades, consolidar mi formación profesional y forjar un camino de crecimiento académico y personal.

Agradezco profundamente a mi asesor de tesis: Dr. Esteban Isidro Leon Apaza, por su valiosa orientación, paciencia y dedicación en cada etapa del presente trabajo.

Mi reconocimiento también a los miembros del jurado, quienes con su experiencia y criterio académico enriquecieron este proyecto con sus aportes positivos.

Agradezco a mis padres, pilares fundamentales en mi vida, por su amor incondicional, sus sacrificios silenciosos, su ejemplo de lucha y su confianza plena en mí. cada página de esta tesis lleva impreso su apoyo. a mi familia en general, por estar presente en cada logro y también en cada tropiezo, por sus consejos sinceros y paciencia. gracias por sus palabras de aliento, por escuchar sin juzgar y por recordarme que no estoy sola.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE ANEXOS	9
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN	12

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.1.1. PROBLEMA GENERAL	15
1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	16
1.2. ANTECEDENTES	16
1.2.1. A NIVEL INTERNACIONAL	16
1.2.2. A NIVEL NACIONAL	19
1.2.3. A NIVEL REGIONAL	21
1.3. OBJETIVOS	23
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	23
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	24
2.1.1. CUERPOS DE AGUA	24

2.1.2. ESPEJO DE AGUA	25
2.1.3. FACTORES CLIMÁTICAS QUE INFLUYEN EN EL ESPEJO DE AGUA	25
2.1.4. CAMBIO CLIMÁTICO	26
2.1.5. TELEDETECCIÓN	27
2.1.6. SATÉLITES PARA LA TELEDETECCIÓN	29
2.1.7. IMÁGENES SATELITALES LANDSAT	31
2.1.8. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES	33
2.1.9. ÍNDICES ESPECTRALES PARA LA DELIMITACIÓN DEL ESPEJO DE AGUA	36
2.1.10. ANÁLISIS MULTITEMPORAL	37
2.1.11 SOFTWARES DE ANÁLISIS GEOESPACIAL	38
2.2. MARCO CONCEPTUAL	39
2.3. MARCO NORMATIVO	40
2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	40
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL	40
2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	40
CAPÍTULO III	
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	
3.1. ZONA DE ESTUDIO	42
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	42
3.2.1. POBLACIÓN	42
3.2.2. MUESTRA	43
3.3. METODOS Y TECNICAS	43
3.3.1. NIVEL DE INVESTIGACIÓN	43
3.3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN	43
3.3.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	43
3.3.4. MÉTODO	43
3.3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	44

3.3.6. DISEÑO METODOLÓGICO POR OBJETIVOS	44
3.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	47
3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO	47
CAPÍTULO IV	
EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	
4.1. OBJETIVO ESPECÍFICO N° 01: DETERMINAR LA VARIACIÓN DEL ESPEJO DE AGUA GENERADO ENTRE LOS PERIODOS 2010 - 2025, DE LA LAGUNA U MAYO	49
4.1.1. ESPEJO DE AGUA DE LA LAGUNA U MAYO	49
4.1.2. TASA DE CAMBIO DEL ESPEJO DE AGUA	56
4.1.3. INDICADORES DE VALIDACIÓN	58
4.2. OBJETIVO ESPECÍFICO N° 02: DETERMINAR LA RELACIÓN DE LOS FACTORES CLIMÁTICOS CON RESPECTO A LA EXTENSIÓN DEL ESPEJO DE AGUA GENERADO ENTRE LOS PERIODOS 2010 - 2025, DE LA LAGUNA U MAYO	58
4.2.1. PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA DE LA LAGUNA U MAYO	59
4.2.2. IMPACTO DE LOS FACTORES CLIMÁTICOS EN LA SUPERFICIE DEL ESPEJO DEL AGUA DE LA LAGUNA U MAYO	65
4.3. ESTIMAR EL PORCENTAJE DE VARIACIÓN DEL ESPEJO DE AGUA PARA EL AÑO 2040 DE LA LAGUNA U MAYO	66
4.3.1. PRONÓSTICO DE LA VARIACIÓN DE LOS FACTORES CLIMÁTICOS	66
4.3.2. PRONÓSTICO DE LA VARIACIÓN DEL ESPEJO DE AGUA	68
4.4. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS	69
4.4.1. PRUEBA DE NORMALIDAD	69
4.4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS	69
4.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	71
CONCLUSIONES	73
RECOMENDACIONES	74

BIBLIOGRAFÍA	75
ANEXOS	81

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 01: Tipos de satélites	30
Tabla 02: Fecha de lanzamientos y fin de operación de las misiones Landsat	32
Tabla 03: Operacionalización de variables	47
Tabla 04: Extensión del espejo de agua entre los periodos de 2010 a 2025 de la laguna Umayo	57
Tabla 05: Validación de mapas mediante el Índice Kappa	58
Tabla 06: Precipitación y temperatura de la laguna Umayo – periodo 2010 al 2025	63
Tabla 07: Prueba de normalidad Shapiro – Wilk	69
Tabla 08: Factores climáticos vs. superficie del espejo de agua (Rho de Spearman)	70

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01: Zona de estudio - laguna Umayo	42
Figura 02: Espejo de agua de la laguna Umayo al año 2010	49
Figura 03: Espejo de agua de la laguna Umayo al año 2012	50
Figura 04: Espejo de agua de la laguna Umayo al año 2014	51
Figura 05: Espejo de agua de la laguna Umayo al año 2016	52
Figura 06: Espejo de agua de la laguna Umayo al año 2018	53
Figura 07: Espejo de agua de la laguna Umayo al año 2020	54
Figura 08: Espejo de agua de la laguna Umayo al año 2022	55
Figura 09: Espejo de agua de la laguna Umayo al año 2025	56
Figura 10: Extensión del espejo de agua entre los periodos de 2010 a 2025 de la laguna Umayo	57
Figura 11: Precipitación existente en la laguna Umayo entre el año 2010 - 2016.	59
Figura 12: Precipitación existente en la laguna Umayo entre el año 2018 - 2025.	60
Figura 13: Temperatura existente en la laguna Umayo entre el año 2010 - 2016.	61
Figura 14: Temperatura existente en la laguna Umayo entre el año 2018 - 2025.	62
Figura 15: Tendencia de la precipitación de la laguna Umayo – periodo 2010 al 2025.	63
Figura 16: Tendencia de la temperatura de la laguna Umayo – periodo 2010 al 2025.	64
Figura 17: Factores climáticos vs. Espejo de agua	65
Figura 18: Pronóstico de la precipitación de la laguna Umayo al año 2040	66
Figura 19: Pronóstico de la temperatura de la laguna Umayo al año 2040	67
Figura 20: Pronóstico del espejo de agua de la laguna Umayo al año 2040	68
Figura 21: Fotografía de la laguna Umayo	93
Figura 22: Toma de coordenadas de la laguna Umayo	93
Figura 23: Toma de coordenadas de la laguna Umayo	94
Figura 24: Toma de coordenadas de la laguna Umayo	94

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 01: Matriz de consistencia:	82
Anexo 02: Procesamiento de imágenes satelitales Landsat con la metodología NDVI	83
Anexo 03: Índice Kappa del espejo de agua	85
Anexo 04: Panel figuras	93

RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo determinar el comportamiento del espejo de agua de la laguna Umayo aplicando imágenes satelitales Landsat (periodo 2010 - 2025). La investigación es de diseño no experimental de tipo descriptivo, además se descargó imágenes satelitales Landsat cada dos años bajo un criterio intencional, y se empleó el Índice de Agua Normalizado por Diferencia (NDWI) como herramienta principal para el procesamiento de las imágenes. Los resultados revelaron las siguientes variaciones en la extensión del espejo de agua: 2010: 27.39 km², 2012: 33.91 km², 2014: 35.46 km², 2016: 33.57 km², 2018: 27.30 km², 2020: 75.61 km², 2022: 23.43 km², 2025: 83.21 km², de igual forma el análisis mostró que la precipitación en el periodo en estudio oscila entre 65.19mm a 45.72mm, presentando una relación directamente proporcional con la superficie del agua, cuando las precipitaciones disminuyen a una razón de -0.49% , también lo hace la superficie del espejo de agua; mientras que la temperatura oscila entre 16.28°C a 18.99°C, presentando una relación inversamente proporcional, donde a medida que la temperatura aumenta a una razón de 0.13%, la superficie del espejo de agua disminuye, además se proyecta que para el año 2040, el espejo de agua disminuirá a 23.07 km², lo que representa una reducción significativa con respecto a la extensión registrada en el 2025 (83.21 km²). En conclusión la superficie del espejo de agua de la laguna Umayo es decreciente y están directamente influenciadas por los factores climáticos (precipitación y temperatura).

Palabras clave: Espejo de agua, Factores climáticos, Imágenes satelitales, Laguna Umayo.

ABSTRACT

The study aimed to determine the behavior of the Umayo lagoon water surface using Landsat satellite images (2010-2025 period). The research is a non-experimental descriptive study. Landsat satellite images were downloaded every two years according to specific criteria, and the Normalized Difference Water Index (NDWI) was used as the main tool for image processing. The results revealed the following variations in the size of the water surface: 2010: 27.39 km², 2012: 33.91 km², 2014: 35.46 km², 2016: 33.57 km², 2018: 27.30 km², 2020: 75.61 km², 2022: 23.43 km², 2025: 83.21 km². Similarly, the analysis showed that precipitation in the study period ranged from 65.19 mm to 45.72 mm, showing a directly proportional relationship with the water surface area. When precipitation decreases at a rate of -0.49%, so does the water surface area. Meanwhile, the temperature ranges from 16.28°C to 18.99°C, showing an inversely proportional relationship, where as the temperature increases at a rate of 0.13%, the surface area of the water body decreases. Furthermore, it is projected that by 2040, the water body will decrease to 23.07 km², representing a significant reduction compared to the area recorded in 2025 (83.21 km²). In conclusion, the surface area of the Umayo lagoon is decreasing and is directly influenced by climatic factors (precipitation and temperature).

Key words: Water mirror, Climatic factors, Satellite images, Umayo lagoon.

INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los recursos naturales más importantes para la vida y el desarrollo socioeconómico de las comunidades, especialmente en zonas altoandinas donde la disponibilidad hídrica está estrechamente vinculada a la dinámica climática y a la gestión sostenible de los ecosistemas según Galindo (2021); en estas regiones, los cuerpos de agua, como lagunas y lagos, cumplen funciones ecológicas fundamentales, tales como la regulación hídrica, la conservación de la biodiversidad y el soporte para actividades económicas como el turismo, la pesca y la agricultura (Calcina, 2023); sin embargo, en las últimas décadas, el cambio climático y la presión antrópica han generado una disminución progresiva en la superficie y el volumen de muchos de estos ecosistemas acuáticos, lo que amenaza su equilibrio y el bienestar de las poblaciones circundantes.

La laguna Umayo, ubicada en el departamento de Puno, es un cuerpo de agua de gran importancia ecológica, cultural y turística; este humedal no solo constituye un hábitat para diversas especies de flora y fauna, sino que también es un atractivo turístico asociado al complejo arqueológico de Sillustani. No obstante, en los últimos años se ha reportado una reducción visible de su espejo de agua, situación que podría estar relacionada con factores climáticos como el déficit de precipitaciones y el incremento de la evaporación, así como con la extracción de agua para riego, ganadería y otras actividades humanas; estos cambios generan preocupación por la conservación de la laguna y la sostenibilidad de los servicios ecosistémicos que brinda.

En este contexto, el uso de tecnologías de teledetección, como las imágenes satelitales Landsat, se ha convertido en una herramienta clave para el monitoreo y análisis multitemporal de los recursos hídricos (Castillo & Rodríguez 2017). Estas imágenes permiten evaluar con precisión los cambios en la extensión del espejo de agua a lo largo del tiempo, identificar tendencias y relacionarlas con variables climáticas y antrópicas (Galindo 2021); el uso de índices espectrales como el NDWI (Índice de Agua de Diferencia Normalizada) facilita la delimitación de áreas cubiertas por agua y vegetación

circundante, lo cual es esencial para la toma de decisiones en la gestión ambiental (Arias & Geraldi, 2019).

Por lo tanto, esta investigación tiene como objetivo: Determinar el comportamiento del espejo de agua de la laguna Umayo aplicando imágenes satelitales Landsat (periodo 2010 - 2025); donde los resultados permitirán comprender la dinámica hidrológica de la laguna, identificar factores que contribuyen a su variación y generar información científica que sirva como base para diseñar estrategias de conservación y manejo sostenible. Este estudio también busca contribuir a la implementación de políticas de gestión hídrica en zonas altoandinas, en un escenario donde el cambio climático representa un desafío creciente para la seguridad hídrica y la resiliencia de las comunidades locales.

Del mismo modo, el presente estudio se divide en 4 capítulos, que se enumeran:

El capítulo I, establece el problema de estudio, antecedentes referidos a la investigación, y los objetivos logrados que contempla el estudio,

El capítulo II, manifiesta argumentos relacionados al tema de estudio, marco teórico, marco conceptual referidos a la tesis, y las hipótesis de investigación,

El capítulo III, en donde se contempla la metodología del estudio el cual especifica la población y muestra, el tipo y diseño de estudio, técnicas e instrumentos y el procedimiento metodológico,

El capítulo IV, el cual contempla los resultados logrados con su respectiva contrastación de hipótesis por objetivo, y su discusión. Finalmente, las conclusiones y recomendaciones más importantes.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Como fuente de vida para los seres humanos, los animales y las plantas, tanto en los océanos como en la tierra, los recursos hídricos son ahora fundamentales para la economía mundial (Buelvas, 2019), entre ellos se encuentran los cuerpos de agua lénticos, como lagos, lagunas y humedales, que están asociados a entornos de alta montaña. Estos sistemas cambian a escalas geológicas que son invisibles para las personas (Albán et al., 2021); sin embargo no cuentan con ningún tipo de supervisión para detener las posibles pérdidas del nivel freático provocadas por una mala gestión de los residuos, la extracción de agua, ciclos hidrológicos inestables y/o un uso inadecuado del suelo (Granada & Olave, 2023), que se traducen directamente en una reducción de sus servicios ecosistémicos a cambio del desarrollo de actividades restringidas y/o prohibidas en áreas específicas, como las lagunas, que son ecosistemas únicos debido a su riqueza biológica, ecológica y cultural (Quispe, 2020), precisamente en estas situaciones, la teledetección puede utilizarse como herramienta de gestión; gracias a la información obtenida de las imágenes satelitales, es posible conocer la superficie terrestre sin necesidad de estar físicamente allí, lo que permite un control constante de la dinámica del propio cuerpo de agua y de su entorno (Sanabria, 2020).

Así mismo el Perú, es susceptible al cambio climático; por que ha sido reconocido como un país vulnerable a los efectos nocivos del cambio climático (Larry & Tecse, 2021); provocando cambios en el ciclo hidrológico; cambios en la cantidad, intensidad y

periodicidad de las precipitaciones; lo que daría lugar a una disminución de las lluvias y de los recursos hídricos (Castillo, 2022); las regiones andinas fueron las más afectadas, lo que provocó sequías a finales de 2022 y principios de 2023, que perjudicaron a las comunidades rurales; un caso similar ocurrió en 1976 (Calcina, 2023); por lo tanto, es esencial realizar un seguimiento de la dinámica de la región y del almacenamiento de agua en determinadas lagunas para evaluar los efectos del cambio climático y predecir escenarios futuros (Gómez, 2022); además, el seguimiento de la cantidad de agua superficial contribuye, entre otras cosas, a la elaboración de modelos climáticos y a la gestión de los recursos hídricos (Bioresita et al., 2019).

También la región de Puno, es una de las más vulnerables al cambio climático, especialmente en lo que respecta a las sequías, ya que una gran parte de su población se dedica a la producción agrícola y ganadera. (SENAMHI, 2021); así mismo la laguna Umayo, que está situada en el distrito de Atuncolla; es un ecosistema acuático muy importante del altiplano puneño; por que la población circundante a la laguna se beneficia de los servicios que ofrecen estos ecosistemas, tales como la provisión de agua para la agricultura, ganadería; y la generación de ingresos económicos a los pobladores, sobre todo con la actividad pesquera; sin embargo las sequías suscitadas últimamente han ocasionado fuertes impactos ambientales sobre este ecosistema, una de ellas es la progresiva reducción del espejo de agua.

Particularmente dicha laguna tiene una limitada información sobre datos del espejo de agua en un periodo específico; ante ello el comportamiento, la detección y monitoreo representa un problema notable, ya que no se cuenta con información disponible para realizar gestiones adecuadas del recurso hídrico; por ello es que se propicia el desarrollo de la presente investigación; planteándose las siguientes interrogantes:

1.1.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cómo será el comportamiento del espejo de agua de la laguna Umayo aplicando imágenes satelitales Landsat (periodo 2010 - 2025)?

1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ❖ ¿Cuál es la variación del espejo de agua generado entre los periodos 2010 - 2025, de la laguna Umayo?
- ❖ ¿Cuál es la relación de los factores climáticos con respecto a la extensión del espejo de agua generado entre los periodos 2010 - 2025, de la laguna Umayo?
- ❖ ¿Cuánto es la extensión del espejo de agua para el año 2040 de la laguna Umayo?

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1. A NIVEL INTERNACIONAL

Arteaga et al. (2025), predijeron mediante el análisis multitemporal del espejo de agua e índices vegetativos de la laguna de Chingaza. Esta investigación se enfoca en el uso de tecnologías aeroespaciales, el monitoreo ambiental mediante teledetección satelital y el análisis de datos geospaciales para examinar patrones y tendencias. El estudio enfatiza la importancia del embalse de Chingaza como una fuente de agua crucial para millones de personas en la ciudad de Bogotá, que actualmente enfrenta racionamientos diarios de agua. La correlación entre NDVI (Índice de Vegetación Normalizada) y temperatura muestra un coeficiente de determinación (R^2) de 0.2531, indicando que el 25.31% de la variabilidad en la temperatura puede ser explicada por el NDVI. Esto sugiere una correlación positiva moderada entre NDVI y temperatura, con un valor p de 0.0001, lo que indica una significancia estadística muy alta. En cuanto a la correlación entre NDWI y temperatura, se observó un R^2 de 0.2150, sugiriendo también una correlación positiva moderada, con un valor p de 0.0005. Las predicciones para los años 2026, 2036 y 2046 indican una tendencia decreciente en la vegetación y la humedad superficial, sugiriendo una posible desertificación y pérdida de biodiversidad. Estos resultados subrayan la necesidad urgente de implementar medidas de conservación para mitigar estos efectos negativos y proteger el ecosistema en la región.

Alba & Moreno (2024), determinaron el espejo de agua de la laguna Tominé, en el departamento de Cundinamarca, para el período 1977 – 2023. Mediante el uso de fotografías aéreas del IGAC correspondientes a 2007 y el procesamiento de imágenes

satelitales Landsat de diversos años, se identificaron y digitalizaron la superficie del agua del embalse, así como las regiones cubiertas por vegetación acuática, como el buchón. Para el procedimiento de edición y análisis se utilizó el software ArcMap 10.8.1. Según los resultados, la superficie del embalse era de 2978 hectáreas en 1977, 2010 hectáreas en 1987, 2337 hectáreas en 1997, 3228 hectáreas en 2007, 2884 hectáreas en 2015 y 2905 hectáreas en 2023. Estas cifras demuestran que, a partir del primer año de la investigación, la superficie del embalse disminuyó notablemente durante un breve periodo de tiempo antes de aumentar gradualmente. Al mismo tiempo, se descubrió que en 2007 se registró la mayor ocupación de buchones, que representaban el 25,4 % de la superficie total del embalse, y la mayor expansión. El movimiento del agua hacia y desde el río Bogotá y las precipitaciones, que se vieron afectadas por fenómenos de variabilidad climática interanual como El Niño y La Niña, fueron las principales causas de los cambios en la superficie del embalse. Debido a la expansión o retroceso de la línea de costa del embalse, el sector centro-oeste o isla principal, la bahía sureste o emplazamiento de la antigua ciudad de Guatavita y el extremo sur o cola del embalse, por otro lado, mostraron las mayores diferencias espaciales.

Granada & Olave (2023), evaluaron el análisis multitemporal de cambios en la cobertura vegetal y en el espejo de agua del Humedal Laguna de la Herrera entre 1962, 2019 y 2023. En 1962, cuando comenzaron las operaciones de extracción de piedra frente a la laguna; en 2019, antes de que se iniciaran los esfuerzos de recuperación; y en 2023, cuando la Corporación Autónoma Regional (CAR) está trabajando para restaurar el humedal, se lleva a cabo un análisis. El objetivo es comprender lo que ha sucedido en el humedal durante estas tres épocas y los cambios que ha experimentado este importante recurso hídrico para la ciudad, mediante el análisis de la cobertura del suelo utilizando fotografías satelitales y aéreas. Por último, se determinará el porcentaje y las hectáreas de cobertura del área de investigación elegida para cada uno de estos años.

Albán et al., (2021), evaluación de la pérdida del espejo de agua de las lagunas Caricocha, Chiriyacu y Huarmicocha mediante el análisis multitemporal de imágenes

satelitales en el período de 2000 a 2020 y propiedades físico-químicos de aguas y sedimentos. Por lo tanto, se utilizaron imágenes satelitales y datos meteorológicos del año 2000 al 2020 para proponer un estudio multitemporal de las lagunas Caricocha, Chiriyacu y Huarmicocha. Para evaluar la calidad del agua de las lagunas y determinar si algún proceso está reduciendo la superficie del agua, también se realizó un análisis físico y químico del agua y los sedimentos. Para evaluar la pérdida futura de superficie de las lagunas, también se creó un modelo predictivo utilizando cadenas de Markov. Según los resultados, la superficie de la laguna Caricocha disminuirá en un 2,62 %, la de la laguna Huarmicocha en un 21,97 % y la de la laguna Chiriyacu en un 36,21 % durante los próximos 20 años. Se prevé que la superficie acuática de las lagunas Caricocha y Chiriyacu disminuya un 1,03 % y un 0,60 %, respectivamente, para 2030, mientras que la de la laguna Huarmicocha aumentará un 15,72 %. Sin embargo, las lagunas se encuentran dentro de los rangos de calidad del agua para consumo doméstico, agrícola y humano, según la evaluación físico-química del agua. No obstante, la laguna Chiriyacu no alcanza los niveles aceptables de Fe para la protección de la vida y las especies acuáticas de agua dulce, marinas y estuarinas. Según las concentraciones de Fe y Mn en los sedimentos, se concluyó que la laguna Huarmicocha tiene un nuevo proceso de reducción, mientras que la laguna Caricocha pudo haber tenido una reducción menor en el pasado. La laguna Chiriyacu tiene un proceso de reducción antiguo y uno nuevo, lo que, al compararlo con el análisis multitemporal, muestra claramente una disminución en su superficie de agua.

Pech et al. (2021), realizaron un análisis multitemporal basado en el Índice (NDVI) y (NDWI), usando imágenes satelitales Sentinel-2, Para determinar las variaciones en la superficie oceánica que pueden atribuirse al sureste de México entre 2018 y 2020. La técnica incluyó algoritmos para cuantificar cálculos multitemporales de índices radiométricos y evaluar su comportamiento y los puntos afectados. Los resultados mostraron que los niveles más bajos de la laguna Santana se registraron en 2018 según el cálculo utilizando el índice NDWI. Posteriormente, concluyeron que la desecación que

se había producido en la región de la masa de agua como resultado del cambio climático había tenido un impacto en los años que se investigaron allí. Por último, concluyeron afirmando que sus hallazgos implican un índice radiométrico bajo en los lugares estudiados en 2018. Estos resultados tienen un impacto en la disminución de las masas de agua y en la calidad de las cosechas.

1.2.2. A NIVEL NACIONAL

Otiniano et al. (2023), analizaron la variación interanual del área superficial de la laguna Palcacocha, la superficie glaciar de su microcuenca y la variación del clima en los alrededores, entre los años 1984 y 2022, Con el fin de determinar las correlaciones entre estos factores como medida de la probabilidad de inundaciones como resultado del desbordamiento de la laguna. Utilizando datos de la aplicación Google Earth Engine y datos de fuentes bibliográficas para su validación, se determinó la superficie de la laguna y el área del glaciar mediante imágenes multiespectrales Landsat y se comparó con los resultados del procesamiento de datos meteorológicos de las estaciones de Recuay, Milpo y Anta. Se observó una tendencia a la pérdida de superficie glaciar y un período de crecimiento significativo de la laguna hasta 2012. También se demostró que el crecimiento de la laguna Palcacocha y el aumento anual de la temperatura media mundial estaban fuertemente correlacionados. La laguna Palcacocha también crece como resultado del aumento de las precipitaciones y del mayor retroceso de los glaciares durante un episodio severo de El Niño-Oscilación del Sur.

Gómez (2022), analizó la dinámica multitemporal del espejo de agua de dos lagos amazónicos durante 2014-2020, utilizando imágenes de SAR EN GEE y técnicas de regresión, Por lo tanto, en este estudio, examinamos la dinámica multitemporal de la superficie del agua de los lagos Burlán y Pomacochas entre 2014 y 2020 utilizando productos Sentinel-1 A/B. Para ello, utilizamos los algoritmos Support Vector Machine (SVM), Random Forest (RF) y Classification and Regression Trees (CART) para procesar 517 fotos SAR de cada lago en Google Earth Engine. A continuación, desarrollamos un método para llevar a cabo una regresión lineal simple, una regresión polinómica, una

regresión de vectores de soporte, una regresión de árbol de decisión y una regresión de bosque aleatorio utilizando la información de área y perímetro en Google Collaboratory (GC). Para el 10 de febrero de 2021, se proyectaron el área y el perímetro de cada lago utilizando el método de regresión con el mayor R^2 . A continuación, utilizando puntos de control de un receptor GNSS Trimble R10, este valor se contrastó con un vuelo fotogramétrico de un RPAS. Debido al aumento de las precipitaciones en la zona, el área y el perímetro de cada lago crecieron durante los primeros meses del año. Tanto en la clasificación como en la regresión, la RF superó al RPAS, lo que demostró que el ortomosaico producido por el RPAS se ajustaba estrechamente a la geometría de los polígonos de cada lago. Por último, pero no por ello menos importante, nuestro objetivo era proporcionar una forma rápida de dividir las imágenes SAR en dos grupos y llevar a cabo un análisis de regresión en GC utilizando cinco técnicas reproducibles en Chambe et al. (2021), determinaron el cambio de la superficie de espejo de agua en la laguna Suches y los valores de NDVI del bofedal de Huaytire de 1975 - 2020, aplicó el análisis de imágenes satelitales Landsat; Empleó el método de corrección atmosférica DOS1 (método Chávez), que permite eliminar los datos aportados a la información de la imagen corrigiendo el efecto de dispersión en las moléculas electromagnéticas entrelazadas del agua en la atmósfera. En consecuencia, se demostró que se descubrió una correlación de evaluación ($R^2 = 0,39$, $p = 0,04$). En comparación con otros años previstos, la superficie del lago Suches disminuyó en 822,082 hectáreas en 2015, hasta alcanzar las 1150,12 hectáreas en 2020, y era de 1508,39 hectáreas en 1975. Finalmente, se llegó a la conclusión de que, a diferencia de lo que ocurre a nivel mundial, los datos del humedal de Huaytire y la laguna de Suches no son excepcionales, lo que demuestra que sus datos se encuentran dentro de los límites previstos. Además, se observó una disminución considerable en los años estudiados, con un cambio del 31,43 % en el valor del NDVI del humedal de Huaytire y del 23,75 % en el de la laguna de Suches.

1.2.3. A NIVEL REGIONAL

Cruz (2023), analizó el comportamiento multitemporal del espejo de agua de la laguna Chacas empleando imágenes satelitales Landsat en el periodo 1984 – 2022. El modelo Random Forest sirvió como base para el sistema utilizado para localizar y clasificar los cuerpos de agua. A continuación, se evaluaron los patrones de comportamiento de la laguna de Chacas mediante la prueba de Mann-Kendall y pruebas de correlación entre la temperatura, las precipitaciones y los cambios en el nivel del agua en la superficie. El modelo Random Forest identifica con éxito las masas de agua, basándose en los datos. El coeficiente Kappa de 1 significaba que la concordancia era «casi perfecta». Según la prueba de Mann-Kendall, la tasa de disminución anual de la laguna de Chacas era de $-0,013 \text{ km}^2/\text{año}$, o $Z = -0,338$. La precipitación y la superficie acuática mostraron una «baja correlación», según la prueba de Spearman ($r = 0,38$). Sin embargo, el comportamiento de la superficie acuática mostró una «baja correlación» inversa negativa con las temperaturas. En resumen, el modelo Random Forest de Google Earth Engine identificó eficazmente el agua, el suelo y la cobertura vegetal cuando se combinó con índices normalizados como NDWI y NDVI, produciendo resultados que se ajustan a la realidad. Las precipitaciones se ven directamente afectadas por la reducción de las masas de agua, lo que provoca fluctuaciones en la superficie y una disminución de la superficie del espejo de agua. No obstante, la disminución de la superficie del espejo de agua de la laguna de Chacas está modulada por la temperatura.

Quenta (2023), determinó la correlación entre el área de espejo de agua y la variabilidad climática en la cuenca Ilpa, determinados mediante la plataforma GEE, durante el periodo de 1990 a 2020. Por lo tanto, se examinó el impacto de la temperatura media y la precipitación anual total en la superficie del agua. El proceso consistió en reclasificar el NDWI y utilizar la plataforma GEE para localizar las superficies de agua (lagos y lagunas). Utilizando imágenes satelitales Landsat, se produjo un conjunto de imágenes mosaico anuales con tamaños de píxeles medios. Se utilizó la información del producto PISCOT y PISCOT grid para recopilar datos de precipitación acumulada anual. Del mismo modo, se

utilizaron datos en cuadrículas de Terraclimate y PISCOT en el proceso de reducción de escala para obtener los datos de temperatura media. La asociación entre la superficie del agua y la precipitación acumulada anual dio como resultado un valor Rho de Spearman de 0,655 y un valor p de Spearman de 0,000064 (0,0064 %). Además, se obtuvo un valor Rho de Spearman de -0,162 y un valor p de Spearman de 0,385 (38,5 %) para la temperatura media. A partir de los resultados del análisis, se puede concluir que existe una correlación positiva significativa entre la superficie de agua y la cantidad total de precipitaciones que se producen cada año, con un coeficiente Rho de Spearman de 0,655 y una probabilidad de error inferior al 0,0064 %. Por último, el valor p de Spearman es de 0,385 (38,5 %) y el valor Rho de Spearman es de -0,162 para la correlación entre la temperatura media y la superficie de agua, lo que sugiere que no existe ninguna relación.

Calcina (2023), delimitó el área del espejo de agua en la Bahía Interior de Puno durante el periodo 1984 al 2019. Utilizando el software ArcGIS 10.4, la técnica se basó en datos de imágenes satelitales Landsat 5, 6 y 7, lo que permitió delinear y evaluar la tendencia en la superficie del agua y la biomasa desde 1984 hasta 2019. Se trata de un diseño de estudio correlacional descriptivo. Los resultados indican que existe una relación entre la superficie de agua y la biomasa en la matriz de correlación. Esto significa que las lentejas y la superficie de agua tienen un buen valor de correlación inversamente proporcional de -0,769. En otras palabras, existe una correlación sustancial ($p < 5\%$) entre la superficie de agua y el crecimiento de las lentejas. Del mismo modo, existe una correlación sustancial ($p < 5\%$) entre el suelo y los juncos, con valores de -0,719 y -0,622, respectivamente. Por el contrario, no existe una correlación significativa entre la laguna estabilizadora y la reducción de la superficie de agua. Se determina que existe una tendencia sustancial en la pérdida de superficie de agua en la Bahía Interior de Puno (BIP), ubicada en la ciudad de Puno, y el crecimiento de la biomasa (lentejas, espadañas).

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar el comportamiento del espejo de agua de la laguna Umayo aplicando imágenes satelitales Landsat (periodo 2010 - 2025)

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Determinar la variación del espejo de agua generado entre los periodos 2010 - 2025, de la laguna Umayo
- ❖ Determinar la relación de los factores climáticos con respecto a la extensión del espejo de agua generado entre los periodos 2010 - 2025, de la laguna Umayo
- ❖ Estimar el porcentaje de variación del espejo de agua para el año 2040 de la laguna.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1.1. CUERPOS DE AGUA

Afirma que todas las regiones de la superficie del planeta, incluidos los ríos y los lagos, son masas de agua. Agua subterránea (que se encuentra en acuíferos y ríos subterráneos); líquidos y sólidos (que se encuentran en glaciares y casquetes polares); y artificiales o naturales (que se encuentran en depósitos de agua dulce o salada). También son los distintos tipos de agua que se pueden encontrar en la naturaleza, como los casquetes polares, el agua subterránea, el agua marina y las masas de agua superficiales. Para comprender y describir sus actividades, se someten a diversas técnicas de análisis del comportamiento (Castillo & Rodríguez 2017).

Se define como todo lo que comprende e incluye ríos, lagos, lagunas, estanques, etc. Aquellos que provienen del agua de lluvia que cae en una cuenca hidrográfica específica o equivalente Salamanca (2018), utiliza esta frase para describir todos los flujos de agua dulce o estancada en la superficie del mundo, incluidas las vías fluviales continentales (Arévalo & Murgas, 2018)

Todas las masas de agua que se encuentran en un continente y tienen forma circular se denominan «aguas continentales»; esto incluye tanto sus formas líquidas como sólidas (como ríos, glaciares, torrentes y aguas bravas) y sus aguas estancadas (como lagos, lagunas y pozos) (Galindo 2021)

2.1.2. ESPEJO DE AGUA

Un espejo de agua es un área donde se puede ver agua con poca o ninguna vegetación en un plano horizontal o una superficie expuesta en contacto con la atmósfera de hábitats lénticos. Cuando se observa desde imágenes satelitales, su tono puede variar de azul oscuro a negro con bordes irregulares (Godoy & González, 2017).

2.1.3. FACTORES CLIMÁTICAS QUE INFLUYEN EN EL ESPEJO DE AGUA

Las fluctuaciones de diferentes elementos, como la temperatura, las precipitaciones, la presión atmosférica, la humedad, la radiación solar y los vientos, o combinaciones de elementos, como los tipos de clima y los fenómenos meteorológicos, que son típicos de un lugar o región, o del mundo entero, durante un período de tiempo determinado, pueden utilizarse para explicar el clima. La temperatura y las precipitaciones son las variables climáticas más significativas o prevalentes entre todos estos componentes (Reyes, 2020).

a) Precipitación

En muchos ecosistemas, se cree que la precipitación es la única fuente de agua que entra en el sistema. Toda el agua meteorológica que cae sobre la superficie terrestre, ya sea en forma líquida (lluvia, llovizna, etc.) o sólida (nieve, granizo, etc.), así como encubierta (rocío, escarcha, etc.), se denomina precipitación. Se produce por un cambio en la presión o la temperatura. La única aportación significativa al sistema hidrológico continental es la precipitación (Ruiz, 2021), se crea mediante la condensación, a veces denominada proceso de enfriamiento, que convierte el agua de vapor a líquido (Arias & Geraldí, 2019).

b) Temperatura

Teniendo en cuenta que la temperatura viene determinada principalmente por la radiación solar, esto se relaciona con la cantidad de energía solar que el aire retiene en un momento determinado. La mejor herramienta para determinar el contenido energético es un termómetro, que debe utilizarse a 1,5 metros del suelo y fuera de la luz solar directa.

Para indicar la temperatura se utilizan grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$), Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$) y Kelvin ($^{\circ}\text{K}$) (Escudero & Xu, 2019).

2.1.4. CAMBIO CLIMÁTICO

En los majestuosos Andes, la vitalidad de los recursos hídricos enfrenta desafíos sin precedentes, exacerbados por las presiones del cambio climático, el cambio de uso de la tierra y las perturbaciones humanas. La región andina, vital para la vida y la economía de su gente, enfrenta tres graves amenazas hídricas que podrían desestabilizar gravemente sus sistemas socio ecológicos. En primer lugar, la inseguridad hídrica se ha convertido en un problema debido a la reducción de los glaciares, los cambios en la capa de nieve, el aumento de la sequía y la mala gestión del agua. Estos factores están remodelando la disponibilidad estacional e interanual de agua, exacerbando la escasez y los excedentes de agua y provocando crisis potencialmente inimaginables. La región andina, que alguna vez fue un símbolo de equilibrio y abundancia, ahora enfrenta un futuro incierto, y la adaptación y la gestión adecuada son esenciales para mitigar estos riesgos y proteger sus frágiles ecosistemas (Castañeda, 2014).

a) Temperaturas extremas en el aire

La variable meteorológica que representa el calentamiento del aire, el agua y el suelo provocado por la radiación solar es la temperatura. La hora local, la estación del año, la ubicación, la proximidad o distancia a una masa de agua y el tipo de suelo son las variables que afectan a las variaciones de temperatura. Las variaciones diarias y estacionales a lo largo del año influyen en la aparición de temperaturas extremas medias, que son un factor significativo. Dado que proporcionan el marco térmico que permite la supervivencia de diferentes seres vivos, su impacto en el medio ambiente las hace potencialmente más importantes que la temperatura media anual (Cifuentes et al., 2025)

b) Precipitaciones pluviales extremas

La lluvia es definida por la Sociedad Meteorológica Americana (2002) como partículas líquidas que caen a la superficie terrestre desde la atmósfera. La cantidad de agua que ha caído en un lugar determinado en un periodo de tiempo específico se suele indicar en

milímetros o centímetros de altura de agua líquida. Además, un evento que represente el 20 % o más de la precipitación total estacional en un solo día en un lugar específico se considera un evento de precipitación extrema para esa estación (González & González, 2018).

c) Efectos de la variabilidad climática

El sexto informe sobre el cambio climático del IPCC explica cómo la variabilidad climática está relacionada con fenómenos meteorológicos extremos como olas de calor, sequías, inundaciones costeras e incendios forestales. Estos fenómenos contribuyen a la degradación de los ecosistemas mundiales, la pérdida de especies y recursos naturales, la desintegración de las capas de hielo y los riesgos para la salud de los seres humanos. Estos impactos suelen ser muy graves, permanentes y provocan grandes pérdidas económicas (Laura et al., 2020).

2.1.5. TELEDETECCIÓN

De acuerdo a Flores (2017), el tratamiento o método de recopilación de datos sin entrar en contacto físico con ellos se conoce como teledetección. La teledetección, por su parte, se define de forma más restringida y en el contexto de las ciencias de la Tierra como un método que trata de tomar, interpretar y evaluar imágenes digitales procedentes de satélites artificiales..

La investigación de la erosión superficial, la caracterización medioambiental regional para evaluar el impacto ambiental, la cartografía geológica para la prospección petrolífera, la cartografía de nuevos yacimientos volcánicos, el seguimiento del movimiento de icebergs en regiones polares, la estimación de modelos de escorrentía y erosión, la medición de aguas superficiales y humedales para evaluar la biodiversidad, el control del contenido de salinidad en los arroyos, etc., son algunos de los principales usos de la teledetección, La cartografía térmica de la superficie del mar, la caracterización de la cubierta vegetal, la evaluación rápida de las condiciones de estrés de la vegetación por sequía o erosión, la cartografía de las zonas quemadas y el seguimiento de la regeneración natural, la contribución cartográfica y el inventario de la cubierta y el uso del suelo, el seguimiento

de los pastizales, la cartografía de los inventarios de cultivos por especies y la previsión del rendimiento de los cultivos son algunos ejemplos (Imbaquingo, 2021).

Componentes de la teledetección

Según Lozada & Bertin (2022), un sistema de teledetección espacial está formado por los siguientes componentes:

- a) **Fuente de energía-**. Cuando la radiación electromagnética se refleja en objetos o en la superficie de la Tierra, puede ser medida por un sensor, que es como se produce la energía. Existen dos tipos de teledetección: la teledetección activa, que utiliza un haz energético procedente de un sensor artificial, y la teledetección pasiva, que utiliza la radiación de una fuente externa. En el caso de la teledetección pasiva, se considera que el sol es la principal fuente de energía.
- b) **Cubierta terrestre-**. En función de las propiedades de su superficie, la cubierta terrestre puede absorber o reflejar la radiación que recibe de una fuente de energía como el sol. Puede estar formada por grandes extensiones de vegetación, agua, suelo o estructuras.
- c) **Sistema sensor-**. Un sensor y una plataforma establecida constituyen la mayor parte del sistema de sensores, lo que le permite registrar la radiación electromagnética de la superficie terrestre, codificar y transmitirla directamente a un sistema receptor.
- d) **Sistema receptor y comercialización-**. recibe los datos enviados por la plataforma, los procesa, realiza las correcciones necesarias, los registra y los distribuye de la forma requerida por las partes interesadas.
- e) **Intérprete-**. Su objetivo principal es convertir y modificar los datos codificados en información temática relevante enfocada a resolver el problema de investigación, ya sea digital o visualmente.
- f) **Usuario final-**. toma la imagen producida por el procedimiento anteriormente mencionado, la examina y extrae conclusiones a partir de los datos visuales.

2.1.6. SATÉLITES PARA LA TELEDETECCIÓN

La teledetección mejora a los estudios geomorfológicos debido a que permite realizar un análisis más preciso a gran escala y apoya en la gestión ambiental (Ashok et al., 2021), durante años la teledetección ha seguido evolucionado asimismo mostrando mejoras en su resolución espacial y espectral a través de Landsat TM, SPOT Y SAR en la década de 1990 se desarrolló DEM para el análisis del terreno, la predicción del movimiento del suelo y el monitoreo de la cobertura terrestre en donde se espera impactos significativos en el futuro, actualmente la teledetección llegó a tal punto de que se puedan identificar el área cultivada de una variedad en específico de cultivo mediante firmas espectrales (Belgiu & Drăguț, 2016).

En la actualidad, un gran número de satélites orbitan el planeta para vigilar el medio ambiente y los recursos naturales. Un ejemplo notable es el programa Landsat, creado por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) y la Administración de la Aeronáutica y del Espacio (NASA). Los sensores TM, ETM+, OLI/TIRS y OLI-2/TIRS-2 son los más notables de los nueve satélites desplegados hasta ahora en esta misión, que lleva en servicio desde 1972 (USGS, 2022). Además, sistemas web como USGS Earth Explorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), Glovis (<https://glovis.usgs.gov/app>) y LandViewer (<https://eos.com/landviewer/>) ofrecen fotos digitalizadas de cada sensor. Cabe mencionar que OLI/TIRS, OLI-2/TIRS y ETM+ son los sensores que se utilizan actualmente.

El Sentinel 2 MSI, por su parte, está diseñado para vigilar la superficie terrestre, incluida la cubierta vegetal, el uso del suelo, el agua, las vías fluviales, las zonas costeras y los datos de emergencia. Los satélites de la misión Sentinel forman parte del programa Copérnico de la Agencia Espacial Europea (ESA), dirigido por la Comisión Europea (CE). En la actualidad, hay seis misiones Sentinel orbitando la Tierra, cada una de ellas centrada en un área concreta. Su resolución espacial oscila entre 10 y 20-60 metros y consta de 13 bandas espectrales. Asimismo, USGS Earth Explorer, Glovis y Landviewer

son los sitios web que albergan sus fotografías digitales, que pueden descargarse gratuitamente (Buitron, 2020).

Tabla 01: Tipos de satélites

Satélite	Características
Landsat	El escáner multiespectral (MSS) y el mapeador temático (TM) son los dos sensores que se encuentran en la nave espacial Landsat.
POT (System Probatoire de la Terre)	Comparado con el MSS (6 bits), el sensor TM tiene una mayor resolución radiométrica (8 bits). Cada 16 días, pasa sobre la misma región desde su órbita, situada a 705 kilómetros de altura. Con una frecuencia de paso de 26 días, hay cinco satélites en órbita. El sensor HRV (High Resolution Visible), que proporciona imágenes en las regiones visible e infrarroja cercana del espectro electromagnético, está instalado en los satélites 1, 2 y 3. Su mayor resolución espacial es su principal ventaja sobre Landsat. Las fotos de SPOT 1, 2 y 3 tienen una resolución de 10-20 metros por píxel y una anchura de 60 km. Las imágenes del satélite SPOT-5 tienen una resolución espacial de 1 píxel = 5 metros.
Envisat	En la actualidad, es el satélite medioambiental más sofisticado del mundo. La presencia de gases en la atmósfera, la cantidad de fitoplancton en los mares y las corrientes submarinas o los incendios en lugares extremadamente remotos son sólo algunos de los miles de parámetros que puede vigilar Envisat.
IRS (Indian Remote Sensing Satellite)	Su órbita es heliosíncrona, y están a 907 kilómetros del suelo con una frecuencia de paso de 24 días. Cuentan con sensores WiFS (Wide Field Sensor), especializado en estudios de vegetación, y

Satélite	Características
	LISS, que dispone de cuatro bandas espectrales.
ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)	Se emplea para crear mapas completos de la elevación, la temperatura y la reflectancia de la superficie terrestre.
CERES (Clouds and the Earth's Radiant Energy System)	Mide el balance de radiación total de la Tierra. Ofrece información sobre las características de las nubes y cómo afectan a los flujos de radiación desde la superficie de la Tierra a la atmósfera superior.
MISR (Multi-angle Imaging SpectroRadiometer)	Nueve cámaras, cada una con un ángulo de visión diferente, se utilizan para observar la superficie terrestre. Capta imágenes en cuatro bandas: infrarrojo cercano, rojo, verde y azul. El MISR es capaz de diferenciar entre varios tipos de nubes, aerosoles y revestimientos de la superficie terrestre gracias a su patrón de adquisición.
MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)	Cada uno o dos días, busca en las 36 bandas espectrales de la Tierra. La amplia capacidad de captación de este sensor le permite recoger más información sobre los indicadores vitales del planeta. MODIS, entre otras cosas, calcula el porcentaje diario de superficie terrestre cubierta de nubes.

Fuente: Obtenido del (USGS, 2022)

2.1.7. IMÁGENES SATELITALES LANDSAT

LANDSAT, acrónimo de land (tierra) y satellite (satélite), es el nombre de los satélites que proporcionan estas fotografías de siete u ocho bandas multiespectrales. Gracias a su gran resolución, es posible detectar y seguir la superficie terrestre (Bahamontes et al., 2021). El último de la línea, el LandSat 9, tiene una mayor resolución radiométrica, lo que

permite detectar alteraciones más sutiles, especialmente en zonas con más oscuridad, como el agua y los bosques (Nasa, 2021).

Con una resolución de hasta 15 metros por píxel, estos satélites recopilan simultáneamente datos en zonas de 185*170 km mientras vigilan toda la superficie del planeta cada 15 días. Gracias a las series temporales de fotografías, podemos detectar cambios en vastas zonas de la superficie terrestre a lo largo del tiempo. Las imágenes del LandSat son especialmente útiles para rastrear y recopilar información sobre cualquier tipo de cubierta terrestre (Briones, 2018).

Estos satélites estadounidenses desempeñan un papel fundamental en el desarrollo de cartografía métrica y temática empleando datos geográficos (Córdova, 2019).

En la actualidad, la NASA opera y mantiene los satélites LandSat 7, 8 y 9, que dependen del USGS para producir y comercializar las imágenes de satélite. La Tabla 3 proporciona acceso a las imágenes de las misiones LandSat por periodo de tiempo, desde LandSat 1 hasta la última misión LandSat 9:

Tabla 02: Fecha de lanzamientos y fin de operación de las misiones Landsat

Satélite	Fecha de Lanzamiento	Fin de operación
LandSat 1 (ERTS 1)	23/julio/1972	05/enero/1978
LandSat 2	22/enero/1975	27/julio/1983
LandSat 3	05/marzo/1978	07/septiembre/1993
LandSat 4	16/julio/1982	07/septiembre/1993
LandSat 5	01/marzo/1984	Enero/2013
LandSat 6	03/octubre/1993	Lanzamiento fallido
LandSat 7	15/abril/1999	En operación
LandSat 8	11/febrero/2013	En operación
LandSat 9	27/septiembre/2021	En operación

Fuente: Obtenido del (Córdova, 2019).

2.1.8. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES

a) Preprocesamiento

El preprocesamiento es el proceso de corregir las distorsiones en las imágenes satelitales de varios sensores causadas por la plataforma, la rotación de la Tierra, el sensor o la atmósfera antes de que sean interpretadas. Dependiendo del objetivo del estudio, los receptores pueden realizar estos ajustes en algunas situaciones, mientras que en otras, el detalle de la imagen es suficiente. Gracias a estas modificaciones, se puede utilizar la misma unidad de medida para determinar y comparar las coordenadas geográficas. Se evaluará la fiabilidad de los resultados del procesamiento, lo que requerirá un ajuste tanto geométrico como radiométrico (Albán et al., 2021b).

Corrección geométrica- La corrección de defectos sistemáticos u otros ajustes es posible gracias al desplazamiento de las posiciones de los píxeles dentro de la imagen. Todas las fotografías deben modificarse para poder comparar regiones de distintos años utilizando la misma unidad de medida (Calcina, 2023).

Para garantizar una precisión de comparación inferior al 10 %, la precisión del ajuste debe ser superior a 0,2 píxeles pero inferior a 1 píxel. En ausencia de esta rectificación geométrica de la imagen, las superficies resultantes mostrarán alteraciones cuando no las haya. Para llevar a cabo la corrección geométrica, es necesario recuperar un conjunto de puntos de control a partir de los datos cartográficos básicos o de otra imagen con alta precisión geométrica. Dependiendo de la resolución de la imagen, los puntos se calculan entre los datos de referencia y la imagen modificada basándose en características comunes como edificios, carreteras, elementos hidrológicos, etc. (Ruiz, 2021).

Corrección geométrica- Para corregir las distorsiones causadas por la interacción con la atmósfera (principalmente por partículas que afectan a la señal registrada) o por problemas radiométricos derivados del mal funcionamiento del sensor, esta técnica consiste en modificar los números digitales originales y asignarles el valor ideal del mismo rango espectral que deberían tener. Cuando un sensor funciona mal, puede producir un efecto de bandas o «rayas», que altera el valor de los píxeles en una o más bandas

espectrales que aparecen en la imagen satelital (González & González, 2018). Se pueden llevar a cabo las siguientes acciones, dependiendo de las irregularidades específicas detectadas en las imágenes satelitales: conversión de valores digitales a características físicas, corrección atmosférica, corrección de bandas en la imagen o restauración de líneas o píxeles eliminados (Castro, 2021).

Dado que el objetivo en este caso contiene una región altamente reflectante, como nieve y glaciares, se llevó a cabo una corrección atmosférica utilizando la técnica descrita por Salamanca (2018), también conocida como Dark Object Subtraction (DOS), que consiste en desplazar cada banda de la imagen para determinar los valores mínimos del histograma de la imagen satelital, teniendo en cuenta que los cuerpos con mayor absorción, El agua y las sombras, por ejemplo, tienen radiancias espectrales muy cercanas a cero. Esto varía en función del espectro y se ve influido por la interacción atmosférica. Para corregir la interacción atmosférica que influye en estos valores en cada banda, los píxeles restantes se modifican restando este valor mínimo del valor original, lo que establece el valor en el origen del histograma en cero (Arévalo & Murgas, P, 2018).

b) Procesamiento

Tras los ajustes mencionados anteriormente, los valores digitales originales de las fotos satelitales de varias fechas se homogenizan para su procesamiento. Cualquier método utilizado para modificar los datos de las imágenes satelitales objeto de estudio con el fin de lograr un objetivo para su posterior interpretación se denomina procesamiento (Arévalo & Murgas, P, 2018).

El mejor método será aquel que permita evitar errores como la comisión (falsa alarma) y la omisión (falta de información), reduciéndolos significativamente y produciendo resultados aceptables (Granada & Olave, 2023a). Dado que la cobertura analizada —que incluye nieve y glaciares— tiene una reflectancia uniforme elevada en todas las bandas del espectro electromagnético, cabe destacar que en este estudio de caso no se aplicaron mejoras ni filtros a las fotografías. Estos son inconvenientes de emplear cuando se realiza una categorización digital, ya que alteran la información numérica digital

original, produciendo una nueva imagen de salida que con frecuencia mejora tanto el análisis visual como el digital (Arévalo & Murgas, P, 2018).

c) Combinación de bandas

Se pueden generar nuevas imágenes combinando las distintas bandas espectrales de las imágenes satelitales. Los comandos de la aplicación de interpretación de imágenes permiten unir las bandas y asignar a cada una de ellas un color de visualización distinto para completar este proceso (Wang et al., 2025),

Las bandas azul, verde y roja coincidentes pueden mezclarse para crear imágenes en color real que se asemejan a la fotografía aérea. La imagen Landsat se compone de las bandas 1-2-3, a cada una de las cuales se le asignan los tonos rojo, verde y azul correspondientes. La fotografía en falso color de tonos azules, verdes y rojos se utiliza en diversas bandas espectrales para evitar seguir esta tendencia (Galindo, 2021).

Las imágenes en falso color se crean combinando las bandas 2-3-4 del Landsat y se utilizan habitualmente para interpretar imágenes satelitales y asignar un color a cada elemento. La banda 2 (que registra la radiación verde) se asigna al azul, la banda 3 al verde y la banda 4 (que registra la radiación infrarroja) al rojo (Galindo, 2021).

Se pueden crear imágenes adicionales combinando muchas bandas espectrales de fotografías satelitales. Las aplicaciones para la interpretación de imágenes incluyen instrucciones detalladas que permiten unir las bandas y asignar a cada una un color de visualización distinto para hacerlo. Al combinar las bandas que representan el azul, el verde y el rojo, se puede producir una imagen en color verdadero que se asemeja a una fotografía aérea (Galindo, 2021).

La imagen Landsat en cuestión es el resultado de la fusión de las bandas 1-2-3, a cada una de las cuales se le asigna un tono correspondiente, en este caso rojo, verde y azul. Al asignar bandas espectrales distintas a los tonos azul, verde y rojo, una imagen en falso color se aleja de este patrón. La combinación de las bandas Landsat 2-3-4 produce una imagen en falso color, que se emplea habitualmente en la interpretación de imágenes satelitales. Además, se asigna un color a cada banda: la radiación verde es registrada por

la banda 2, la radiación roja es registrada por la banda 3 y la radiación verde del infrarrojo cercano es registrada por la banda 4 (Campos & Armas, 2023).

El resultado final es una imagen en falso color en la que las plantas sometidas a estrés (por enfermedad o sequía) aparecen amarillentas, mientras que las plantas de las zonas boscosas se ven de color rojo oscuro. La razón es que la mayor parte de la luz infrarroja cercana entrante es reflejada por la vegetación activa. Los ríos de arena aparecerán azules, mientras que las masas de agua se verán negras. Por último, pero no menos importante, el suelo parecerá azul grisáceo en esta imagen, mientras que las tierras de cultivo y los pastizales aparecerán de color rojo pálido (Granada & Olave, 2023b).

2.1.9. ÍNDICES ESPECTRALES PARA LA DELIMITACIÓN DEL ESPEJO DE AGUA

a) Índice de diferencia normalizada de agua (NDWI)

El índice de diferencia normalizada del agua (NDWI), una técnica novedosa para evaluar los recursos hídricos e interpretar los datos de teledetección, se describe en el artículo. «El NDWI elimina las características del suelo y la vegetación terrestre, al tiempo que destaca la presencia de características de aguas abiertas utilizando la radiación infrarroja cercana reflejada y la luz verde visible» (Arévalo & Murgas, P, 2018).

Es posible identificar regiones acuáticas y zonas húmedas en fotografías satelitales utilizando el índice NDWI. Esto convierte al índice en un instrumento útil para determinar la saturación de humedad del suelo, los niveles de estrés hídrico de la vegetación y la delimitación precisa de masas de agua como lagos y embalses (Granada & Olave, 2023).

Un indicador para determinar la cantidad de agua que hay en el suelo o en las plantas es el Índice de Agua por Diferencia Normalizada (NDWI). Este índice se calcula utilizando bandas espectrales y fotos de sensores satelitales. Dado que permite evaluar los cambios en la humedad del suelo, la distribución del agua y la salud de la vegetación, el NDWI se ha convertido en una herramienta muy útil para monitorear los recursos hídricos a nivel mundial. Esta información ayuda a los agricultores y a los gestores de recursos naturales a tomar decisiones bien informadas.

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

Donde:

Green: Reflectancia de la Banda Verde (Banda 2 del L7, L5 y 3 del L8)

NIR: Reflectancia de la banda del infrarrojo cercano (Banda 4 del L7, L5 y 5 del L8)

2.1.10. ANÁLISIS MULTITEMPORAL

El análisis multitemporal se utiliza para incorporar datos de sensores remotos, como fotos satelitales o fotografías aéreas de la ubicación, tomadas en diferentes fechas (Castillo & Rodríguez, 2017), Estos evalúan, comparan e ilustran los cambios en series temporales preestablecidas en combinación con datos geográficos y de atributos. La gran importancia de estas técnicas de análisis espacial queda demostrada por el hecho de que estos cambios pueden constituir nuevas características o aspectos espaciales del tema que se está estudiando (Castillo, 2022).

Estas investigaciones dan como resultado representaciones gráficas de los cambios en la masa de la cubierta vegetal a lo largo del tiempo, mostrando los casos de perturbaciones y/o conflictos entre los usos del suelo que se han producido en una región geográfica (Castillo & Rodríguez, 2017).

Para la visualización de datos en modelos espaciales multitemporales, se necesitan dos elementos: un vector y una trama. Las ráster muestran imágenes como cuadrículas conectadas de píxeles dispuestos en filas y columnas. Cada píxel o celda tiene un número que se basa en un valor distinto que identifica la variable o el elemento. La investigación sobre la representación de superficies es la aplicación más común. Permite examinar ciertas características, como la cobertura vegetal, ya que las regiones se muestran juntas cuando reflejan la misma información temática (Granada & Olave, 2023). Mediante el análisis de bandas espectrales, una imagen satelital puede utilizarse para clasificar diversos usos del suelo y estimar la cobertura vegetal; sin embargo, la trama puede representarse con datos temáticos, como altitudes, temperaturas y otras variables

continuas (ESRA, 2017); Los datos clasificados pueden utilizarse en cualquier área de investigación de teledetección; las bandas espectrales que emplean los diferentes sensores para enviar energía electromagnética pueden irradiar sensibilidad a la clorofila, lo que resulta útil para predecir cambios en la vegetación. Cada campo o componente de estudio refleja la energía electromagnética de manera diferente y, al definir sus variables, se puede diferenciar una variable de estudio de otra utilizando patrones en la radiación que transmite o refleja (Ruiz, 2021).

2.1.11 SOFTWARES DE ANÁLISIS GEOESPACIAL

a) ArcGIS

Con el fin de procesar y compartir información geográfica y facilitar la visualización e interpretación de datos para el estudio y desarrollo territorial, se ha diseñado un software para crear, compartir y utilizar mapas inteligentes, así como para recopilar datos geográficos para la resolución de problemas mediante análisis espacial basado en la creación y gestión de bases de datos geográficas (Ruiz, 2021).

b) Plataforma web Google Earth Engine (GEE)

En el catálogo de datos GEE se muestran numerosos conjuntos de datos. Los usuarios pueden obtener datos digitales de elevación de la Misión Topográfica del Radar del Transbordador Espacial (SRTM) o fotos satelitales de muchos proveedores, incluidos MODIS, Landsat, Sentinel y otros. La plataforma también contiene datos de reflectancia de la superficie terrestre, datos de la atmósfera superior, imágenes ortorectificadas y datos satelitales sin procesar. Se trata de una solución de gestión de datos (Big Data) de vanguardia que permite resolver problemas globales mediante la producción de resultados de forma rápida y eficaz (Ruiz, 2021).

c) TerrSet

Incluye herramientas tradicionales de SIG y teledetección, así como un conjunto completo de módulos independientes y polivalentes. Se trata de una colección de aplicaciones verticales diseñadas para el estudio científico de los procesos geoespaciales. Es un

programa geoespacial completo y de código abierto creado para el seguimiento y la simulación de sistemas terrestres con fines de desarrollo sostenible (Ruiz, 2021).

2.2. MARCO CONCEPTUAL

Espejo de agua- Un espejo de agua es una superficie de agua, generalmente quieta y plana, que refleja la luz y los elementos del entorno, como el cielo, árboles, edificios u otras estructuras (Ruiz, 2021).

Índice de diferencia normalizada de agua (NDWI)- El NDWI se utiliza principalmente para estimar la cantidad de agua en las plantas o el grado de saturación de humedad en el suelo (Granada & Olave, 2023).

Teledetección

Es un método que utiliza sensores remotos para recopilar datos sobre elementos inaccesibles en la superficie de la Tierra (Albán et al., 2021b).

Análisis multitemporal- Para interpretar las coberturas, es necesario comparar las temporalidades de un área o ambiente en varias fechas. Esto permite evaluar los cambios a lo largo del tiempo y determinar los efectos de los factores naturales o antrópicos sobre el medio ambiente (Arias & Geraldi, 2019).

Imágenes satelitales- A una altitud aproximada de 700 kilómetros, los satélites de visualización de recursos naturales se desplazan de norte a sur. Están equipados con diversos sensores que recogen la energía solar reflejada en distintas regiones de la superficie terrestre y la dividen en diferentes bandas del espectro electromagnético. El satélite «observa» líneas de pequeñas piezas mientras viaja por el espacio y, cuando se colocan unas junto a otras, producen fotografías de satélite (Albán et al., 2021b).

Imagen satelital Landsat- Las imágenes satelitales Landsat es una serie de misiones de observación de la Tierra que ha sido operada conjuntamente por la NASA y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Las imágenes satelitales de Landsat son fundamentales para diversas aplicaciones científicas, ambientales, y de gestión de recursos (Arias & Geraldi, 2019).

Sistemas de información geográfica (SIG)-. Son herramientas asistidas por ordenador que permiten la recolección, archivo, procesamiento y análisis, así como la presentación y salida de datos geográficos, para su uso en el futuro de acuerdo con criterios predeterminados (Albán et al., 2021).

2.3. MARCO NORMATIVO

Ley General del Ambiente (Ley N° 28611). La Ley General del Ambiente (Ley N° 28611) establece el marco legal para la protección, conservación y gestión sostenible de los recursos naturales en el Perú, incluyendo los lago y lagunas como ecosistemas frágiles y estratégicos para la biodiversidad y los recursos hídricos.

Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29338). La Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29338) regula la gestión, conservación y uso sostenible del agua en el Perú. En relación con los cuerpos de agua, la ley los considera parte de los ecosistemas hídricos estratégicos y establece su protección para garantizar la disponibilidad del recurso hídrico.

Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos (D.S. N.º 001-2010-AG). Desarrolla y detalla cómo se debe aplicar la Ley N.º 29338, estableciendo normas específicas sobre la gestión, uso, conservación y protección del agua en el Perú.

Ley de Recursos Naturales – Ley N.º 26821. Es una norma marco que regula el uso y aprovechamiento sostenible de todos los recursos naturales del país, incluidos los recursos hídricos. Aunque no se centra exclusivamente en el agua, establece principios y disposiciones generales que también aplican al agua como recurso natural.

2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

El comportamiento del espejo de agua de la laguna Umayo aplicando imágenes satelitales Landsat presenta una tendencia decreciente influenciada por los factores climáticos durante el periodo de 2010 al 2025 del distrito de Atuncolla 2025

2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- ❖ Existe una variación significativa del espejo de agua generado entre los periodos 2010 - 2025, de la laguna Umayo

- ❖ Los factores climáticos presentan una relación significativa con la extensión del espejo de agua generado entre los periodos 2010 - 2025, de la laguna Umayo
- ❖ La extensión del espejo de agua para el año 2040 de la laguna Umayo es menor a la del año actual

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO

La zona en estudio es la laguna Umayo situada en la jurisdicción del distrito de Atuncolla, de la provincia y departamento de Puno, ubicada en las coordenadas UTM: 373866.57 m E; 8259508.17 m S a una altitud de 3844 m.s.n.m.

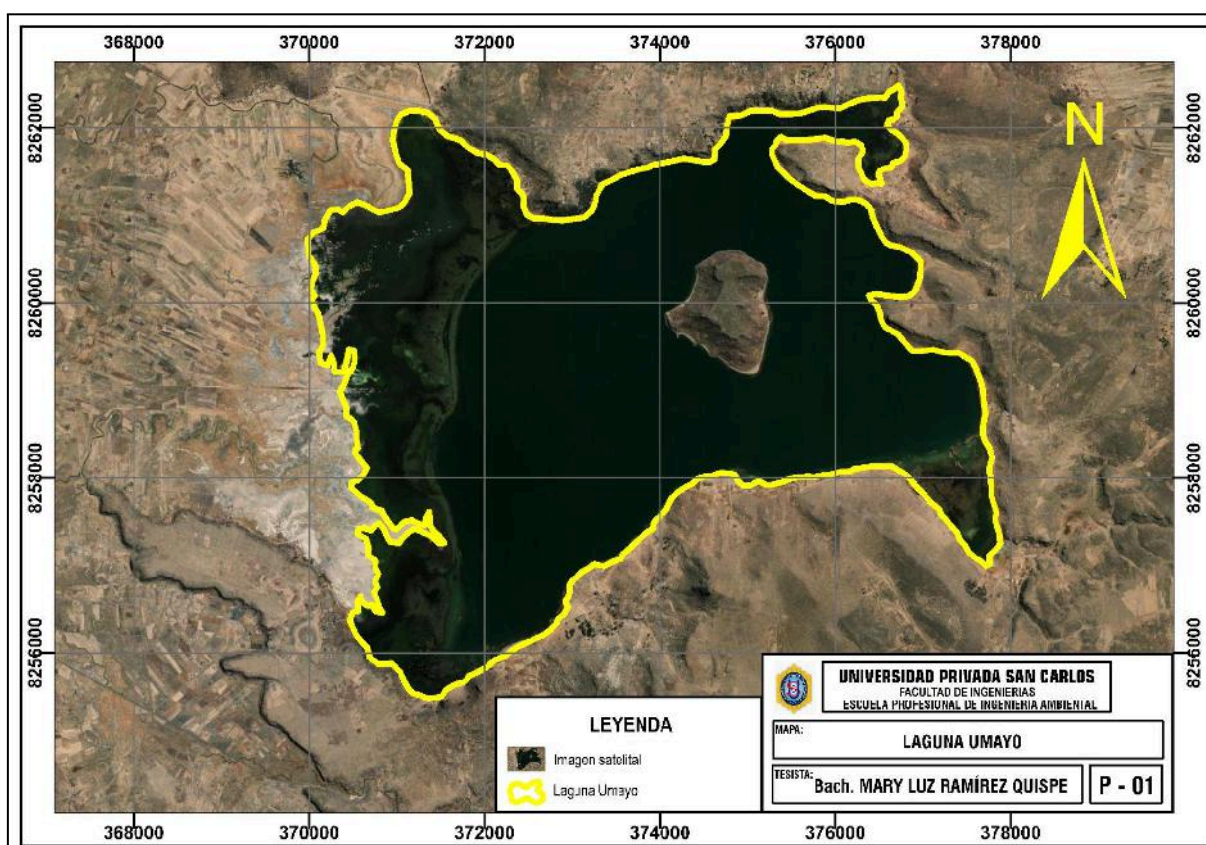


Figura 01: Zona de estudio - laguna Umayo

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

Es un grupo de elementos que cumplen peculiaridades similares se denomina población

(Hernández & Mendoza, 2018); ante ello la población en estudio está representada por la laguna Umayo que cuenta con una extensión de 37.21 km², situada en la jurisdicción del distrito de Atuncolla

3.2.2. MUESTRA

Una porción de la población que sirve como su representación se titula muestra (Hernández & Mendoza, 2018); en tal caso se ha seguido un muestreo a juicio del investigador, por lo que la muestra en estudio está representada por lo mismo especificado en la población, siendo la laguna Umayo que cuenta con una extensión de 37.21 km², situada en la jurisdicción del distrito de Atuncolla

3.3. METODOS Y TECNICAS

3.3.1. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El nivel de investigación, es DESCRIPTIVO debido a que los estudios descriptivos pretenden describir los atributos y componentes de ideas, acontecimientos, variables o sucesos dentro de un contexto en específico (Hernández & Mendoza, 2018).

3.3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Así mismo es **APLICADA**, porque es un tipo de investigación orientada a resolver problemas específicos o prácticos, enfocados en la implementación de los conocimientos teóricos para resolver problemas concretos en diversos campos, como la industria, la medicina, la educación, la tecnología, entre otros (Hernández & Mendoza, 2018).

3.3.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño es NO EXPERIMENTAL porque las variables no se modificaron a propósito en la investigación para determinar cómo afectan a otros factores (Hernández & Mendoza, 2018).

3.3.4. MÉTODO

Se empleó el método **DEDUCTIVO ANALITICO**

Según Colomé & Femenia (2018), es un enfoque de razonamiento lógico en el que se parte de principios o premisas generales para llegar a conclusiones específicas. Es un método tradicionalmente asociado con la lógica formal y las matemáticas, aunque

también se aplica en diversas áreas del conocimiento científico.

3.3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

- Imágenes satelitales Landsat.

Instrumentos

- Procesamiento de imágenes satelitales Landsat con la metodología NDVI (**anexo 2**)

3.3.6. DISEÑO METODOLÓGICO POR OBJETIVOS

Metodología para el objetivo específico N° 01:

Determinar la variación del espejo de agua generado entre los periodos 2010 - 2025, de la laguna Umayo.

Para el cumplimiento del presente objetivo se adquirieron imágenes satelitales Landsat 8.

a) Descarga de imágenes satelitales

Las imágenes satelitales Landsat 8 fueron descargadas de la plataforma web EarthExplorer del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS); dentro de las cuales se escogió el cuadrante que abarca la laguna Umayo; seleccionado las imágenes satelitales que mejor representen las condiciones del área en estudio, incluida la nubosidad baja y la estación seca, desde los años; 2010, al 2025 obteniéndose cada dos años, respectivamente para el área en estudio.

b) Corrección de imágenes satelitales

Solo la imagen del satélite Landsat 7 se sometió a un ajuste radiométrico, ya que podría mostrar algún elemento, brillo excesivo u otro suceso que pudiera cambiar la correcta categorización de la imagen, empleando el complemento de categorización semiautomática SCP del software QGIS, que eliminará las interferencias aéreas que pudiera experimentar el sensor y permitir la visualización de imágenes de mayor calidad numérica y visual (Mestri et al., 2019).

Consecutivamente se realizó la corrección atmosférica a cada imagen satelital obtenida ; para la eliminación de perturbaciones atmosféricas; en este sentido, también puede decirse que la corrección atmosférica sirve para aminorar la aportación de la atmósfera al valor del píxel de la fotografía de satélite; reduce el impacto del vapor, los aerosoles

(polvo, etc.) y otros factores atmosféricos (Alba & Moreno, 2024). todo ello mediante la caja de herramientas “ArcToolbox – Landsat – Corrección atmosférica”; para previsualizar con más detalle y mejor nitidez sobre la extensión de la laguna en estudio.

c) Determinación de la variación del espejo de agua empleando el Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI)

Cuando se trata de investigar el estado de cuerpos de agua, este enfoque es muy útil ya que, en específico con otras cubiertas, el NDWI proporciona una buena distinción de los píxeles de la superficie del agua (Berde et al., 2022).

La región de interés se recortará una vez que se hayan corregido las imágenes satelitales, y los índices espectrales NDWI se calcularon utilizando la ecuación dada, que muestra valores entre -1 y 1. Debido a que se utiliza especialmente para cuantificar la superficie del agua y estimar el contenido de humedad de la cobertura del suelo, se seleccionó este índice (Albán et al., 2021a).

$$NDWI = \frac{Verde - SWIR}{Verde + SWIR}$$

Donde:

Verde = valores de píxel de la banda verde

SWIR = valores de píxel de la banda infrarroja de onda corta

d) Clasificación supervisada

Se creó puntos de control con la herramienta Train Maximum Likelihood Classifier (clasificación de máxima verosimilitud) en el software ArcGIS, para seguidamente ir a campo y visualizar que efectivamente se trata del espejo de agua que se halló mediante el procedimiento en el Software.

f) Validación de mapa mediante el Índice Kappa

Se realizó la validación del espejo de agua entre el mapa observado y la coincidencia de la realidad en base al índice Kappa del año actual; para conocer la precisión de los resultados obtenidos en el software con la realidad.

Metodología para el objetivo específico N° 02:

Determinar la relación de los factores climáticos con respecto a la extensión del espejo de agua generado entre los periodos 2010 - 2025, de la laguna Umayo

Posteriormente luego de identificar la extensión del espejo de agua empleando imágenes satelitales, se determinó la relación existente entre los factores climáticos (precipitación-temperatura) y el espejo de agua; por ello se realizó la descarga de datos de precipitación y temperatura; durante los años 2010, al 2025, cada dos años de las estaciones meteorológicas más próximas al área en estudio, del sitio web del SENAMHI. Seguidamente luego de descargar los factores climáticos, se realizó la importación de los datos de precipitación y temperatura en el Excel; y posteriormente ser interpoladas en el Software ArcGIS y mediante la herramienta ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > interpolate> Kriging; generar la modelación de la precipitación y temperatura en el área en estudio.

Metodología para el objetivo específico N° 03:

Estimar el porcentaje de variación del espejo de agua para el año 2040 de la laguna Umayo

Para la proyección de un escenario futuro al año 2040 del espejo de agua de la laguna Umayo, se realizó mediante la metodología de regresión lineal. La regresión es empleada para estimar el valor de una variable en función de otra tal cual como se aprecia en la siguiente ecuación: (Flores, 2019).

$$Y=bx+c+Et$$

Donde:

Y: Variable dependiente que se pretende estimar

b: Parámetro de regresión correspondiente al valor estimado

x: Variable independiente

c: Parámetro de regresión correspondiente al crecimiento o disminución

Et: Componente error típico

3.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Tabla 03: Operacionalización de variables

<u>VARIABLES</u>	<u>DIMENSIONES</u>	<u>INDICADORES</u>	<u>ESCALA DE MEDICIÓN</u>
VI: Tiempo (Periodo 2010 - 2025)	Evaluación de factores climatológicos:	Precipitación (2010 al 2025) Temperatura (2010 al 2025)	Base de datos del SENAMHI
VD: Comportamiento del espejo de agua de la laguna Umayo en periodo de tiempo	Espejo de agua Corrección de imágenes satelitales Bandas a emplear para determinar el espejo de agua	Año 2010 al año 2025 Radiométrica Atmosférica Banda 3 de la imagen satelital Banda 5 de la imagen satelital	Imágenes satelitales landsat 8 Imágenes satelitales landsat 8
	Proyección del espejo de agua	Año 2040	Imágenes satelitales landsat 8

3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO

La extensión del espejo de agua y los factores climáticos (precipitación-temperatura), serán analizados por una prueba de normalidad de tipo Shapiro-Wilks, el cual es aplicado para muestras temporales inferiores a 50 unidades y permite medir si los factores climáticos presentan una distribución normal o no normal, todo este proceso se realizará en el software SPSS.

Posteriormente se efectuará la prueba estadística ANOVA de un factor para conocer la relación de los factores climáticos sobre la extensión del espejo de agua; siendo la

prueba de decisión en este análisis, el valor p-value, el cual debe ser inferior a 0.05 y esto indicará la existencia de una relación significativa.

CAPÍTULO IV

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. OBJETIVO ESPECÍFICO N° 01: DETERMINAR LA VARIACIÓN DEL ESPEJO DE AGUA GENERADO ENTRE LOS PERIODOS 2010 - 2025, DE LA LAGUNA UMAYO

4.1.1. ESPEJO DE AGUA DE LA LAGUNA UMAYO

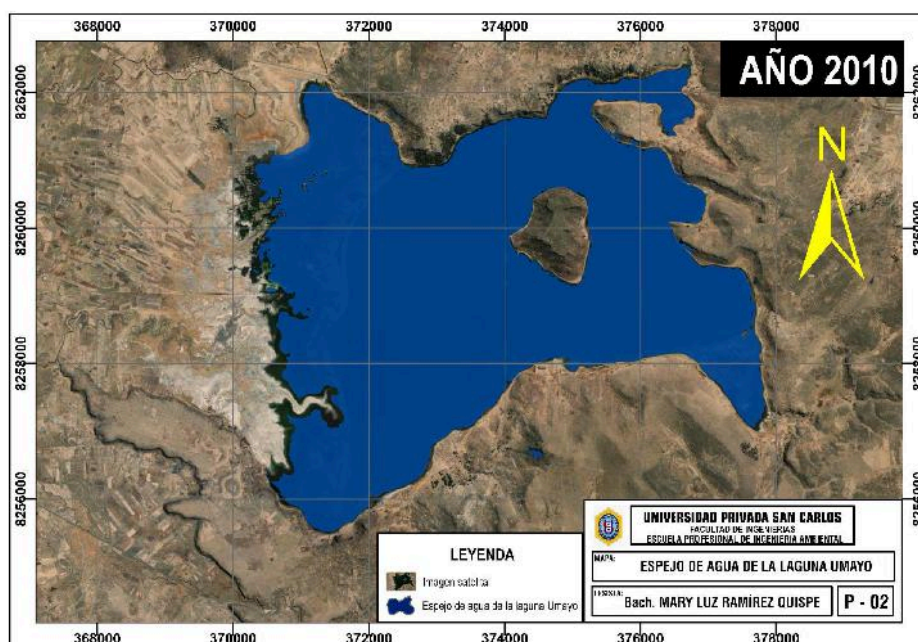


Figura 02: Espejo de agua de la laguna Umayo al año 2010

Fuente: Imagen satelital landsat - USGS (2010)

En la figura 02, se muestra el espejo de agua de la laguna Umayo al año 2010, indicando que la extensión territorial de la laguna Umayo es de 27.39 km², la cual es menor a la extensión promedio de la laguna (37.21 km²).

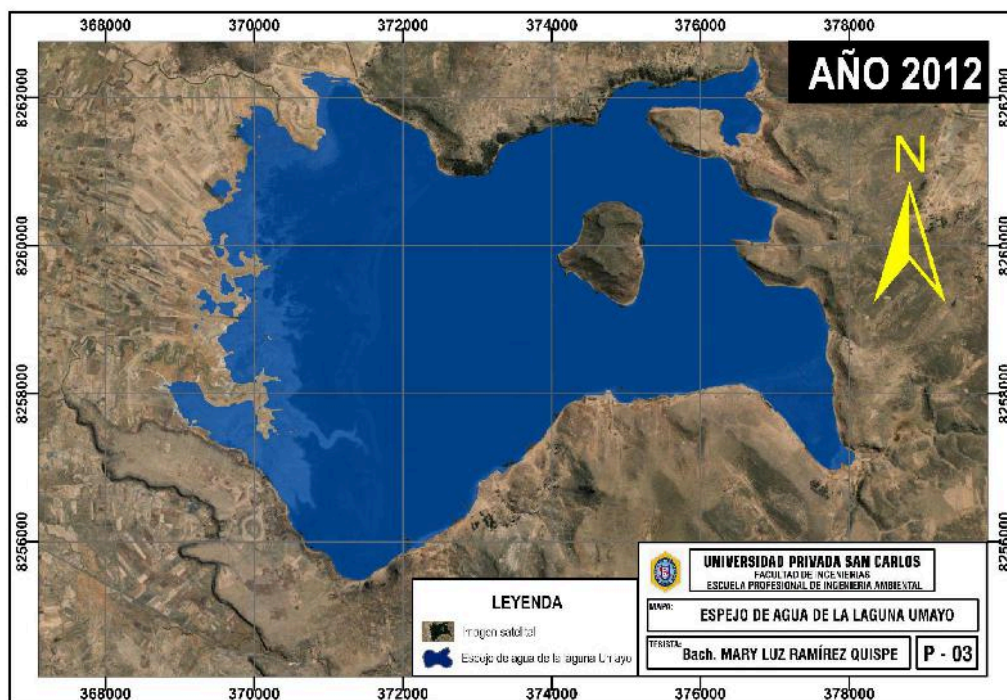


Figura 03: Espejo de agua de la laguna Umayo al año 2012

Fuente: Imagen satelital landsat - USGS (2012)

En la figura 03, se muestra el espejo de agua de la laguna Umayo al año 2012, indicando que la extensión territorial de la laguna Umayo es de 33.91 km², la cual es menor a la extensión promedio de la laguna (37.21 km²).

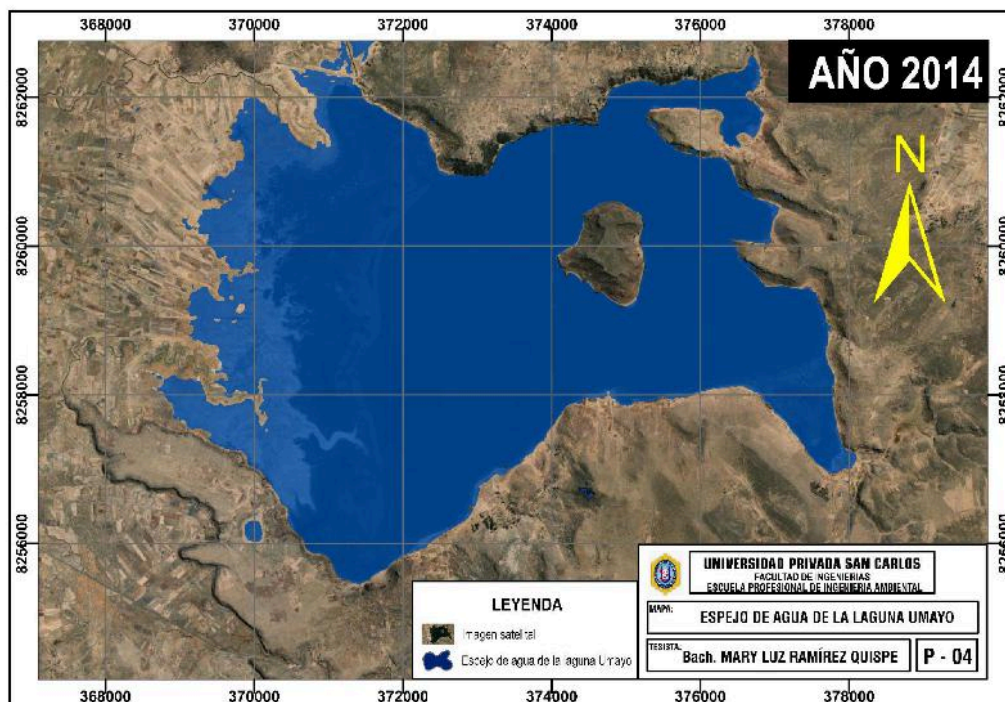


Figura 04: Espejo de agua de la laguna Umayo al año 2014

Fuente: Imagen satelital landsat - USGS (2014)

En la figura 04, se muestra el espejo de agua de la laguna Umayo al año 2014, indicando que la extensión territorial de la laguna Umayo es de 35.46 km², la cual es menor a la extensión promedio de la laguna (37.21 km²).

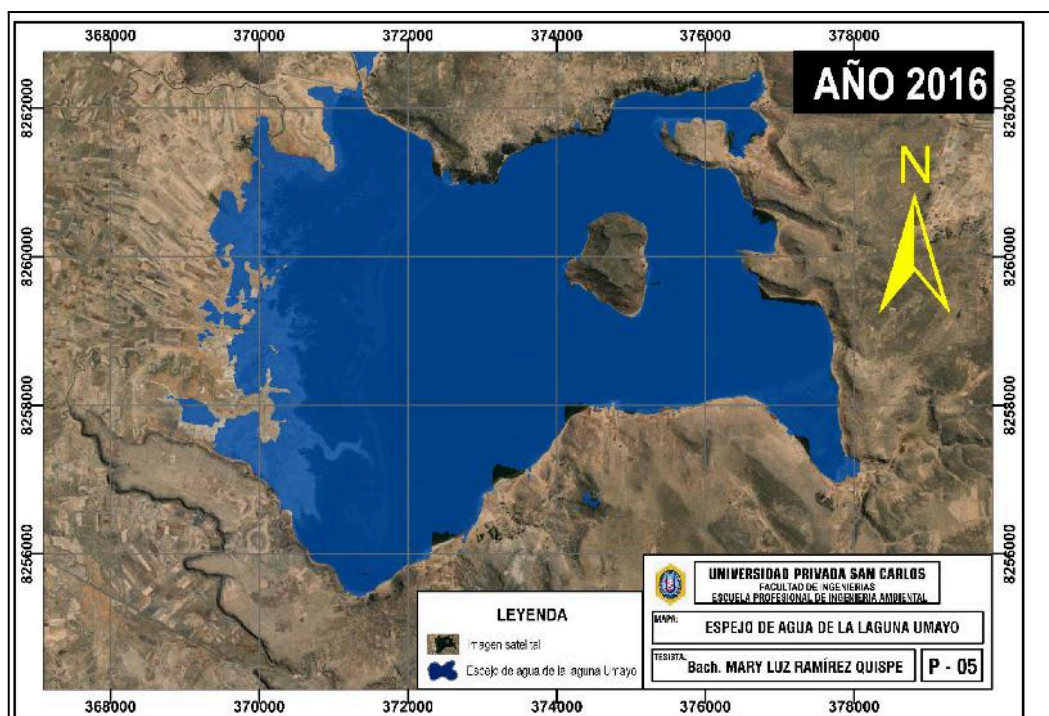


Figura 05: Espejo de agua de la laguna Umayo al año 2016

Fuente: Imagen satelital landsat - USGS (2016)

En la figura 05, se muestra el espejo de agua de la laguna Umayo al año 2016, indicando que la extensión territorial de la laguna Umayo es de 33.57 km², la cual es menor a la extensión promedio de la laguna (37.21 km²).

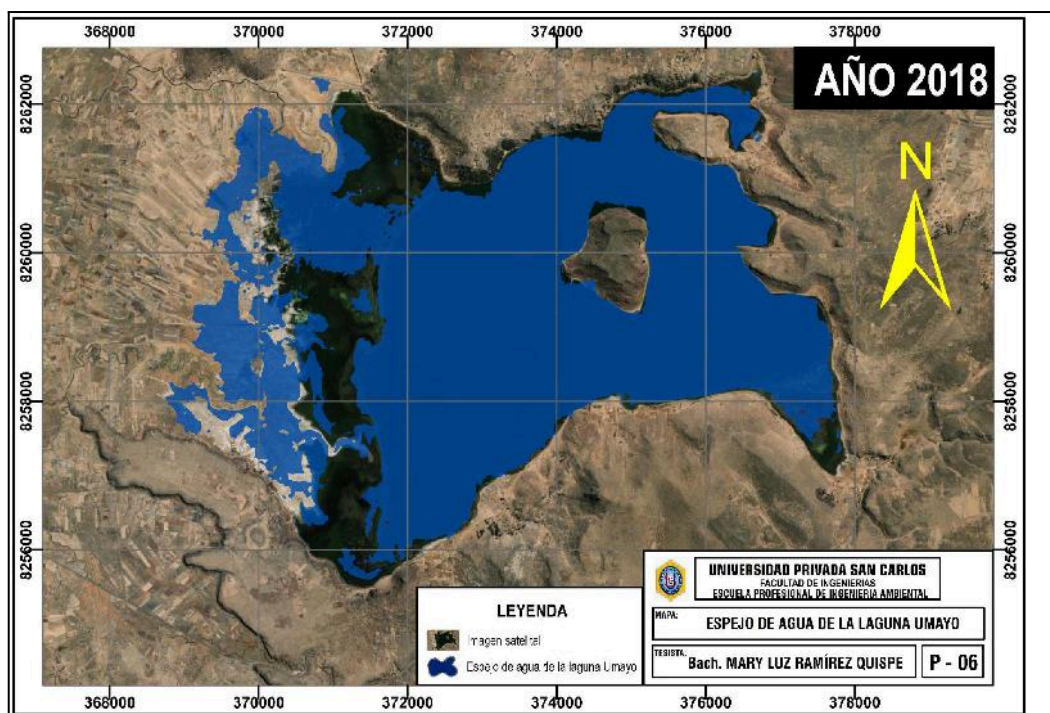


Figura 06: Espejo de agua de la laguna Umayo al año 2018

Fuente: Imagen satelital landsat - USGS (2018)

En la figura 06, se muestra el espejo de agua de la laguna Umayo al año 2018, indicando que la extensión territorial de la laguna Umayo es de 27.30 km², la cual es menor a la extensión promedio de la laguna (37.21 km²).

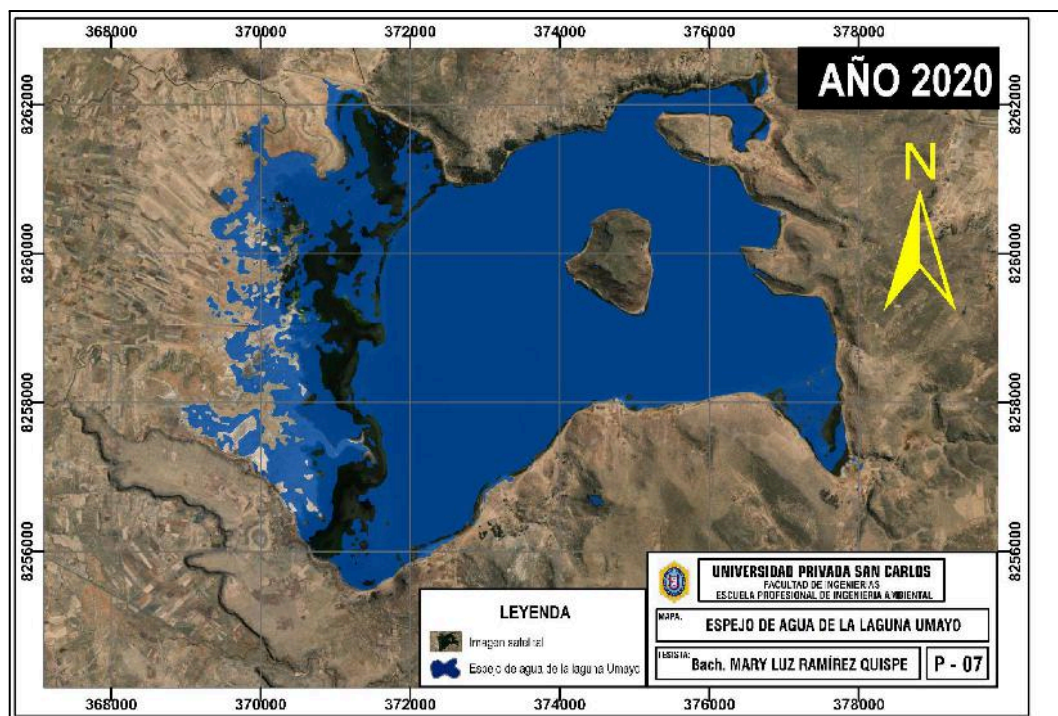


Figura 07: Espejo de agua de la laguna Umayo al año 2020

Fuente: Imagen satelital landsat - USGS (2020)

En la figura 07, se muestra el espejo de agua de la laguna Umayo al año 2020, indicando que la extensión territorial de la laguna Umayo es de 28.13 km², la cual es menor a la extensión promedio de la laguna (37.21 km²).

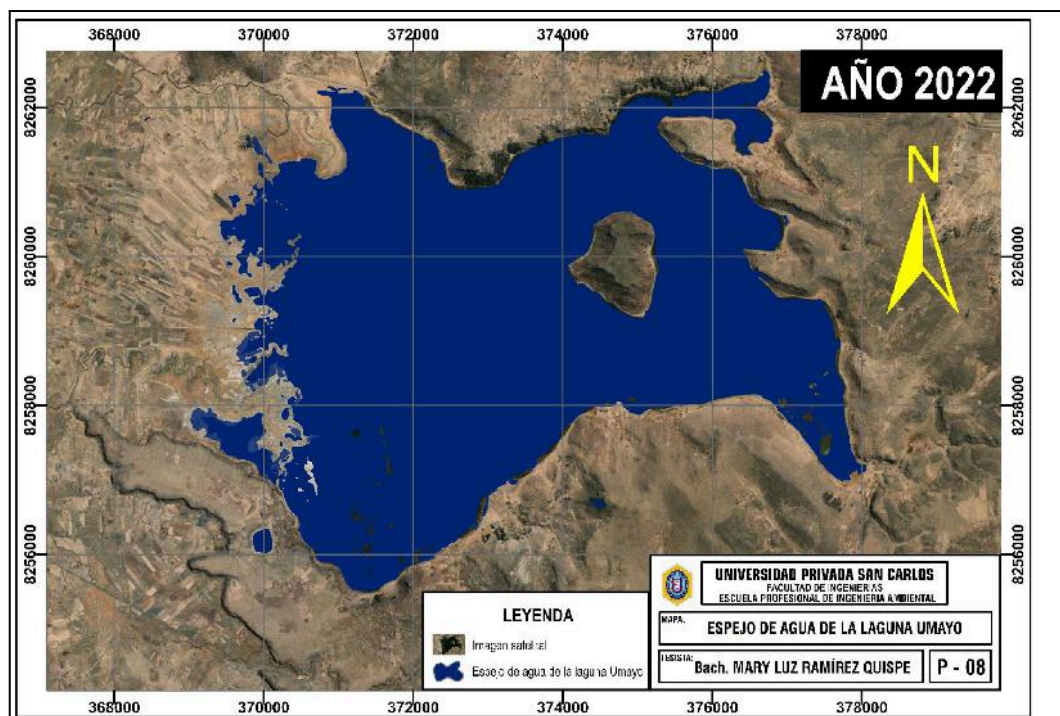


Figura 08: Espejo de agua de la laguna Umayo al año 2022

Fuente: Imagen satelital landsat - USGS (2020)

En la figura 08, se muestra el espejo de agua de la laguna Umayo al año 2022, indicando que la extensión territorial de la laguna Umayo es de 23.43 km², la cual es menor a la extensión promedio de la laguna (37.21 km²).

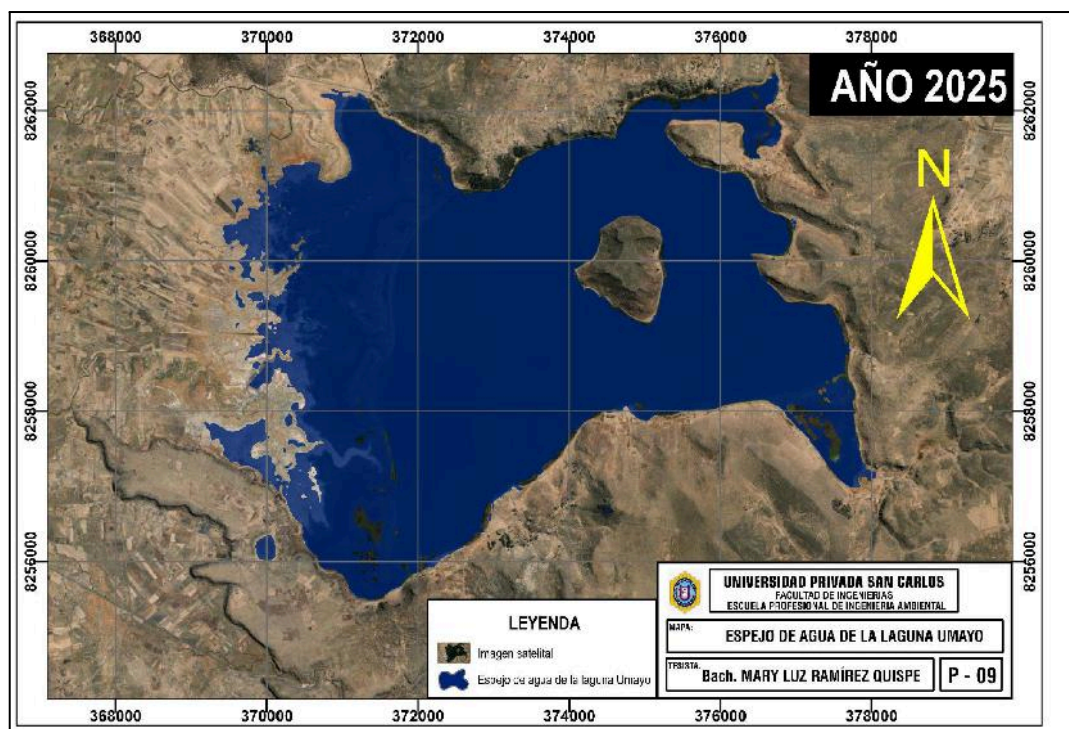


Figura 09: Espejo de agua de la laguna Umayo al año 2025

Fuente: Imagen satelital landsat - USGS (2010)

En la figura 09, se muestra el espejo de agua de la laguna Umayo al año 2025, indicando que la extensión territorial de la laguna Umayo es de 30.96 km², la cual es menor a la extensión promedio de la laguna (37.21 km²).

4.1.2. TASA DE CAMBIO DEL ESPEJO DE AGUA

En la tabla 04 y figura 10, se aprecia la extensión del espejo de agua de la laguna Umayo entre los periodos de 2010 a 2025, indicando que la extensión territorial promedio establecido por el MINAM que abarca la la laguna Umayo es de 37.21 km² (100%), además al año 2010 la extensión del espejo de agua abarcaba el 73.62 % (27.39 km²) de la laguna; mientras que al año 2012 abarcaba 91.13 % (33.91 km²); también al año 2014 abarcaba 95.28 % (35.46 km²), de igual manera al año 2016 abarcaba 90.22 % (33.57 km²), así también al año 2018 abarcaba 73.38 % (27.30 km²), mientras que al año 2020 abarcaba 28.13 % (75.61 km²), así mismo al año 2022 abarcaba 62.97 % (23.43 km²), y finalmente al año 2025 abarcaba 30.96 % (83.21 km²), presentando una tasa de decrecimiento del espejo de agua respectivamente.

Tabla 04: Extensión del espejo de agua entre los periodos de 2010 a 2025 de la laguna Umayo

Espejo de agua				
Año	Extensión del espejo de agua		Área total	
	km2	%	km2	%
2010	27.39	73.62	37.21	100.00
2012	33.91	91.13	37.21	100.00
2014	35.46	95.28	37.21	100.00
2016	33.57	90.22	37.21	100.00
2018	27.30	73.38	37.21	100.00
2020	28.13	75.61	37.21	100.00
2022	23.43	62.97	37.21	100.00
2025	30.96	83.21	37.21	100.00

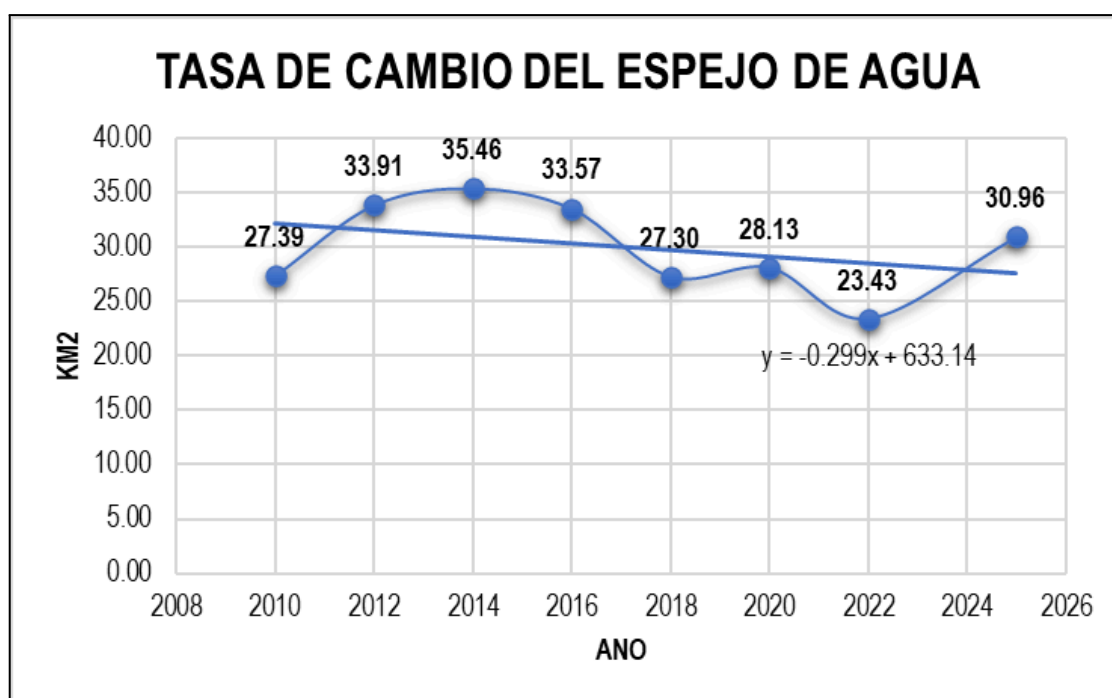


Figura 10: Extensión del espejo de agua entre los periodos de 2010 a 2025 de la laguna Umayo

4.1.3. INDICADORES DE VALIDACIÓN

La matriz de confusión y el índice Kappa (Anexo 3) se obtuvieron con el fin de proporcionar una categorización fiable. Estas métricas ofrecen evaluaciones cuantitativas de la precisión y validez de los mapas desde 2010 hasta 2025. Los resultados se muestran en la Tabla 07:

La validación de los mapas mediante el índice Kappa se muestra en la Tabla 05, que indica que el área del espejo del agua de la laguna Umayo entre 2010 y 2025 tiene una precisión del 94.93 % al 95.55 %; además, el área generada utilizando imágenes satelitales Landsat tiene valores del índice Kappa que oscilan entre 0,9360 y 0,9814. Esto significa que el área generada utilizando imágenes satelitales Landsat está validada, lo que demuestra que la clasificación se encuentra dentro de los parámetros del índice Kappa.

Tabla 05: Validación de mapas mediante el Índice Kappa

Año	Precisión Global (%)	Índice Kappa
2010	98.55%	0.9814
2012	98.48%	0.9805
2014	98.33%	0.9789
2016	96.83%	0.9598
2018	96.83%	0.9598
2020	95.65%	0.9442
2022	94.92%	0.9360
2025	95.23%	0.9396

Nota. Datos de precisión Global e Índice de Kappa.

4.2. OBJETIVO ESPECÍFICO N° 02: DETERMINAR LA RELACIÓN DE LOS FACTORES CLIMÁTICOS CON RESPECTO A LA EXTENSIÓN DEL ESPEJO DE AGUA GENERADO ENTRE LOS PERIODOS 2010 - 2025, DE LA LAGUNA UMayO

4.2.1. PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA DE LA LAGUNA UMayO

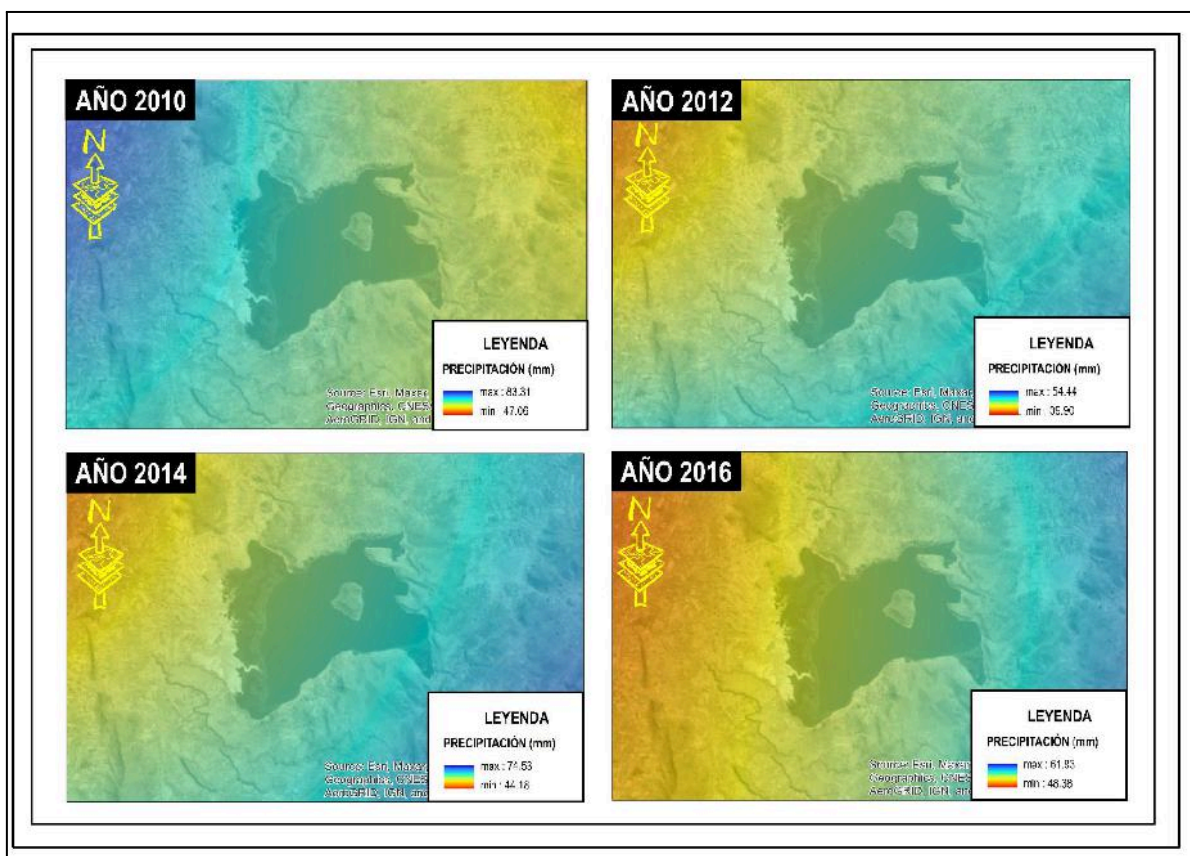


Figura 11: Precipitación existente en la laguna Umayo entre el año 2010 - 2016.

En la figura 11, se exhibe la precipitación existente en la laguna Umayo entre el año 2010 - 2016, indicando que la precipitación promedio para el año 2010 fluctúa entre 12.85mm a 19.71mm, mientras que para el año 2012 fluctúa entre 21.23mm a 14.53mm, además para el año 2014 fluctúa entre 13.48mm a 18.01mm, y para el año 2016 fluctúa entre 14.09mm a 19.60mm, representando una tendencia de decrecimiento en este periodo.

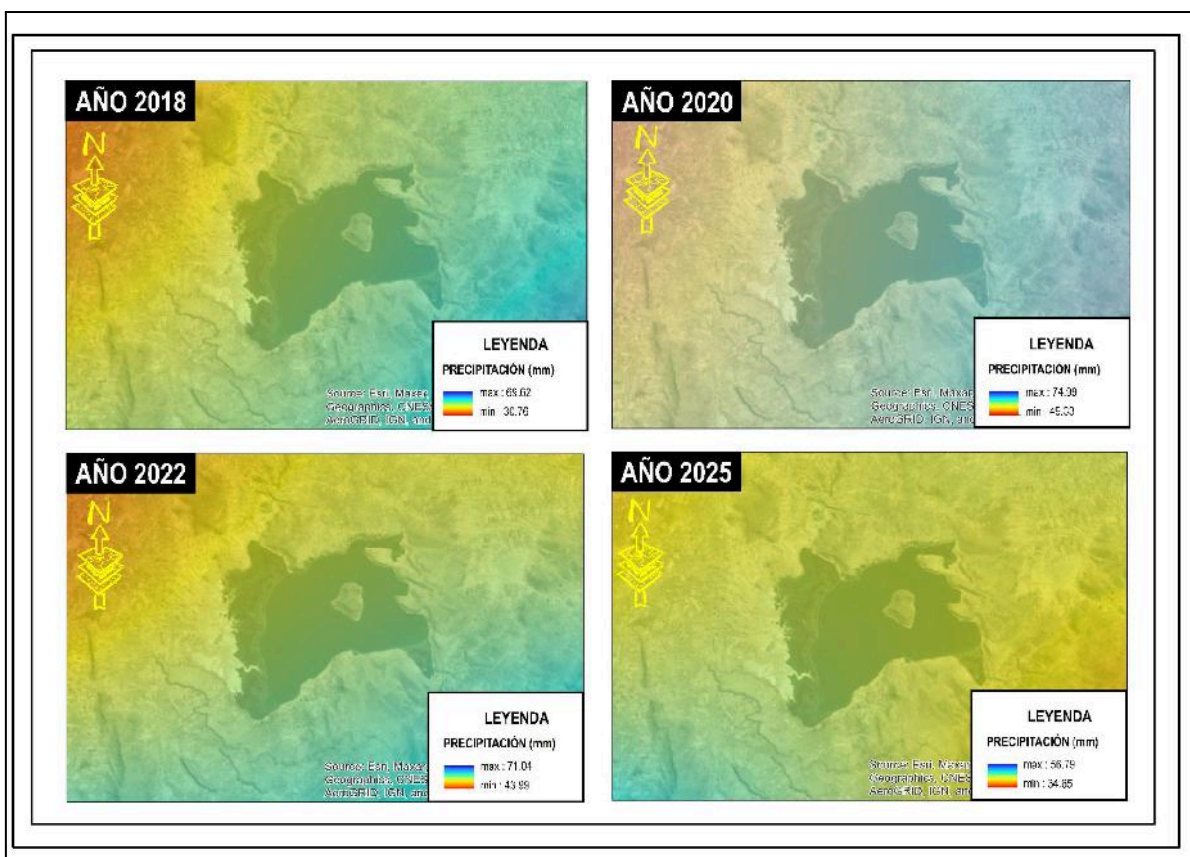


Figura 12: Precipitación existente en la laguna Umayo entre el año 2018 - 2025.

En la figura 12, se exhibe la precipitación existente en la laguna Umayo entre el año 2018 - 2025, indicando que la precipitación promedio para el año 2018 fluctúa entre 30.76mm a 69.62mm, mientras que para el año 2020 fluctúa entre 49.33mm a 74.99mm, además para el año 2022 fluctúa entre 43.99mm a 71.04mm, y para el año 2025 fluctúa entre 34.65mm a 56.79mm, representando una tendencia de incremento en este periodo.

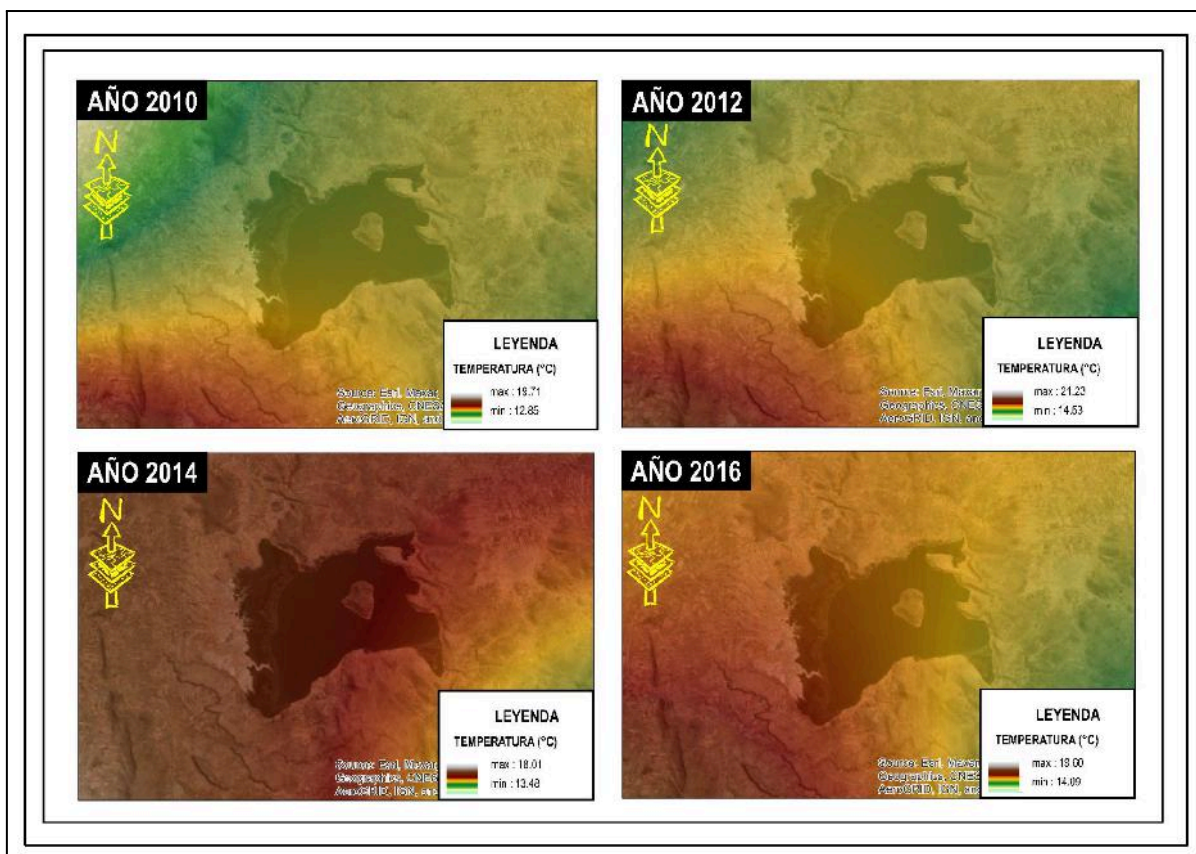


Figura 13: Temperatura existente en la laguna Umayo entre el año 2010 - 2016.

En la figura 13, se exhibe la temperatura existente en la laguna Umayo entre el año 2010 - 2016, indicando que la temperatura promedio para el año 2010 fluctúa entre 12.85°C a 19.71°C, mientras que para el año 2012 fluctúa entre 14.53°C a 21.23°C, además para el año 2014 fluctúa entre 13.48°C a 18.01°C, y para el año 2016 fluctúa entre 14.09°C a 19.60°C, representando una tendencia de incremento en este periodo.

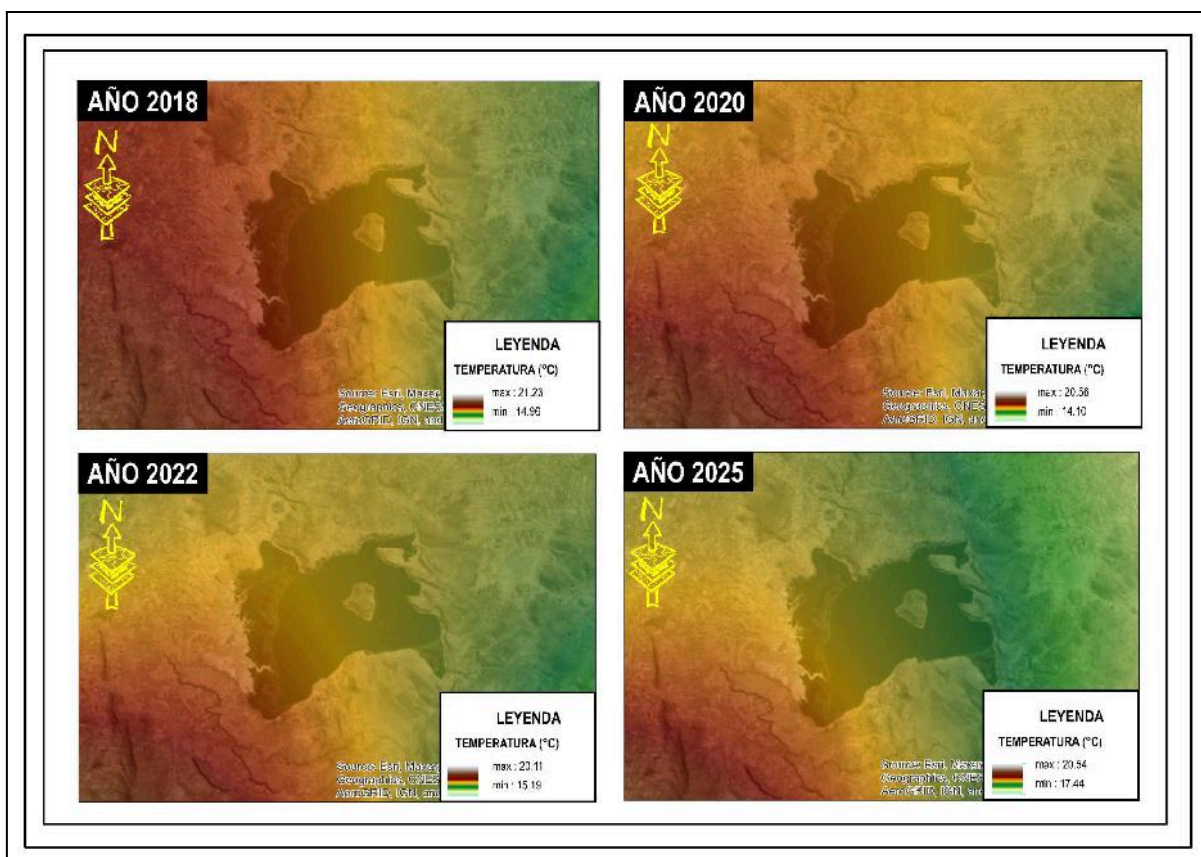


Figura 14: Temperatura existente en la laguna Umayo entre el año 2018 - 2025.

En la figura 14, se exhibe la temperatura existente en la laguna Umayo entre el año 2018 - 2025, indicando que la temperatura promedio para el año 2018 fluctúa entre 14.96°C a 21.23°C, mientras que para el año 2020 fluctúa entre 14.10°C a 20.56°C, además para el año 2022 fluctúa entre 15.19°C a 20.10°C, y para el año 2025 fluctúa entre 17.44°C a 20.54°C, representando una tendencia de incremento en este periodo.

En la tabla 06, se exhibe el resumen de la precipitación y temperatura de la cuenca del río Crucero – periodo 1990 al 2025; indicando que cuentan con una precipitación promedio de 48.65mm a 68.66mm; también una temperatura promedio entre 17.09 a 18.76°C

Tabla 06: Precipitación y temperatura de la laguna Umayo – periodo 2010 al 2025

Factores climáticos						
Año	Precipitación (mm)			Temperatura (°C)		
	min.	max.	media	min.	max.	media
2010	47.06	83.31	65.19	12.85	19.71	16.28
2012	39.90	54.47	47.19	14.53	21.23	17.88
2014	44.17	74.52	59.35	13.48	18.01	15.75
2016	48.38	61.93	55.16	14.09	19.60	16.85
2018	30.76	69.62	50.19	14.96	21.23	18.10
2020	49.33	74.99	62.16	14.10	20.56	17.33
2022	43.99	71.04	57.52	15.19	20.10	17.65
2025	34.65	56.79	45.72	17.44	20.54	18.99

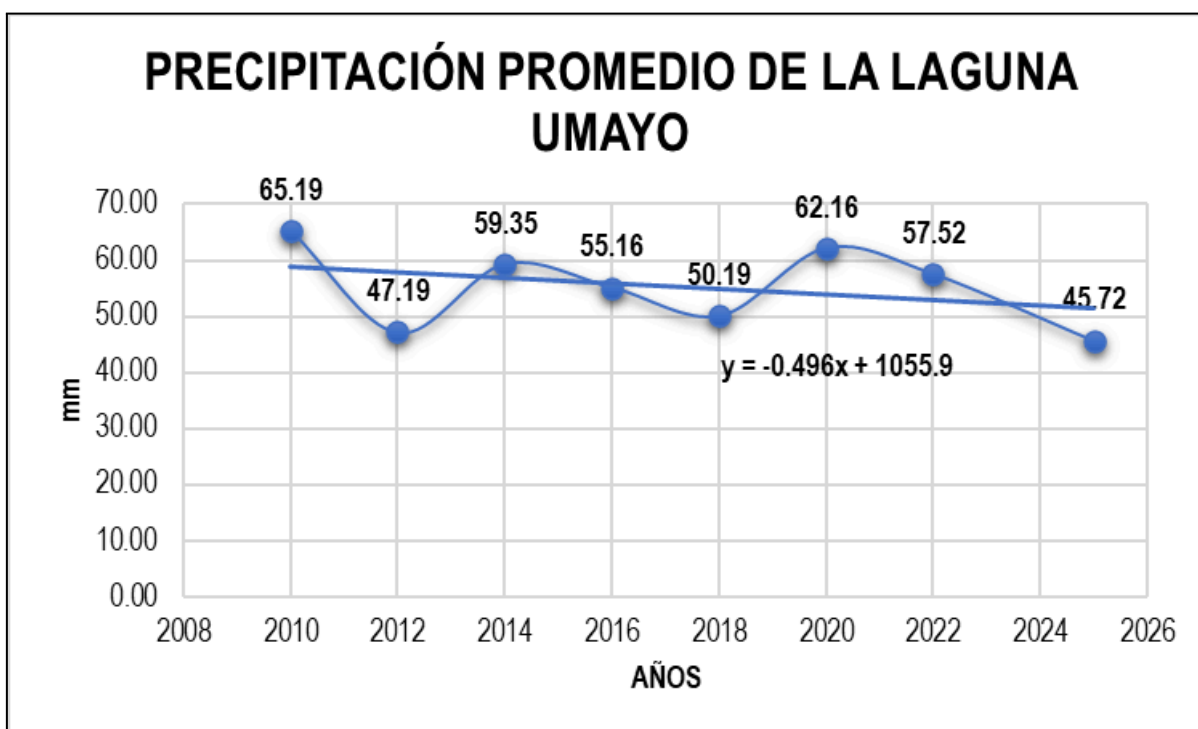


Figura 15: Tendencia de la precipitación de la laguna Umayo – periodo 2010 al 2025.

En la figura 15, se muestra la tendencia de la precipitación de la laguna Umayo – periodo 2010 al 2025, manifestando que presenta una tendencia de decrecimiento del -0.49% de la precipitación en la laguna Umayo para los periodos analizados respectivamente.

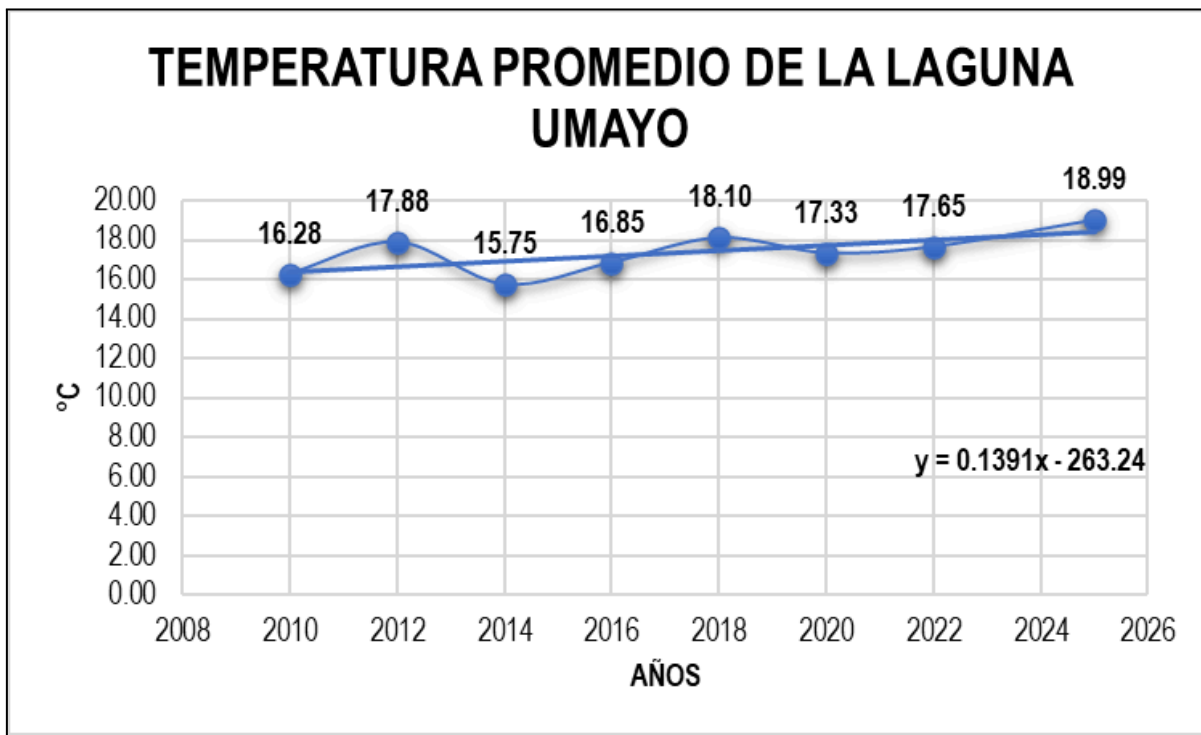


Figura 16: Tendencia de la temperatura de la laguna Umayo – periodo 2010 al 2025.

En la figura 16, se exhibe la tendencia de la temperatura de la laguna Umayo – periodo 2010 al 2025, manifestando que presenta una tendencia de incremento del 0.13% de la precipitación en la laguna Umayo para los periodos evaluados.

4.2.2. IMPACTO DE LOS FACTORES CLIMÁTICOS EN LA SUPERFICIE DEL ESPEJO DEL AGUA DE LA LAGUNA UMAYO

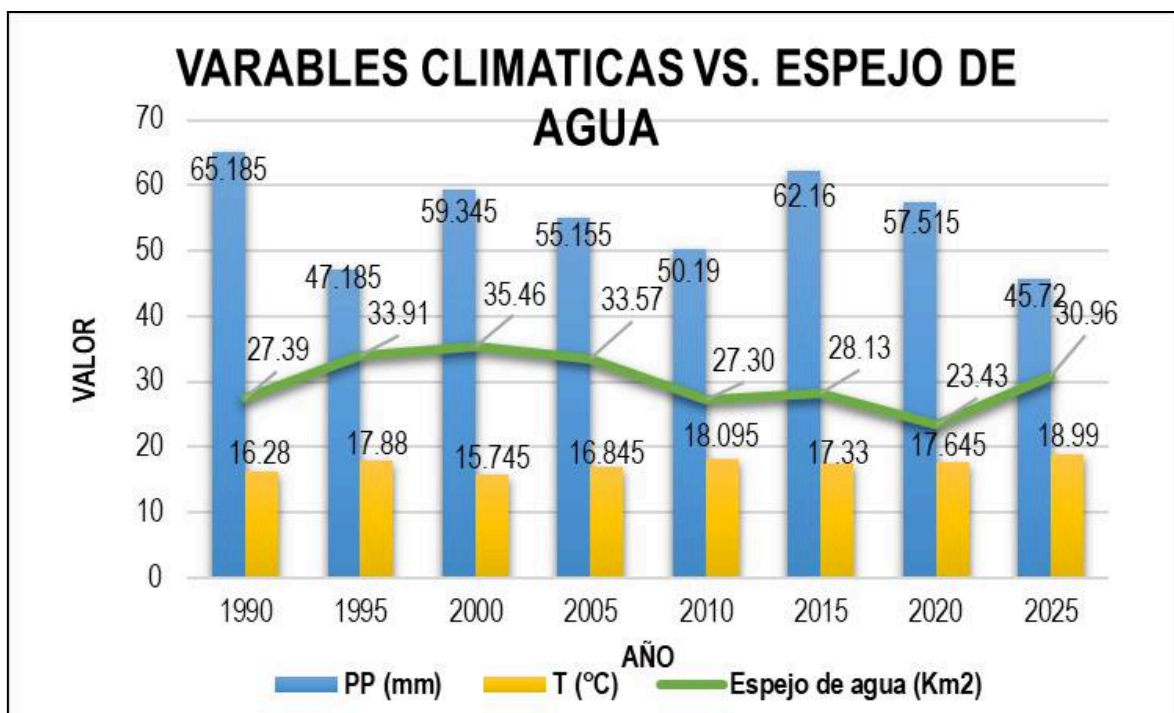


Figura 17: Factores climáticos vs. Espejo de agua

En la figura 17, se muestra relación de la precipitación y temperatura con la superficie del espejo de agua, indicando que mientras la precipitación disminuye la superficie del espejo de agua también disminuye; constatando una asociación proporcional; también mientras que la temperatura aumenta la superficie del espejo de agua disminuye, constatando una asociación inversamente proporcional; recalcando que en los últimos 15 años en la laguna Umayo hay disminución de la precipitación y un incremento en la temperatura que es el principal causante de la disminución del espejo de agua

4.3. ESTIMAR EL PORCENTAJE DE VARIACIÓN DEL ESPEJO DE AGUA PARA EL AÑO 2040 DE LA LAGUNA UMAYO

4.3.1. PRONÓSTICO DE LA VARIACIÓN DE LOS FACTORES CLIMÁTICOS

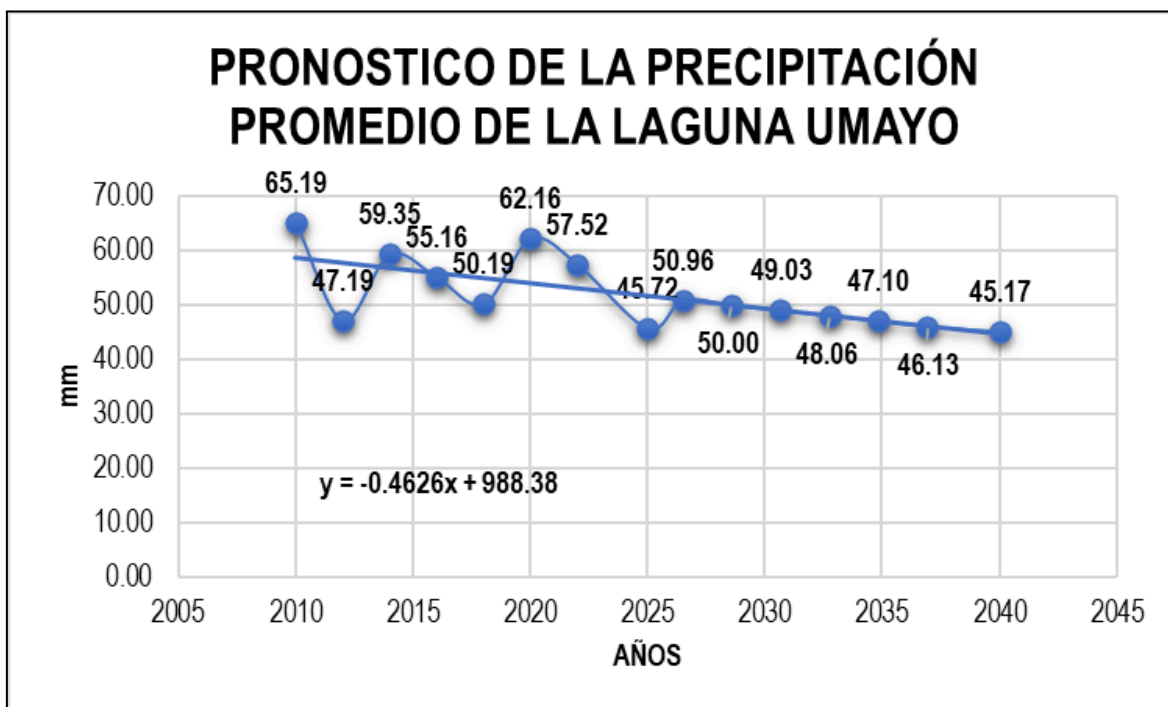


Figura 18: Pronóstico de la precipitación de la laguna Umayo al año 2040

En la figura 18, se muestra el pronóstico de la precipitación de la laguna Umayo al año 2040, indicando que al año 2040 la precipitación promedio será de 45.17mm; representando una tasa de decrecimiento con respecto al año actual; todo ello según la fórmula de regresión lineal ($y = -0.4626x + 988.38$), que presenta un signo negativo

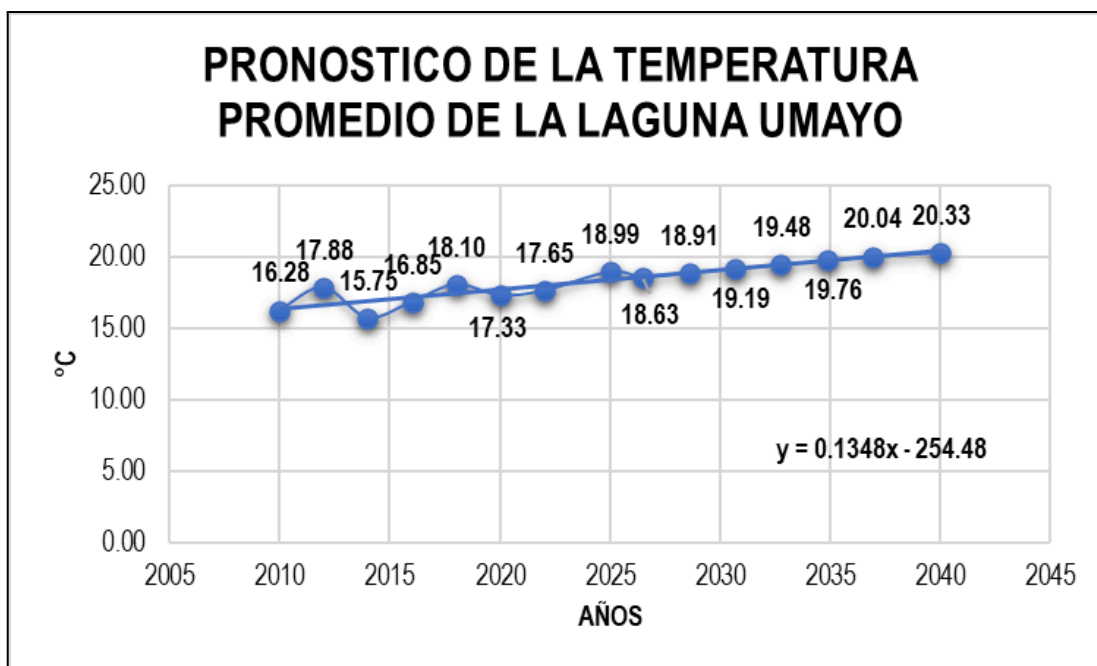


Figura 19: Pronóstico de la temperatura de la laguna Umayo al año 2040

En la figura 19, se muestra el pronóstico de la temperatura de la laguna Umayo al año 2040, indicando que al año 2040 la temperatura promedio será de 20.33°C; representando una tasa de incremento con respecto al año actual; todo ello según la fórmula de regresión lineal ($y = 0.1348x - 254.48$), que presenta un signo positivo.

4.3.2. PRONÓSTICO DE LA VARIACIÓN DEL ESPEJO DE AGUA

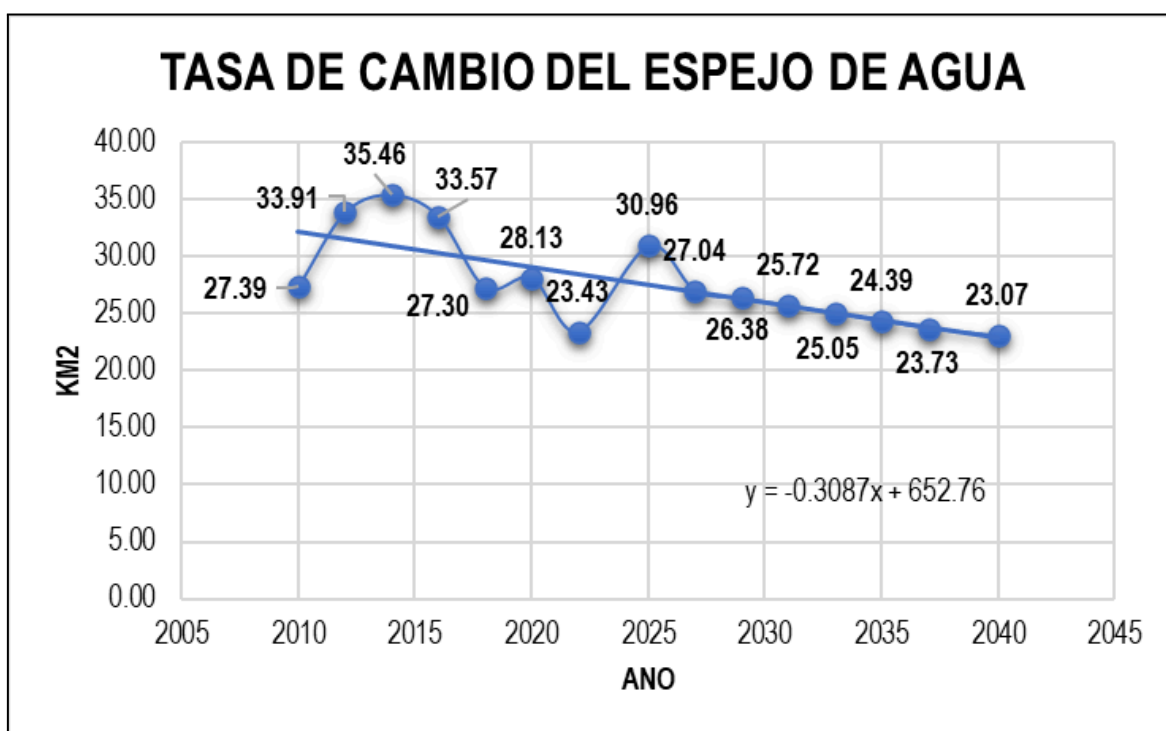


Figura 20: Pronóstico del espejo de agua de la laguna Umayo al año 2040

En la figura 20, se muestra el pronóstico del espejo de agua de la laguna Umayo al año 2040, indicando que al año 2040 la superficie del espejo de agua será de 23.07 km²; representando una tasa de decrecimiento con respecto al año actual; todo ello según la fórmula de regresión lineal ($y = -0.3087x + 652.76$), que presenta un signo negativo (disminución).

Además se indica que el aumento de la temperatura favorece la evaporación, lo que genera una pérdida progresiva del volumen de agua superficial; este fenómeno se intensifica en zonas altoandinas como es la zona en estudio, donde la exposición solar es elevada y la cobertura vegetal es escasa, reduciendo la capacidad de retención hídrica. Asimismo, la disminución de las precipitaciones y la irregularidad en su distribución temporal y espacial, asociadas al cambio climático, limitan la recarga natural de estos cuerpos de agua, acelerando su descenso.

Comprender la influencia de estos factores climáticos es esencial para la gestión sostenible de los recursos hídricos, ya que permitirá desarrollar estrategias de

conservación y mitigación frente a los impactos derivados del cambio climático. Además, este análisis resulta fundamental para la planificación de actividades agrícolas, ganaderas y turísticas, así como para la protección de la biodiversidad que depende de estos ecosistemas acuáticos.

4.4. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

4.4.1. PRUEBA DE NORMALIDAD

- Nivel de significancia = 5 %
- Nivel de confianza = 95 %
- Prueba de normalidad: Shapiro- Wilk
- Estimador:

Si P valor \Rightarrow 0.05, = presenta distribución normal de los datos

Si P valor $<$ 0.05, = no presenta distribución normal de los datos

En la tabla 7, se aprecia la prueba de normalidad Shapiro – Wilk, indicando que hay menos de 50 datos (8) para los factores climáticos y la superficie del espejo de agua, por ello se utilizó la prueba de normalidad Shapiro-Wilk, en donde los hallazgos evidenciaron un nivel de significancia de 0.032, y 0.023, lo que indica que las variables mantienen una distribución de carácter no normal, ya que el p-valor es $<$ alfa (0,05), a partir de ello se aplicará la prueba de Rho de Spearman para cuantificar la correlación de las variables

Tabla 07: Prueba de normalidad Shapiro – Wilk

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Factores climáticos	,932	8	,032
Espejo de agua	,915	8	,023

4.4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS

4.4.2.1. Comprobación de la hipótesis específica 1

H_a: **Existe** una variación significativa del espejo de agua generado entre los periodos 2010 - 2025, de la laguna Umayo

H₀: No existe una variación significativa del espejo de agua generado entre los periodos 2010 - 2025, de la laguna Umayo

De acuerdo a lo expuesto en el apartado 4.1. donde se indica que la superficie del espejo de agua, en los periodos evaluados (2010 – 2025), son distintas para cada año, y presentan una tendencia de disminución; ante lo mencionado se acepta la hipótesis alterna **H_a**: Existe una variación significativa del espejo de agua generado entre los periodos 2010 - 2025, de la laguna Umayo, y se rechaza la hipótesis nula **H₀**.

4.4.2.2. Comprobación de la hipótesis específica 2

H_a: Los factores climáticos **presentan una relación significativa** con la extensión del espejo de agua generado entre los periodos 2010 - 2025, de la laguna Umayo

H₀: Los factores climáticos **no presentan una relación significativa** con la extensión del espejo de agua generado entre los periodos 2010 - 2025, de la laguna Umayo

De acuerdo con los datos mostrados en la tabla 8, la correlación de Spearman fue de 0,623**, con un nivel de significancia (Sig.) de < 0,00, lo que indica una correlación positiva considerable entre las variables estudiadas (Factores climáticos vs. superficie del espejo de agua), en mención se indica que se acepta la hipótesis **H_a**: Las variables climáticas presentan una incidencia significativa en la superficie de los bofedales de la cuenca del río Crucero en el período (1990 – 2025); y se rechaza la hipótesis nula **H₀**.

Tabla 08: Factores climáticos vs. superficie del espejo de agua (Rho de Spearman)

			Factores climáticos	Superficie del espejo de agua
Rho de Spearman	Factores climáticos	Coefficiente de correlación	1,000	,623**
		Sig. (bilateral)	.	,000
		N	8	8
	Superficie del espejo de agua	Coefficiente de correlación	,623**	1,000
		Sig. (bilateral)	,000	.
		N	8	8

4.4.2.3. Comprobación de la hipótesis específica 3

H_a : La extensión del espejo de agua para el año 2040 de la laguna Umayo **es menor** a la del año actual

H_o : La extensión del espejo de agua para el año 2040 de la laguna Umayo **no es menor** a la del año actual

De acuerdo a lo expuesto en el apartado 4.3. donde se indica que la superficie del espejo de agua según el pronóstico realizado mediante regresión lineal al año 2040 es de 23.07 km², siendo inferior a la del año actual - 2025 (30.96 km²) presentando una tendencia de disminución; ante lo mencionado se acepta la hipótesis alterna H_a : La extensión del espejo de agua para el año 2040 de la laguna Umayo **es menor** a la del año actual, y se rechaza la hipótesis nula H_o .

4.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Estos resultados comparados con el estudio de Alba & Moreno (2024), presentan cierta similitud donde hallo el espejo de agua de la laguna tominé, presentando una superficie de 2978 hectáreas en 1977, 2010 hectáreas en 1987, 2337 hectáreas en 1997, 3228 hectáreas en 2007, 2884 hectáreas en 2015 y 2905 hectáreas en 2023, Estas cifras demuestran que, a partir del primer año de la investigación, la superficie del embalse disminuyó notablemente durante un breve periodo de tiempo antes de aumentar gradualmente, todo esto es afectada por fenómenos de variabilidad climática interanual como El Niño y La Niña, fueron las principales causas de los cambios en la superficie del embalse; además con respecto a Albán et al., (2021), indica que superficie de la laguna Caricocha disminuirá en un 2,62 %, la de la laguna Huarmicocha en un 21,97 % y la de la laguna Chiriyacu en un 36,21 % durante los próximos 20 años. Se prevé que la superficie acuática de las lagunas Caricocha y Chiriyacu disminuya un 1,03 % y un 0,60 %, respectivamente, para 2030, mientras que la de la laguna Huarmicocha aumentará un 15,72 %.

Asimismo comparados con el estudio de Chambe et al. (2021), la superficie del lago Suches disminuyó en 822,082 hectáreas en 2015, hasta alcanzar las 1150,12 hectáreas

en 2020, y era de 1508,39 hectáreas en 1975, donde se indica que a diferencia de lo que ocurre a nivel mundial, los datos del humedal de Huaytire y la laguna de Suches no son excepcionales, lo que demuestra que sus datos se encuentran dentro de los límites previstos de disminución; además Quenta (2023), halló una asociación entre la superficie del agua y la precipitación acumulada anual con un valor Rho de Spearman de 0,655 y un valor p de Spearman de 0,000064 (0,0064 %). Además, se obtuvo un valor Rho de Spearman de -0,162 y un valor p de Spearman de 0,385 (38,5 %) para la temperatura media. A partir de ello se indica que existe una correlación positiva significativa entre la superficie de agua y la cantidad total de precipitaciones y temperaturas que se producen cada año

Según indica Pech et al. (2021) constituye un ejemplo relevante de cómo las herramientas de teledetección y el análisis multitemporal permiten evaluar los cambios en la superficie del agua en un contexto de variabilidad climática y presión antrópica. Al emplear los índices NDWI (Índice de Agua de Diferencia Normalizada), lograron identificar con precisión las variaciones espaciales y temporales de los cuerpos de agua durante el periodo 2018–2020 en el sureste de México; Los resultados obtenidos por Pech et al. evidenciaron que las variaciones en la superficie oceánica durante el periodo estudiado estuvieron influenciadas principalmente por factores climáticos, entre ellos la variabilidad en la precipitación y temperatura, así como la ocurrencia de fenómenos extremos como huracanes y tormentas. Estos eventos no solo afectan directamente el nivel del mar y la extensión del agua superficial, sino que también provocan modificaciones en la cobertura vegetal costera, lo que se reflejó en los valores del NDVI; asimismo, se identificaron cambios asociados a presiones antrópicas, tales como la construcción de infraestructuras costeras, la urbanización y la explotación de recursos marinos, que generan alteraciones en la dinámica natural del ecosistema. Estos factores humanos, sumados a los procesos naturales, complican la interpretación de los resultados y destacan la necesidad de integrar datos socioeconómicos y de gestión territorial en futuros estudios.

CONCLUSIONES

PRIMERA: La variación del espejo de agua generado entre los periodos 2010 - 2025 de la laguna Umayo es de 27.39 km² al año 2010, además al año 2012 es de 33.91 km²; también al año 2014 es de 35.46 km², de igual manera al año 2016 es de 33.57 km², así también al año 2018 es de 27.30 km², mientras que al año 2020 es de 75.61 km², así mismo al año 2022 es de 23.43 km², y finalmente al año 2025 es de 83.21 km² presentando un comportamiento decreciente.

SEGUNDA: La superficie del espejo de agua de la laguna Umayo y las precipitaciones están íntimamente relacionadas; cuando las precipitaciones disminuyen a una razón de -0.49% , también lo hace la superficie del espejo de agua; por el contrario, la temperatura y la superficie del espejo de agua están negativamente relacionadas; a medida que la temperatura aumenta a una razón de 0.13%, la superficie del espejo de agua disminuye.

TERCERA: La superficie del espejo de agua de la laguna Umayo al año 2040 será de 23.07 km² siendo inferior a la del año actual - 2025 (30.96 km²), todo ello debido a que el aumento de la temperatura favorece la evaporación, lo que genera una pérdida progresiva del volumen de agua superficial; asimismo, la disminución de las precipitaciones y la irregularidad en su distribución temporal y espacial, asociadas al cambio climático, limitan la recarga natural de estos cuerpos de agua.

RECOMENDACIONES

PRIMERA: Para estudios posteriores de futuros investigadores se recomienda considerar más variables relevantes, como la humedad del suelo, la radiación solar y los patrones de viento, se obtendrá una comprensión más completa de los factores que afectan la variabilidad climática en el área de estudio. Esto permitirá un análisis más robusto, la detección de posibles tendencias ocultas y una base sólida para generar recomendaciones y estrategias efectivas frente al cambio climático en la región.

SEGUNDA: A la autoridad municipal del distrito de Atuncolla, al ANA, al PEBL, implementar medidas de conservación para los bofedales andinos, como la replantación con especies nativas y la construcción de zanjas de infiltración, con el fin de protegerlos y garantizar la sostenibilidad en la cuenca del lago Umayo.

TERCERA: Para obtener resultados de calidad y analizar de manera exhaustiva los factores climáticos, se recomienda trabajar con un período de tiempo de al menos 30 años. Al extender el período de análisis, se logra una visión más completa de la variabilidad climática y sus posibles tendencias en la cuenca de estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- Alba, L., & Moreno, E. (2024). *Análisis multitemporal del cuerpo de agua del embalse Tominé, en el departamento de Cundinamarca, para el período 1977 – 2023*. [Tesis]. Universidad Antonio Nariño.
- Albán, D., Denise, G., Quilumba, P., & Marilyn, S. (2021a). *Evaluación de la pérdida del espejo de agua de las lagunas Caricocha, Chiriyacu y Huarmicocha mediante el análisis multitemporal de imágenes satelitales en el período de 2000 a 2020 y propiedades físico-químicos de aguas y sedimentos para el manejo adecuada*. [Tesis]. Universidad de las Fuerzas Armadas.
- Albán, D., Denise, G., Quilumba, P., & Marilyn, S. (2021b). *Evaluación de la pérdida del espejo de agua de las lagunas Caricocha, Chiriyacu y Huarmicocha mediante el análisis multitemporal de imágenes satelitales en el período de 2000 a 2020 y propiedades físico-químicos de aguas y sedimentos para el manejo adecuada*. [Tesis]. Universidad de las Fuerzas Armadas.
- Arévalo, M., & Murgas, P. (2018). *Evaluación de la pérdida del espejo de agua en la Laguna de Suesca a través de imágenes satelitales* [Tesis]. Universidad de la Salle.
- Arias, J., & Geraldí, A. (2019). Análisis de la dinámica hídrica espacial de las lagunas las encadenadas de Saavedra y los chilenos con imágenes satelitales ópticas. *Actas científicas*, 33-40.
- Arteaga, L., Roncancio, J., & Gonzalez, G. (2025). Análisis Multitemporal de los Índices Vegetativos e Hidrológicos del Embalse de Chingaza. *RICT Revista De Investigación Científica, Tecnológica e Innovación*, 3(5), 6-13.
- Ashok, A., Rani, H., & Jayakumar, K. (2021). Monitoring of dynamic wetland changes using NDVI and NDWI based landsat imagery. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 23.
- Bahamontes, J., Calizaya, D., & Franco, M. (2021). Análisis multitemporal de la laguna Suches y del vigor de la vegetación del bofedal de Huaytire, Tacna. *Ciencia &*

Desarrollo, 27-39.

- Belgium, M., & Drăguț, L. (2016). Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 114*, 24-31.
- Berde, V., Chari, P., & Berde, C. (2022). Wetland and Biodiversity Hotspot Conservation. *In Research Anthology on Ecosystem Conservation and Preserving Biodiversity*, 775-784.
- Bioresita, F., Anne, P., Stumpf, A., & Philippe, A. (2019). Fusion of Sentinel-1 and Sentinel-2 Image Time Series for Permanent and Temporary Surface Water Mapping. *International Journal of Remote Sensing*, 26-49.
- Briones, P. (2018). *Análisis de cambio de cobertura y uso de la tierra con imágenes satelitales del distrito de Namora* [Tesis]. Universidad Nacional César Vallejo.
- Buevas, C. (2019). *Determinación del espejo de agua del complejo Cenagoso Bajo Sinú y monitoreo de la mancha de inundación para el año 2017 mediante imágenes satelitales Sentinel 2* [Tesis]. Universidad de Manizales.
- Buitron, L. (2020). *Influencia de la variabilidad climática en la dinámica espacio temporal de los bofedales altoandinos en la microcuenca Chicllarazo, periodo 1988- 2022* [Tesis]. Universidad Privada del Norte.
- Calcina, K. (2023). *Evaluar la pérdida de espejo de agua y la biomasa en la bahía interior de puno durante el periodo 1984 al 2019* [Tesis]. Universidad Privada San Carlos.
- CAMPOS, C., & ARMAS, F. (2023). FUEL-OIL fuels obtained from plastic waste through pyrolysis, Pucallpa—Ucayali. *Mecanic publisher*, 1-23.
- Castañeda, E. (2014). *Análisis multitemporal del cuerpo de agua de la laguna el Sonso mediante imágenes satelitales Landsat*. [Tesis]. Universidad Militar Nueva Granada.
- Castillo, F. (2022). *Análisis multitemporal de la dinámica glaciar y su influencia sobre lagunas y humedales alto andinos en la cordillera blanca—Perú, periodo 1989-2019* [Tesis]. Universidad Nacional “Santiago Antúnez de Mayolo”.

- Castillo, I., & Rodríguez, M. (2017). Dinámica multitemporal de las coberturas y el espejo de agua en la laguna de Fúquene. *MUTIS*, 7(1), 20-33.
- Castro, J. (2021). *Variación de cobertura vegetal de los bofedales en los centros poblados de Tinyacclla y Pueblo Libre en los años 2016-2018-Huancavelica* [Tesis]. Universidad Nacional de Huancavelica.
- Chambe, J., Quintana, D., & Sanga, M. (2021). Análisis multitemporal de la laguna Suches y del vigor de la vegetación del bofedal de Huaytire, Tacna. *Ciencia & Desarrollo*, 27-39.
- Chanta, C. (2019). *Escenarios climáticos y su influencia en la extensión del bofedal Escotacay al 2030, Huaros—Canta* [Tesis]. Universidad Cesar Vallejo.
- Cifuentes, V., García, M., Checa, M., & Escudero, R. (2025). Estimación por teledetección de la superficie de la lámina de agua y los niveles de profundidad de las lagunas en los humedales de la Campiña Andaluza Central incluidos en la demarcación hidrográfica del Guadalquivir. *Teledetección: Humedales y Espacios Protegidos. XVI Congreso de la Asociación Española de Teledetección*, 322-325.
- Córdova, C. (2019). *Estudio multitemporal de la cobertura vegetal de los ecosistemas de la zona norte de la provincia de Chimborazo a través de imágenes satelitales* [Tesis]. Escuela Superior Politécnica del Chimborazo.
- Cruz, W. (2023). *Análisis multitemporal del espejo de agua de la laguna chacas empleando imágenes satelitales Landsat (1984 – 2022)* [Tesis]. Universidad Nacional del Altiplano de Puno.
- Escudero, L., & Xu, H. (2019). Formación y evolución de la laguna la niña 2017, utilizando imágenes satelitales modis-aqua. *Escudero,Xu*, 1(5), 1-11.
- Flores, V. (2017). *Predicción de bofedales en la reserva de producción de fauna Chimborazo a través del tratamiento de imágenes satelitales* [Tesis]. Escuela Superior Politécnica del Chimborazo.
- Galindo, Y. (2021). *Análisis Multitemporal de Cambio en el Espejo de Agua del Río Cusiana Mediante Procesamiento Digital de Imágenes Landsat* [Tesis].

- universidad Antonio Nariño.
- Godoy, D., & González, L. (2017). *Análisis Multitemporal de la Extensión del Cuerpo de Agua del Embalse del Muña, Cundinamarca; y las Afectaciones Ambientales del mismo para Poblaciones Cercanas: Sibaté Cundinamarca*. [Tesis]. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A.
- Gómez, D. (2022). *Análisis de la dinámica multitemporal del espejo de agua de dos lagos amazónicos durante 2014-2020, utilizando imágenes de SAR EN GEE y técnicas de regresión* [Tesis]. Universidad Nacional Toribio de Mendoza de Amazonas.
- González, N., & González, A. (2018). *Análisis multitemporal del espejo de agua en la Laguna de Fúquene para el periodo de 1985 a 2015* [Tesis]. Universidad de Manizales.
- Granada, N., y Olave, J. (2023a). *Análisis multitemporal de cambios en la cobertura vegetal y en el espejo de agua del Humedal Laguna de la Herrera entre 1962, 2019 y 2023*. [Tesis]. Universidad Antonio Nariño.
- Granada, N., & Olave, J. (2023b). *Análisis multitemporal de cambios en la cobertura vegetal y en el espejo de agua del Humedal Laguna de la Herrera entre 1962, 2019 y 2023*. [Tesis]. Universidad Antonio Nariño.
- Hernández, S., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la Investigación*. McGraw Hill Education.
- Imbaquingo, J. (2021). *Monitoreo de bofedales en la subcuenca del río Chambo mediante el análisis multicriterio usando imágenes satelitales Landsat 8 para el periodo 2013-2020* [Tesis]. Escuela Superior Politécnica del Chimborazo.
- Larry, J., & Tecse, C. (2021). *Revisión Sistemática de Desglaciación, Extensión Superficial y Formación de Lagos en la Cordillera de los Andes-Perú Mediante Métodos de Teledetección, 2020* [Tesis]. Universidad Cesar Vallejo.
- Laura, M., Castets, F., Bayala, M., & Canziani, G. (2020). Análisis comparativo de cinco métodos de procesamiento para calcular el área de lagunas pampeanas a partir de imágenes satelitales Landsat. *Biología Acuática*, 1-10.

- Llactahuaman, F., & Carbajal, M. (2021). *Determinación de la calidad Organoléptica del agua de consumo humano de la Ciudad de Pampas con PLC Simatic S7 1500 y Wincc* [Tesis]. Universidad Nacional de Huancavelica.
- Lozada, A., & Bertin, A. (2022). Spatial autocorrelation signatures of ecological determinants on plant community characteristics in high Andean wetlands. *Scientific Reports*.
- Mestri, M., Florencia, C., Bayala, M., & Canziani, G. (2019). Análisis comparativo de cinco métodos de procesamiento para calcular el área de lagunas pampeanas a partir de imágenes satelitales Landsat. *Biología Acuática*.
- Nasa, L. (2021). *La NASA y el USGS publican las primeras imágenes del Landsat 9* (pp. 1-9). Ciencia de la NASA.
- Otiniano, R., Mulatillo, A., Blas, N., Aguilar, A., Giraldo, U. (2023). Evaluación por teledetección de la expansión de la laguna palcacocha y retroceso glaciar en la cordillera Blanca – Perú. *Multicongreso Internacional LACCEI de Ingeniería, Educación y Tecnología*, 1-9.
- Pech, F., Sánchez, J., & Sánchez, H. (2021). Análisis de zonas de cultivo y cuerpos de agua mediante el cálculo de índices radiométricos con imágenes Sentinel-2. *Lámpsakos*, 24-48.
- Quenta, F. (2023). *Espacio-temporal del área de espejo de agua y variabilidad climática en la cuenca Ilpa, determinados mediante la plataforma de GEE entre los años 1990 – 2020* [Tesis]. Universidad Nacional del Altiplano de Puno.
- Quispe, R. (2020). *Procesamiento e interpretación de imágenes satelitales para el monitoreo de calidad de agua, aplicado a la laguna Alalay Cochabamba-Bolivia* [Tesis]. Universidad Mayor de San Andrés.
- Reyes, N. (2020). *Análisis Multitemporal del Área Correspondiente a la Laguna de Tota para el Período 1989-2019* [Tesis]. Universidad Antonio Nariño.
- Ruiz, M. (2021). *Análisis Multitemporal del Espejo de Agua del Embalse del Muña Mediante Imágenes Satelitales Sentinel*. [Tesis]. Universidad Militar Nueva

Granada.

Salamanca, M. (2018). *Análisis multitemporal sobre la pérdida del espejo del agua sobre el humedal Laguna de la Herrera por efectos antrópicos asociados la minería.*

[Tesis]. Universidad Militar Nueva Granada.

Sanabria, M. (2020). *Evaluación de la pérdida del espejo de agua en la laguna de Suesca a través de imágenes satelitales* [Tesis]. Universidad de La Salle.

SENAMHI. (2021). *Las caras de la sequía en el departamento de Puno, Perú.* Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.

ESRA, M. (2017). A Comparative Study on Waste Plastics Pyrolysis Liquid Products Quantity and Energy Recovery Potential. *Energy Procedia.*

USGS. (2022). *Landsat 9 Data Users Handbook.*
https://d9-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/s3fs-public/media/files/LSDS_2082_L9-Data-Users-Handbook_v1.pdf

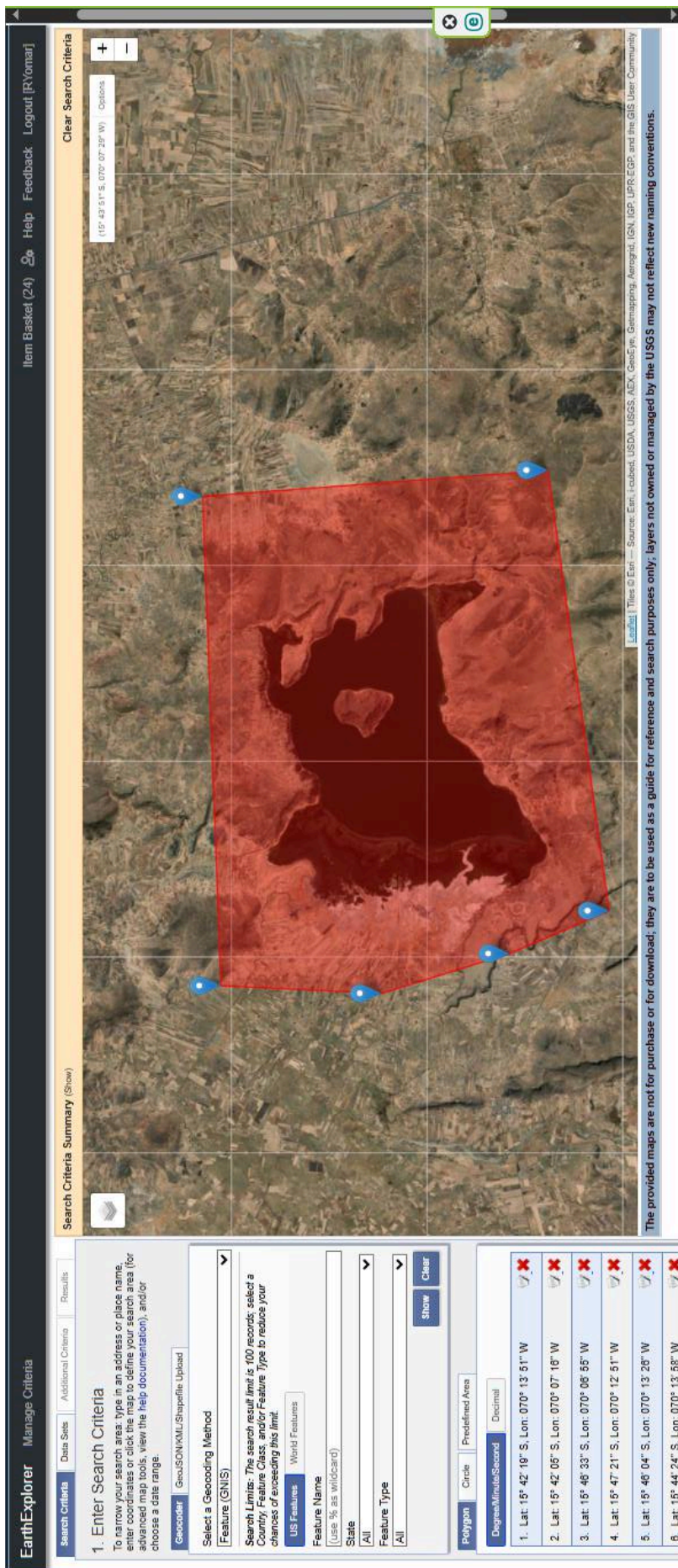
Wang, X., Li, Y., Gong, Y., Liu, Y., Zhao, J., & Li, K. (2025). Spatiotemporal Dynamics and Driving Mechanism of Aboveground Biomass Across Three Alpine Grasslands in Central Asia over the Past 20 Years Using Three Algorithms. *Remote Sensing*, 1-13.

ANEXOS

Anexo 01: Matriz de consistencia:

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO	METODOLOGÍA
<p>General</p> <p>¿Cómo será el comportamiento del espejo de agua de la laguna Umayo aplicando imágenes satelitales Landsat (periodo 2010 - 2025)?</p>	<p>General</p> <p>Determinar el comportamiento del espejo de agua de la laguna Umayo aplicando imágenes satelitales Landsat (periodo 2010 - 2025)</p>	<p>General</p> <p>El comportamiento del espejo de agua de la laguna Umayo aplicando imágenes satelitales Landsat presenta una tendencia decreciente influenciada por los factores climáticos durante el periodo de 2010 al 2025 del distrito de Atuncolla 2025</p>	<p>VI: Tiempo (Periodo 2010 - 2025)</p>	<p>Evaluación de factores climatológicos:</p>	<p>Precipitación (2010 al 2025)</p> <p>Temperatura (2010 al 2025)</p>	<p>Base de datos del SENAMHI</p>	<p>Diseño de investigación</p> <p>No experimental</p>
<p>Específicas</p> <p>¿Cuál es la variación del espejo de agua generado entre los periodos 2010 - 2025, de la laguna Umayo?</p>	<p>Específicas</p> <p>Determinar la variación del espejo de agua generado entre los periodos 2010 - 2025, de la laguna Umayo</p>	<p>Específicas</p> <p>Existe una variación significativa del espejo de agua generado entre los periodos 2010 - 2025, de la laguna Umayo</p> <p>Los factores climáticos presentan una relación significativa con la extensión del espejo de agua generado entre los periodos 2010 - 2025, de la laguna Umayo</p>	<p>VD: Comportamiento del espejo de agua de la laguna Umayo en periodo de tiempo</p>	<p>Espejo de agua</p>	<p>Año 2010 al año 2025</p>	<p>Imágenes satelitales landsat 8</p>	<p>Tipo de investigación</p> <p>Aplicativo</p> <p>Nivel de investigación</p> <p>Descriptivo</p>
<p>Específicas</p> <p>¿Cuál es la relación de los factores climáticos con respecto a la extensión del espejo de agua generado entre los periodos 2010 - 2025, de la laguna Umayo?</p>	<p>Determinar la relación de los factores climáticos con respecto a la extensión del espejo de agua generado entre los periodos 2010 - 2025, de la laguna Umayo</p>	<p>Los factores climáticos presentan una relación significativa con la extensión del espejo de agua generado entre los periodos 2010 - 2025, de la laguna Umayo</p>	<p>Corrección de imágenes satelitales</p> <p>Bandas a emplear para determinar el espejo de agua</p> <p>Proyección del espejo de agua</p>	<p>Corrección de imágenes satelitales</p> <p>Radiométrica</p> <p>Atmosférica</p> <p>Banda 3 de la imagen satelital</p> <p>Banda 5 de la imagen satelital</p> <p>Año 2040</p>	<p>Imágenes satelitales landsat 8</p> <p>Imágenes satelitales landsat 8</p> <p>Imágenes satelitales landsat 8</p> <p>Imágenes satelitales landsat 8</p>	<p>Imágenes satelitales landsat 8</p>	

Anexo 02: Procesamiento de imágenes satelitales Landsat con la metodología NDVI



The screenshot shows the EarthExplorer web interface. At the top, there are navigation links: "Item Basket (24)", "Help", "Feedback", and "Logout [R/omar]". Below this is a "Clear Search Criteria" button. The main map area displays a satellite image of a landscape with a red polygon overlaid on it. The polygon is defined by six vertices, each marked with a blue triangle. The coordinates for these vertices are listed in a table below the map.

Search Criteria Summary (Show)

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 | Geolocation/Shapefile Upload

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

Show Clear

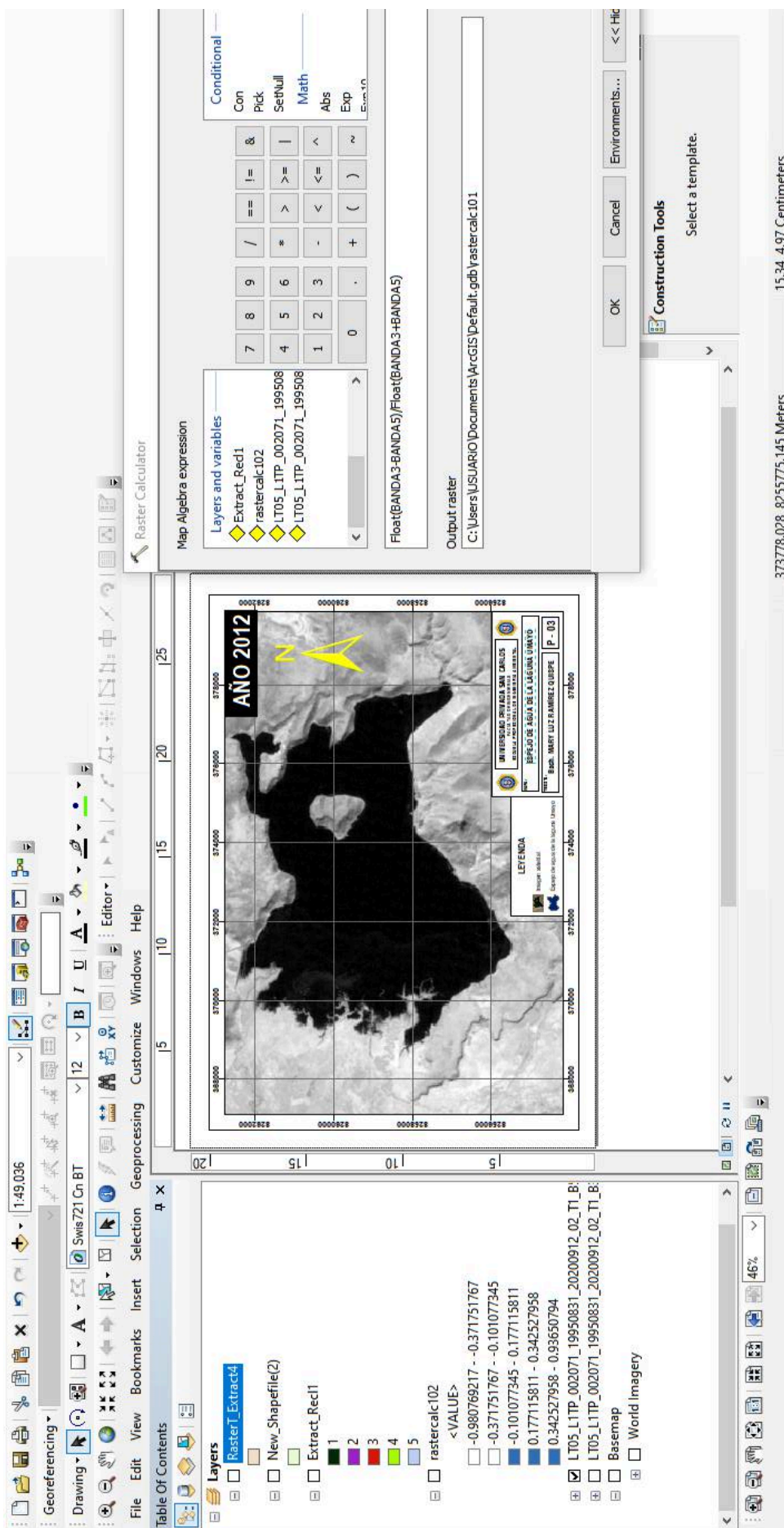
Polygon | Circle | Predefined Area

Degrees/Minutes/Seconds | Decimal

1. Lat: 15° 42' 19" S, Lon: 070° 13' 51" W	✓	✗
2. Lat: 15° 42' 06" S, Lon: 070° 07' 19" W	✓	✗
3. Lat: 15° 46' 33" S, Lon: 070° 08' 55" W	✓	✗
4. Lat: 15° 47' 21" S, Lon: 070° 12' 51" W	✓	✗
5. Lat: 15° 48' 04" S, Lon: 070° 13' 26" W	✓	✗
6. Lat: 15° 44' 24" S, Lon: 070° 13' 56" W	✓	✗

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.

Nota. Descarga de imágenes satelitales



Raster Calculator

Map Algebra expression

Layers and variables

- Extract_Rec1
- rastercalc102
- LT05_L1TP_002071_199508
- LT05_L1TP_002071_199508

Conditional

Con
Pick
SetNull
Math
Abs
Exp
ElemN

7 8 9 / * &
4 5 6 > >= |
1 2 3 < <= ^
0 . + () ~

Output raster

C:\Users\USUARIO\Documents\ArcGIS\Default.gdb\yastercalc101

OK Cancel Environments... << Hic

Construction Tools
Select a template.

373778-028 8255775.145 Meters 15.34 4.97 Centimeters

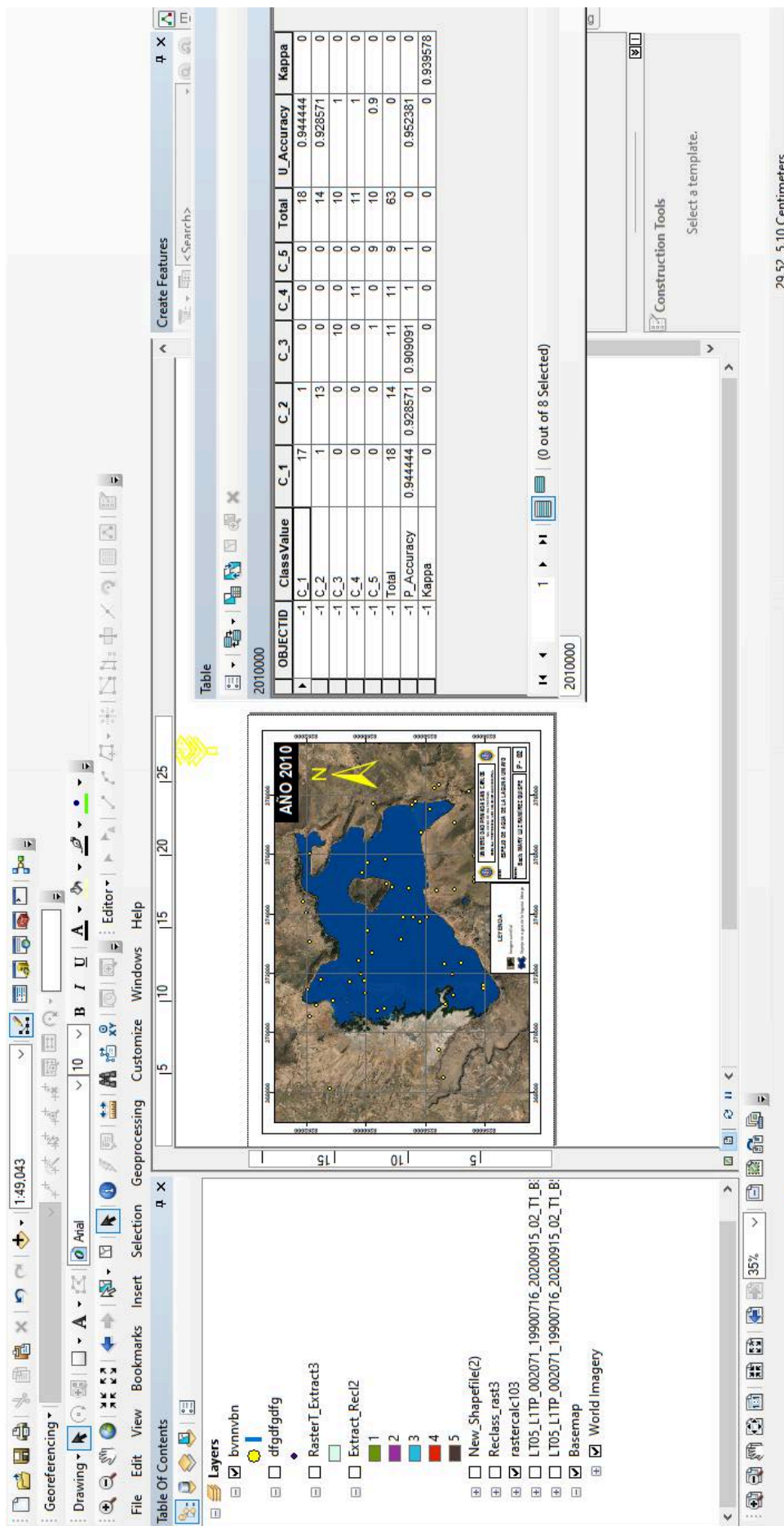
Table Of Contents

Layers

- Raster_T_Extract4
- New_Shapefile(2)
- Extract_Rec1
- rastercalc102
- <VALUE>
- 0.980769217 - -0.371751767
- 0.371751767 - -0.101077345
- 0.101077345 - -0.177115811
- 0.177115811 - 0.342527958
- 0.342527958 - 0.93650794
- LT05_L1TP_002071_19950831_20200912_02_T1_B1
- LT05_L1TP_002071_19950831_20200912_02_T1_B1
- Basemap
- World Imagery

Nota. Procesamiento de imágenes satelitales Landsat con la metodología NDWI

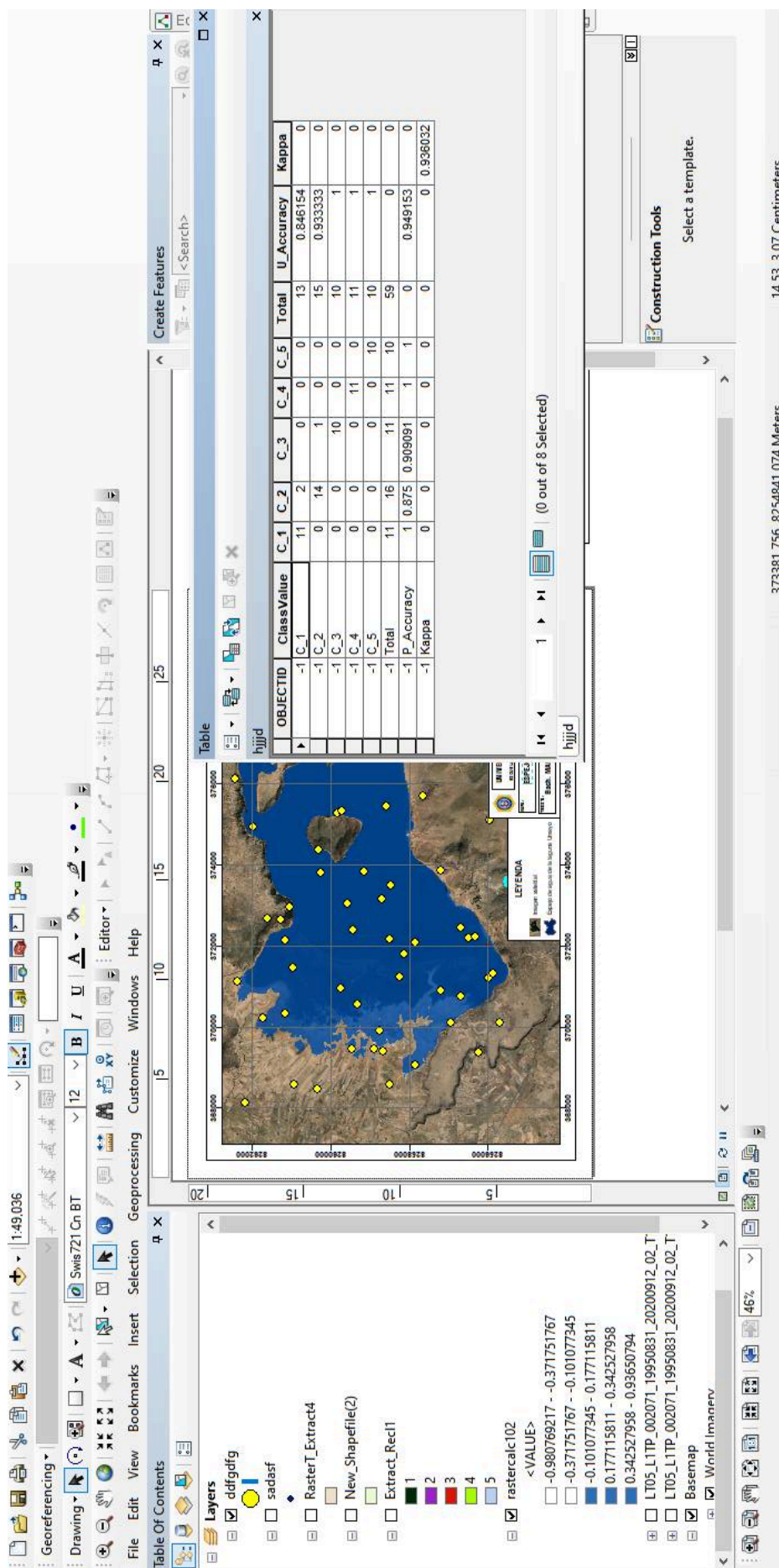
Anexo 03: Índice Kappa del espejo de agua



The screenshot shows the ArcGIS interface with a map of a reservoir and a classification table. The map displays a reservoir area in blue, with a legend indicating 'LEYENDA' and 'Reservoir'. The table below shows the classification results for the reservoir area.

OBJECTID	ClassValue	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	Total	U_Accuracy	Kappa
-1	C_1	17	1	0	0	0	18	0.944444	0
-1	C_2	1	13	0	0	0	14	0.928571	0
-1	C_3	0	0	10	0	0	10	1	0
-1	C_4	0	0	0	11	0	11	1	0
-1	C_5	0	0	1	0	9	10	0.9	0
-1	Total	18	14	11	11	9	63	0	0
-1	P_Accuracy	0.944444	0.928571	0.909091	1	1	0	0.952381	0
-1	Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0.939578

Nota. Año 2010



The screenshot displays the ArcGIS Desktop interface. The main map window shows a satellite-style map with a blue polygon and several yellow diamond markers. The 'Table' window is open, showing a data table with columns for OBJECTID, ClassValue, C_1 through C_5, Total, U_Accuracy, and Kappa. The 'Layers' panel on the left lists various layers, including 'RasterT_Extract4', 'New_Shapefile(2)', 'Extract_Rec1', and 'rastercalc102'. The 'Construction Tools' window is also visible, indicating that a template has not been selected.

OBJECTID	ClassValue	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	Total	U_Accuracy	Kappa
-1	C_1	11	2	0	0	0	13	0.846154	0
-1	C_2	0	14	1	0	0	15	0.933333	0
-1	C_3	0	0	10	0	0	10	1	0
-1	C_4	0	0	0	11	0	11	1	0
-1	C_5	0	0	0	0	10	10	1	0
-1	Total	11	16	11	11	10	59	0	0
-1	P_Accuracy	1	0.875	0.909091	1	1	0	0.949153	0
-1	Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0.936032

Nota. Año 2012

The screenshot displays the ArcGIS Desktop interface. At the top, the 'Table' window shows a data table with the following structure:

OBJECTID	ClassValue	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	Total	U_Accuracy	Kappa
-1	C_1	9	1	0	0	0	10	0.9	0
-1	C_2	1	19	0	0	0	20	0.95	0
-1	C_3	0	0	10	0	0	10	1	0
-1	C_4	0	0	0	10	0	10	1	0
-1	C_5	0	0	0	0	18	18	0.947368	0
-1	Total	10	20	10	11	18	69	0	0
-1	P_Accuracy	0.9	0.95	1	0.909091	1	0	0.956522	0
-1	Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0.94419

The main map window shows a satellite-style map with a blue polygon and several yellow points. A yellow lightning bolt symbol is visible in the top right corner of the map. The 'Table Of Contents' window on the left lists various layers, including 'Extract_Rec13', 'Reclass_rast6', and 'rastercalc100'. The 'Project Tree' on the right shows the file structure, including folders for 'PROYECTOS DE INVESTIGACION WIÑAY I' and 'PROYECTOS DE INVESTIGACION WIÑAY II'.

Nota. Año 2014

The screenshot displays the ArcGIS Desktop interface. The main map window shows a satellite view of a lake area with a blue overlay representing a classification. The legend on the left lists several classes with their corresponding colors and values. The 'Table' window on the right provides a detailed breakdown of the classification results, including counts for each class and overall accuracy metrics.

OBJECTID	ClassValue	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	Total	U_Accuracy	Kappa
-1	C_1	10	0	0	0	0	10	1	0
-1	C_2	1	18	0	0	0	19	0.947368	0
-1	C_3	0	0	10	0	0	10	1	0
-1	C_4	0	0	1	9	0	10	0.9	0
-1	C_5	0	0	0	1	15	16	0.9375	0
-1	Total	11	18	11	10	15	65	0	0
-1	P_Accuracy	0.909091	1	0.909091	0.9	1	0	0.963846	0
-1	Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0.941318

Nota. Año 2016

The screenshot displays the ArcGIS Desktop interface. The main map window shows a satellite-style map with a blue polygon and several yellow points. The 'Table' window is open, showing a confusion matrix for a classification. The 'Table of Contents' window is also open, showing a list of layers and their properties.

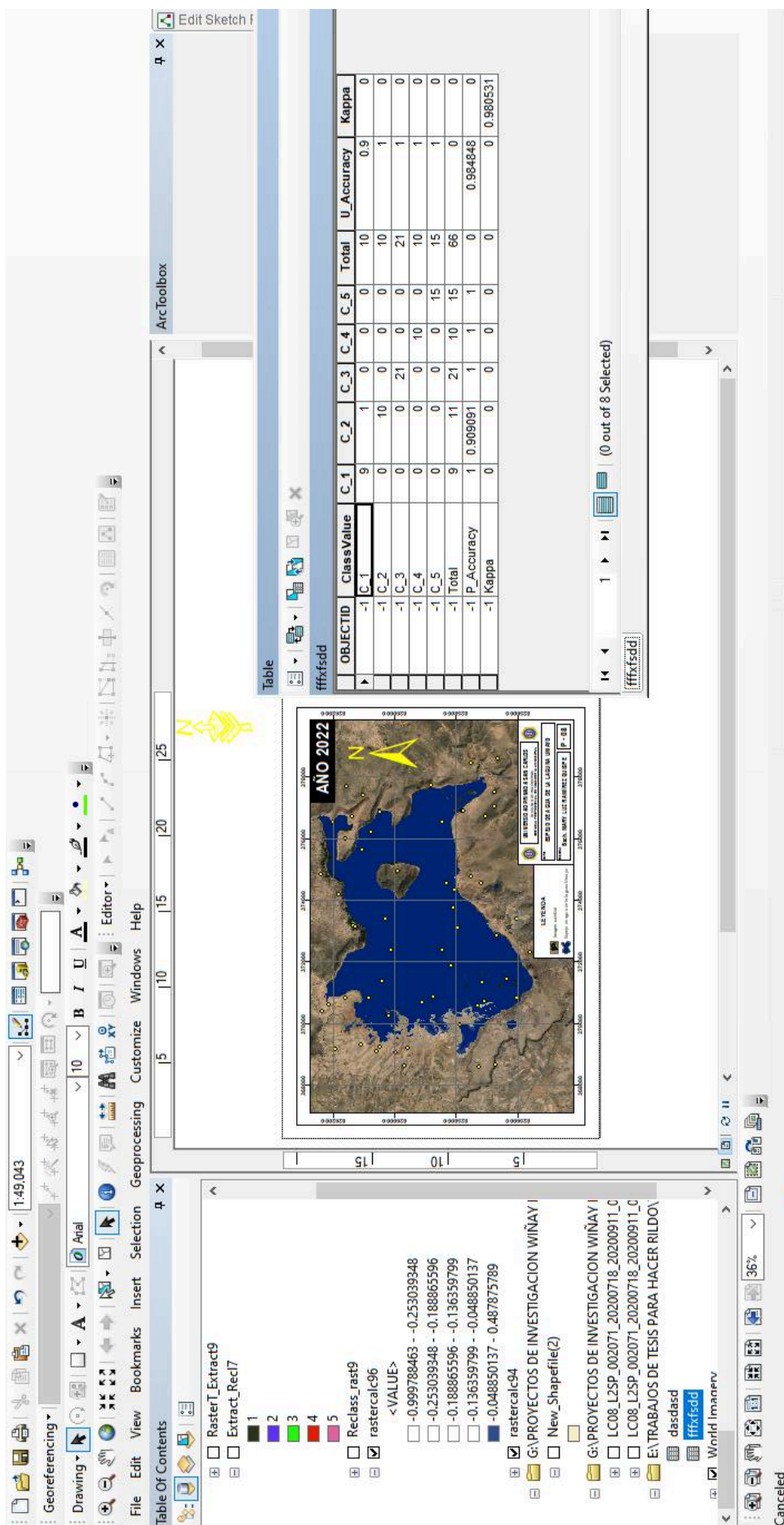
Table Window:

OBJECTID	ClassValue	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	Total	U_Accuracy	Kappa
-1	C_1	10	0	0	0	0	10	1	0
-1	C_2	0	17	0	0	0	17	1	0
-1	C_3	0	1	12	0	0	13	0.923077	0
-1	C_4	0	0	1	12	0	13	0.923077	0
-1	C_5	0	0	0	0	10	10	1	0
-1	Total	10	18	13	12	10	63	0	0
-1	P_Accuracy	1	0.944444	0.923077	1	1	0	0.968254	0
-1	Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0.959847

Table of Contents Window:

- Reclass_rast7
- rastercalc97
 - <VALUE>
 - 0.883211672 - -0.040858293
 - 0.040858293 - 0.083663511
 - 0.083663511 - 0.288758246
 - 0.288758246 - 0.48652817
 - 0.48652817 - 0.984615386
 - New_Shapefile(2)
- G:\PROYECTOS DE INVESTIGACION WIÑAY I
 - G:\PROYECTOS DE INVESTIGACION WIÑAY I
 - LE07_L1TP_002071_20100512_20200911_0
 - LE07_L1TP_002071_20100512_20200911_0
 - Value
 - High : 227
 - Low : 1
- E:\TRABAJOS DE TESIS PARA HACER RILDOX
 - dasdasd
 - ddddd
 - World Imagery
 - Hoja1'S

Nota. Año 2018



The screenshot displays the ArcGIS Desktop environment. The main map window shows a satellite view of Peru with a blue-shaded area representing a specific region. A yellow lightning bolt symbol is overlaid on the map. The map's title is "ANO 2022". A legend in the bottom right of the map window identifies the blue area as "LEYES INIA" and lists several project codes.

The "Table" window displays the following data:

OBJECTID	ClassValue	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	Total	U_Accuracy	Kappa
-1	C_1	9	1	0	0	0	10	0.9	0
-1	C_2	0	10	0	0	0	10	1	0
-1	C_3	0	0	21	0	0	21	1	0
-1	C_4	0	0	0	10	0	10	1	0
-1	C_5	0	0	0	0	15	15	1	0
-1	Total	9	11	21	10	15	66	0	0
-1	P_Accuracy	1	0.909091	1	1	1	0	0.984848	0
-1	Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0.980531

The file explorer window shows the following file structure:

- Raster_Extract9
- Extract_Recl7
 - 1
 - 2
 - 3
 - 4
 - 5
- Reclass_rast9
- rastercalc96
 - <VALUE>
 - 0.999788463 - -0.253039348
 - 0.253039348 - -0.188865596
 - 0.188865596 - -0.136359799
 - 0.136359799 - -0.048850137
 - 0.048850137 - 0.487875789
- rastercalc94
- G:\PROYECTOS DE INVESTIGACION WIÑAY I
 - New_Shapefile(2)
- G:\PROYECTOS DE INVESTIGACION WIÑAY I
 - LC08_L2SP_002071_20200718_20200911_C
 - LC08_L2SP_002071_20200718_20200911_C
 - E:\TRABAJOS DE TESIS PARA HACER RILDO\
 - dasdasd
 - fffffsdd
 - World Imagery

Nota. Año 2022

The screenshot displays the ArcGIS interface with a map of a lake area, a data table, and a table of contents. The map shows a lake with several yellow points and a yellow line. The table below the map lists data for various classes and their accuracies. The table of contents on the left shows the project structure.

OBJECTID	ClassValue	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	Total	U_Accuracy	Kappa
-1	C_1	9	1	0	0	0	10	0.9	0
-1	C_2	0	10	0	0	0	10	1	0
-1	C_3	0	0	19	0	0	19	1	0
-1	C_4	0	0	0	10	0	10	1	0
-1	C_5	0	0	0	0	20	20	1	0
-1	Total	9	11	19	10	20	69	0	0
-1	P_Accuracy	1	0.909091	1	1	1	0	0.985507	0
-1	Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0.981351

Nota. Año 2025

Anexo 04: Panel figuras



Figura 21: Fotografía de la laguna Umayo



Figura 22: Toma de coordenadas de la laguna Umayo



Figura 23: Toma de coordenadas de la laguna Umayo



Figura 24: Toma de coordenadas de la laguna Umayo