

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**DESCENSO DE NIVEL DE AGUA DEL LAGO ORURILLO MEDIANTE
IMÁGENES SATELITALES CAUSADO POR EL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA
PROVINCIA DE MELGAR, PUNO, PERIODO 2015 - 2024**

PRESENTADA POR:

PAULO CESAR SANIZO QUIZA

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/)



6.01%

SIMILARITY OVERALL

SCANNED ON: 8 APR 2025, 10:26 AM

Similarity report

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

IDENTICAL 1.03%
CHANGED TEXT 4.97%

Report #25689913

PAULO CESAR SANIZO QUIZA // DESCENSO DE NIVEL DE AGUA DEL LAGO ORURILLO MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES CAUSADO POR EL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA PROVINCIA DE MELGAR, PUNO, PERIODO 2015 - 2024 RESUMEN El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el descenso de nivel de agua del lago Orurillo mediante imágenes satelitales causado por el cambio climático en la provincia de Melgar, Puno, periodo 2015 - 2024. En la metodología se recopiló imágenes satelitales “LandSat-8 de Google Earth Engine”, luego se realizó los cálculos para determinar el índice de agua de diferencia normalizada (NDWI) en el software RStudio, los datos climáticos se obtuvieron de TerraClimate que incluyen temperaturas máximas, mínimas y precipitaciones aplicando la prueba de Pearson para determinar la correlación entre el nivel de agua del lago Orurillo y el cambio climático. Los resultados revelaron que en el 2015 la superficie de agua del lago Orurillo alcanzaba los 6.85 km² y para 2023 el nivel de agua del lago Orurillo se redujo a 4.96 km² y una pérdida de más del 72% en menos de diez años, las temperaturas tuvieron un incremento de 3.22 °C en la temperatura máxima y de 0.43 °C en la mínima y en las precipitaciones se tuvo una disminución de 112 mm. También mediante el coeficiente de determinación de Pearson (r^2) es de -0.85 lo que indica que a lo largo del periodo el nivel de agua del lago Orurillo ha disminuido en lugar de incrementarse, también el (r^2) de

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

**DESCENSO DE NIVEL DE AGUA DEL LAGO ORURILLO MEDIANTE
IMÁGENES SATELITALES CAUSADO POR EL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA
PROVINCIA DE MELGAR, PUNO, PERIODO 2015 - 2024**

PRESENTADA POR:

PAULO CESAR SANIZO QUIZA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

:



Dr. ESTEBAN ISIDRO LEON APAZA

PRIMER MIEMBRO

:



Mg. ELVIRA ANANI DURAND GOYZUETA

SEGUNDO MIEMBRO

:



Dra. MARLENE CUSI MONTESINOS

ASESOR DE TESIS

:



Mg. JULIO WILFREDO CANO OJEDA

Área: Ingeniería, Tecnología.

Sub área: Ingeniería Ambiental.

Línea de investigación: Sensores remotos.

Puno, 16 de abril del 2025.

DEDICATORIA

A Dios, por ser la luz que ilumina mi camino y el fundamento de mi existencia. Estoy agradecido por la fortaleza y sabiduría que me ha otorgado en cada etapa de mi vida. Su amor y confianza en mí me han motivado a seguir mis sueños y a enfrentar los retos con valentía y determinación.

A mis padres Mario y Hermelinda y a mis hermanos Yosuke brandhoy Miguel y Abel por su amor incondicional y su apoyo constante. Ustedes son mi refugio y mi fuente de motivación en cada instante. Gracias por creer en mí, por inculcarme valores perdurables y por estar siempre a mi lado en las buenas y en las malas. Sin su apoyo, esto no habría sido posible.

A mis amigos, por ser la alegría y el aliento en mi vida. Agradezco las risas, los sueños y los momentos inolvidables compartidos. Su presencia ha enriquecido mi trayectoria y me ha enseñado el verdadero valor de la amistad. Espero que siempre estemos juntos, apoyándonos en cada paso que tomemos.

AGRADECIMIENTOS

- Quisiera expresar mi más profundo agradecimiento a la Universidad Privada San Carlos de Puno, por haberme brindado la oportunidad de desarrollarme académicamente y por proporcionarme los recursos necesarios para llevar a cabo esta investigación.
- También extendo mi gratitud a la Facultad de Ingeniería Ambiental por su constante apoyo y por haberme ofrecido un entorno académico enriquecedor. La dedicación de los profesores y su disposición para compartir su experiencia han sido cruciales en mi formación tanto académica como profesional. Este trabajo refleja los valores y principios que me han transmitido a lo largo de mi carrera en la facultad.
- De manera especial, quiero agradecer al M.Sc. Julio Wilfredo Cano Ojeda, mi asesor, por su guía, paciencia y por las valiosas aportaciones que brindó durante el desarrollo de este trabajo. Su vasta experiencia y conocimientos fueron esenciales para el éxito de este proyecto, y su constante apoyo fue una fuente de motivación para superar los retos que se presentaron.
- Finalmente, mi agradecimiento también va a los miembros del jurado, quienes dedicaron su tiempo a revisar esta investigación. Sus comentarios y recomendaciones han sido de gran ayuda para mejorar este trabajo, y su compromiso con la excelencia académica es algo que valoro profundamente.

ÍNDICE GENERAL

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

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.1.1. PROBLEMA GENERAL	14
1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	14
1.2. ANTECEDENTES	14
1.2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	14
1.2.2. ANTECEDENTES NACIONALES	15
1.2.3. ANTECEDENTES LOCALES	18
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	19
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	19
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO.	20
2.1.1. ECOSISTEMAS ACUÁTICOS	20
2.1.2. DESCENSO DEL NIVEL DE AGUA	21
2.1.3. CARACTERÍSTICAS Y DINÁMICA DE LOS LAGOS ALTOANDINOS	22
2.1.4. CAMBIO CLIMÁTICO	23
2.1.5. CAUSAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO	24
2.1.6. IMPACTO DEL CAMBIO EN ECOSISTEMAS DE AGUA DULCE	24
2.1.7. OBSERVACIÓN REMOTA	25
2.1.8. TELEDETECCIÓN	25
2.1.9. EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO	26
2.1.10. FIRMA ESPECTRAL	26
2.2. MARCO CONCEPTUAL	27
2.3. MARCO NORMATIVO	28
2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	29
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL	29
2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICOS	29

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO	30
3.2. TAMAÑO DE MUESTRA	31
3.2.1 POBLACIÓN	31
3.2.2 MUESTRA	31
3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS	31
3.3.1 MÉTODOS	31

3.3.2 MATERIALES	32
3.4. METODOLOGÍA	32
3.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	35
3.6. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO	36
CAPÍTULO IV	
EXPOSICION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS	
4.1. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DEL DESCENSO DE NIVEL DE AGUA DEL LAGO ORURILLO MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES.	39
4.2. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL DESCENSO DEL NIVEL DE AGUA DEL LAGO ORURILLO PERIODO 2015 - 2024.	46
4.3. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE INFLUENCIA DE LAS PRECIPITACIONES EN EL DESCENSO DEL NIVEL DE AGUA DEL LAGO ORURILLO PERIODO 2015 - 2024.	51
4.4. PROCESO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS	56
4.4.1. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 01.	57
4.4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 02	58
CONCLUSIONES	61
RECOMENDACIONES	62
BIBLIOGRAFÍA	64
ANEXO	69

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 01: Operacionalidad de Variables.	36
Tabla 02: Grado de correlación.	37
Tabla 04: Estadística descriptiva del cambio del nivel de agua.	43
Tabla 05: Prueba de normalidad 'Shapiro-Wilk' del nivel de agua.	45
Tabla 06: Estadística descriptiva de las temperaturas máximas y mínimas.	49
Tabla 07: Prueba de normalidad 'Shapiro-Wilk' de las temperaturas.	50
Tabla 08: Estadística descriptiva de las precipitaciones.	54
Tabla 09: Prueba de normalidad 'Shapiro-Wilk' de las precipitaciones.	54
Tabla 10: Correlación de Pearson de la variable independiente y dependiente.	56

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01: Ecosistemas acuáticos (Contreras & Gonzalez, 2021).	20
Figura 02: Descenso rápido del nivel del agua (Laffeuillade et al., 2020).	21
Figura 04: Cambio climático (Harris et al., 2023).	23
Figura 05: Elemento de un programa de detección a distancia (Chuvieco, 2019).	25
Figura 06: Espectro de radiofrecuencias (Rodríguez, 2023).	26
Figura 07: Huella espectral (Escobar et al., 2023).	27
Figura 08: Mapa de ubicación del lago Orurillo.	30
Figura 09: Cambio de la cobertura de agua del lago Orurillo durante el 2015 y 2024.	41
Figura 10: Cambio de la cobertura de agua del lago Orurillo durante el 2015 y 2024.	43
Figura 11: Regresión lineal del nivel de agua sobre los periodos.	44
Figura 12: Prueba de normalidad 'Shapiro-Wilk' del nivel de agua.	45
Figura 13: Temperaturas máximas y mínimas del lago Orurillo durante el 2015 y 2024.	46
Figura 14: Mapa de temperaturas máximas (°C) del del lago Orurillo durante el 2015 y 2024.	47
Figura 15: Mapa de temperaturas mínimas (°C) del del lago Orurillo durante el 2015 y 2024.	48
Figura 16: Prueba de normalidad 'Shapiro-Wilk' de las temperaturas.	50
Figura 17: Precipitaciones (mm) del lago Orurillo durante el 2015 y 2024.	52
Figura 18: Mapa de precipitaciones (mm) del del lago Orurillo durante el 2015 y 2024.	53
Figura 19: Prueba de normalidad 'Shapiro-Wilk' de las precipitaciones.	55
Figura 20: Correlograma de la variables en colores.	56
Figura 21: Correlograma de la variables en valores numéricos.	57
Figura 22: Regresión lineal de las variables.	57

INDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 01: Matriz de consistencia.	70
Anexo 02: Conexión a la plataforma Google Earth Engine mediante Python en Jupyter.	71
Anexo 03: Descarga de imágenes satelitales Landsat 8, mediante Python.	72
Anexo 04: Procesamiento de las imágenes satelitales mediante R.	73
Anexo 05: Resultado de estadísticas mediante R.	74
Anexo 06: Panel fotográfico.	75

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el descenso de nivel de agua del lago Orurillo mediante imágenes satelitales causado por el cambio climático en la provincia de Melgar, Puno, periodo 2015 - 2024. En la metodología se recopiló imágenes satelitales “LandSat-8 de Google Earth Engine”, luego se realizó los cálculos para determinar el índice de agua de diferencia normalizada (NDWI) en el software RStudio, los datos climáticos se obtuvieron de TerraClimate que incluyen temperaturas máximas, mínimas y precipitaciones aplicando la prueba de Pearson para determinar la correlación entre el nivel de agua del lago Orurillo y el cambio climático. Los resultados revelaron que en el 2015 la superficie de agua del lago Orurillo alcanzaba los 6.85 km² y para 2023 el nivel de agua del lago Orurillo se redujo a 4.96 km² y una pérdida de más del 72% en menos de diez años, las temperaturas tuvieron un incremento de 3.22 °C en la temperatura máxima y de 0.43 °C en la mínima y en las precipitaciones se tuvo una disminución de 112 mm. También mediante el coeficiente de determinación de Pearson (r^2) es de -0.85 lo que indica que a lo largo del periodo el nivel de agua del lago Orurillo ha disminuido en lugar de incrementarse, también el (r^2) de -0.69, indica que a medida que las temperaturas aumentan el nivel de agua del lago Orurillo disminuye y una (r^2) de 0.78 indicando la disminución de las precipitaciones está asociada al descenso del nivel de agua del lago Orurillo. Concluyendo que el aumento de las temperaturas y la ausencia de precipitaciones causa el descenso del nivel de agua del lago Orurillo.

Palabras clave: Agua, Cambio climático, LandSat-8, Precipitaciones, Temperatura.

ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the decrease in the water level of Lake Orurillo using satellite images caused by climate change in the province of Melgar, Puno, period 2015 - 2024. In the methodology, satellite images "LandSat-8 from Google Earth Engine" were collected, then calculations were performed to determine the normalized difference water index (NDWI) in the RStudio software, climatic data were obtained from TerraClimate which include maximum, minimum temperatures and precipitation applying the Pearson test to determine the correlation between the water level of Lake Orurillo and climate change. The results revealed that in 2015 the water surface of Lake Orurillo reached 6.85 km² and by 2023 the water level of Lake Orurillo was reduced to 4.96 km² and a loss of more than 72% in less than ten years, temperatures had an increase of 3.22 ° C in the maximum temperature and 0.43 ° C in the minimum and rainfall there was a decrease of 112 mm. Also through the Pearson determination coefficient (r^2) is -0.85 which indicates that throughout the period the water level of Lake Orurillo has decreased instead of increasing, also the (r^2) of -0.69, indicates that as temperatures increase the water level of Lake Orurillo decreases and an (r^2) of 0.78 indicating the decrease in rainfall is associated with the decrease in the water level of Lake Orurillo. Concluding that rising temperatures and the lack of rainfall are causing the water level of Lake Orurillo to drop.

Keywords: Water, Climate change, Coverage, LandSat-8, Precipitation, Temperature.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático está generando una disminución global de los niveles de agua, impulsada principalmente por el aumento de las temperaturas y los cambios en los patrones de precipitación. De acuerdo con la NASA, la temperatura media global ha subido alrededor de 1.2°C desde el siglo XIX, lo que ha provocado una mayor evaporación del agua en lagos, ríos y embalses. Además, se ha observado un comportamiento errático en las precipitaciones en diversas regiones, con períodos de sequía más largos y lluvias más intensas. Un ejemplo de esto es el suroeste de los Estados Unidos, donde las precipitaciones anuales han caído un 10% en las últimas décadas, mientras que las temperaturas han aumentado unos 1.5°C desde 1970. (Fernández & Abimelec, 2020)

Este incremento en las temperaturas y la reducción de las precipitaciones están contribuyendo a la disminución de los caudales fluviales y al descenso de los niveles de agua en embalses y lagos, como lo demuestra el caso del Lago Mead, que ha visto una caída de más de 50 metros en sus niveles desde 1983 debido al cambio climático y la variabilidad en las precipitaciones. (Flores, 2024).

El lago Orurillo viene experimentando gradualmente una disminución de nivel debido a la variabilidad climática regional entre ellas las variaciones de intensidad, duración y frecuencia de las precipitaciones y la extracción excesiva de agua. Las comunidades locales, que dependen del lago para actividades como la agricultura y el turismo, están enfrentando graves consecuencias socioeconómicas debido a la reducción de los recursos acuáticos, la presente investigación buscó responder a la siguiente pregunta: ¿Cuánto es el descenso de nivel de agua del lago Orurillo mediante imágenes satelitales causado por el cambio climático en la provincia de Melgar, Puno, periodo 2015 - 2024?.

En la zona altoandina de la cordillera de los Andes en Perú, con el objetivo de modelar la dinámica espacial de los cambios en la cobertura y usos del suelo. Los resultados del

análisis multitemporal confirman una recesión significativa de los glaciares en las últimas tres décadas. La superficie de los glaciares se redujo de 2,429.38 km² a 1,409.11 km² entre 1990 y 2020, lo que representa una disminución del 42% en el área total glaciar. Además, se analizó el impacto de esta reducción en la cobertura de lagunas glaciares y bofedales. La revalidación multianual mostró valores promedio de exactitud del 95.29%, 91.75% y 85.95% para el mapeo multitemporal de glaciares, lagunas glaciares y bofedales, respectivamente (Turpo, 2024).

Las variables se definen como Causa o variable independiente (VI): Influencia de los elementos climáticos. Efecto o variable dependiente (VD): Descenso del nivel de agua del lago Orurillo.

El presente estudio se organiza en cuatro capítulos:

Capítulo I: Introducción. Se presenta el planteamiento del problema, los antecedentes del estudio, la formulación de los objetivos que se investiga.

Capítulo II: Marco teórico. Este capítulo ofrece un marco conceptual que respalda el análisis del cambio climático y su impacto en el descenso del nivel de agua del lago Orurillo, además de incluir estudios previos sobre la reducción de la cobertura del agua.

Capítulo III: Metodología. Aquí se detalla el enfoque metodológico de la investigación, abarcando el análisis de imágenes satelitales y los datos climáticos recopilados, así como el tratamiento estadístico aplicado para evaluar la relación entre las variables.

Capítulo IV: Resultados y discusión. Se exponen los resultados de examinar la relación entre el descenso del nivel de agua del lago Orurillo y el cambio climático durante el periodo 2015 - 2024 y su correlación con los factores climáticos. También se discuten los hallazgos en relación con estudios anteriores y sus implicaciones para la región de Puno. Finalmente, Conclusiones y recomendaciones se resumen los hallazgos más significativos y se plantean recomendaciones para futuras investigaciones y políticas de mitigación ante el cambio climático.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A escala mundial, el incremento de las temperaturas, causadas por las emisiones de gases de efecto invernadero, han incrementado la evaporación de los cuerpos de agua y alterado los patrones de precipitación. Fenómenos climáticos extremos, como El Niño y La Niña, calentamiento global han intensificado estas condiciones, provocando sequías prolongadas en ciertas regiones y afectando la disponibilidad de agua dulce. Estos cambios no solo modifican los ecosistemas acuáticos, sino que también amenazan la seguridad hídrica al disminuir la cantidad de agua disponible para el consumo humano, agrícola e industrial (Arteaga & Burbano, 2018).

En el contexto de Perú, el país enfrenta retos adicionales debido a cambios en el uso del suelo y a una gestión deficiente de los recursos hídricos. La deforestación y la expansión de la agricultura han reducido la capacidad de los ecosistemas para retener agua, amplificando así los efectos del cambio climático. El retroceso de los glaciares andinos, que históricamente han servido como reservorios de agua, agrava la situación al disminuir el agua disponible para alimentar lagos y ríos. Esta escasez hídrica impacta directamente en la producción agrícola, poniendo en riesgo la seguridad alimentaria y la economía tanto local como nacional (Basadre, 2020).

En el ámbito local, el lago Orurillo viene experimentado gradualmente una disminución de nivel debido a la variabilidad climática regional entre ellas la variaciones de intensidad, duración y frecuencia de las precipitaciones y la extracción excesiva de agua. Las comunidades locales, que dependen del lago para actividades como la agricultura y el turismo, están enfrentando graves consecuencias socioeconómicas debido a la reducción de los recursos acuáticos. La pérdida de biodiversidad por estrés hídrico, el desequilibrio ecológico son evidentes, ya que el hábitat de muchas especies se ve amenazado. Para enfrentar este problema, es esencial implementar estrategias de adaptación al cambio climático, mejorar la gestión sostenible de los recursos hídricos e involucrar a las comunidades locales en la búsqueda de soluciones efectivas para mitigar los efectos a fin de garantizar la sostenibilidad del lago en el futuro.

1.1.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuanto es el descenso de nivel de agua del lago Orurillo mediante imágenes satelitales causado por el cambio climático en la provincia de Melgar, Puno, periodo 2015 - 2024?.

1.1.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cuanto es el descenso de nivel de agua del lago Orurillo mediante imágenes satelitales periodo 2015 - 2024?
- ¿De qué manera la temperatura influye en el descenso de nivel de agua del lago Orurillo periodo 2015 - 2024?
- ¿De qué manera las precipitaciones influyen en el descenso de nivel de agua del lago Orurillo periodo 2015 -2024?

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

- Castillo (2022), en Valle de Sébaco, Nicaragua, evaluó la evolución espacio-temporal del nivel freático utilizando datos de niveles de agua subterránea medidos en la red de pozos de monitoreo del acuífero, durante el período de 2010 a 2018 (9 años). Los

mapas de aceleración del nivel freático mostraron valores medios de $-0.52 \text{ m}^2/\text{año}$, lo que indica que una parte del acuífero está experimentando una disminución en los niveles freáticos. Esta tendencia podría verse exacerbada rápidamente por fenómenos climáticos y el aumento en la demanda del recurso.

- Fernández & Abimelec (2020), en la Sierra Nevada, ubicada en la región de la Araucanía, Chile, tuvo como objetivo principal evaluar el cambio en la superficie de la masa de hielo glaciar. Para esto, se emplearon imágenes satelitales (Landsat y Aster) capturadas entre 1973 y 2020, mediante un proceso que incluyó la combinación de bandas, el co-registro de imágenes con la referencia de Landsat 8 del año 2020, y la delimitación manual de los glaciares. Los resultados indicaron un retroceso en ambos glaciares de la Sierra Nevada. El glaciar Sierra Nevada Norte, con una superficie de $6,35 \text{ km}^2 (\pm 0,0167 \text{ km}^2)$ en 1973, se redujo a $2,83 \text{ km}^2 (\pm 0,0018 \text{ km}^2)$ en 2020, lo que equivale a una pérdida de aproximadamente el 55,43%. En el caso del glaciar Sierra Nevada Sur, su superficie pasó de $5,84 \text{ km}^2 (\pm 0,0167 \text{ km}^2)$ en 1973 a $2,71 \text{ km}^2 (\pm 0,0018 \text{ km}^2)$ en 2020, resultando en una reducción aproximada del 46,4%. En términos de retroceso del frente glaciar, el Sierra Nevada Norte se retrajo un 36,73%, mientras que el Sierra Nevada Sur retrocedió un 43,4%. En conclusión, ambos glaciares experimentaron un retroceso durante este período, coincidiendo con la tendencia global de disminución glaciar.

1.2.2. ANTECEDENTES NACIONALES

- Maza & Reyes (2019), en el río Piura, Perú, el objetivo es determinar y analizar los parámetros hidráulicos, como niveles de agua, calados, velocidades, pendientes y el número de Froude en el año 2017. El estudio confirma la eficacia del software Hec-Ras, dado que los tirantes de agua obtenidos coinciden con los valores observados. Además, se concluye que el ensanchamiento del Puente Independencia no tiene impacto en los puentes situados aguas arriba, excepto en su propia sección

hidráulica, donde se observa una reducción del nivel de agua de 0,91 m. Finalmente, se detallan las características del comportamiento hidráulico del río Piura en el tramo desde la Presa Los Ejidos hasta aguas abajo del Puente Independencia, para un caudal de 3 468 m³/s.

- Bulege (2020), en los glaciares en la Cordillera Huaytapallana, Perú, el objetivo ha sido describir y examinar la relación entre la temperatura ambiental, como indicativo del cambio climático, y el retroceso de la masa glaciar. Los resultados indican que, entre 1986 y 2016, la temperatura mínima anual en la región experimentó un aumento, con valores oscilando entre 3.435 y 5.227 °C, alcanzando un promedio de 4.757 °C en 2016. Durante el mismo período, la superficie glaciar de la Cordillera Huaytapallana disminuyó, alcanzando 11.86 km² en 2016. En resumen, el incremento de la temperatura mínima entre 1986 y 2016 ha influido en el retroceso de los glaciares de la Cordillera Huaytapallana. Se observa una relación inversa, moderada y significativa entre el aumento de la temperatura mínima y la reducción de la masa glaciar en la cordillera estudiada.
- Turpo (2024), en la zona altoandina de la cordillera de los Andes en Perú, con el objetivo de modelar la dinámica espacial de los cambios en la cobertura y usos del suelo. Los resultados del análisis multitemporal evidencian una reducción considerable de los glaciares en las últimas tres décadas. Entre 1990 y 2020, la superficie glaciar disminuyó de 2,429.38 km² a 1,409.11 km², lo que equivale a una reducción del 42% en el área total cubierta por glaciares. Asimismo, se evaluó el impacto de esta disminución sobre la cobertura de lagunas glaciares y bofedales. La validación multianual mostró una precisión promedio del 95.29%, 91.75% y 85.95% para el mapeo multitemporal de glaciares, lagunas glaciares y bofedales, respectivamente.

- Llacza et al. (2021) en el Perú, análisis del cambio climático al 2050, Los resultados espaciales muestran cambios en la precipitación anual, con incrementos superiores al 45% y reducciones de hasta el 40%, siendo las reducciones más pronunciadas en la Amazonía, y con variaciones tanto de aumento como de disminución en los Andes y la costa norte. La temperatura media anual en el país ha experimentado un aumento constante, entre 1.7 y 3.5°C, con un incremento más pronunciado en la temperatura máxima en la región amazónica. Estos cambios se reflejan en un aumento del rango térmico (DTR) promedio a lo largo de los años, que ha variado de 0.2 a 0.8°C. Para 2050, la temperatura y la precipitación no mostraron variaciones significativas en los meses de sus valores extremos. En relación con los extremos climáticos, se prevé que la Amazonía experimentará una reducción de precipitación de entre 30.2 y 51.2 mm durante las temporadas de avenida y estiaje, respectivamente; los Andes verán una disminución de 20 mm en la sierra norte oriental, y la costa norte tendrá un aumento de 19 mm en la temporada de avenida. Además, se pronostican incrementos en las temperaturas extremas: entre 2.6 y 3.0°C en la Amazonía y los Andes, y entre 1.7 y 2.3°C en la costa. En un escenario de altas emisiones de gases de efecto invernadero, se identifican áreas críticas de cambios climáticos significativos en Loreto, el norte de Ucayali, el norte y sur de Cusco, así como en las zonas altas de Arequipa, Moquegua, Tacna y Puno, donde se recomienda priorizar acciones para mitigar el cambio climático.
- León et al. (2019), en la subcuenca media y alta del río Piura, Perú, se calibró y validó el modelo SWAT para un período de 23 años (1986-2008), utilizando datos climáticos diarios de seis ubicaciones y caudales mensuales en una ubicación. Para las evaluaciones futuras, se utilizaron datos climáticos de los modelos globales HADGEM2-ES y CSI-RO-Mk3-6-0 del Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5), en los escenarios RCP4.5 y RCP8.5. Los datos climáticos futuros

sesgados (2025-2054) fueron corregidos con los datos del período de referencia y ajustados mediante el generador climático MarkSim. Se prevé que, en los escenarios de cambio climático, la temperatura aumente en promedio en $+2.9^{\circ}\text{C}$ y la precipitación en $+39.3\%$ respecto al período observado. La evapotranspiración futura muestra una tendencia general a disminuir, aunque con un ligero aumento en el sector noroccidental de la cuenca. En cuanto a la escorrentía mensual promedio para 2050, se proyecta un incremento del $+71.8\%$ (aproximadamente $55.9 \text{ m}^3/\text{s}$) entre octubre y abril, con el mayor aumento en noviembre. Por otro lado, entre mayo y septiembre se espera una disminución de -66.1% (alrededor de $12 \text{ m}^3/\text{s}$), con la mayor reducción en julio.

1.2.3. ANTECEDENTES LOCALES

- Ccallata (2021), en el distrito de Sina, Provincia San Antonio de Putina, Región Puno, el estudio examinó los cambios en la cobertura glaciar del nevado Salluyo durante el período de 1985 a 2020. Los resultados muestran una disminución en la cobertura glaciar: en 1985, el área total de los glaciares era de 3.55 km^2 , mientras que en 2020 se redujo a 2.54 km^2 , lo que equivale a una pérdida de 1.01 km^2 . En los últimos 35 años, la cobertura glaciar del nevado Salluyo ha disminuido en un 28.45% . La precipitación y la temperatura son factores clave que influyen en el retroceso glaciar. El análisis de tendencias muestra que, de 1985 a 1999, las temperaturas máximas y mínimas mostraron una tendencia creciente, mientras que, de 2000 a 2020, no se observaron tendencias significativas en las temperaturas máximas y mínimas.
- Lopez (2023), en La Rinconada, situada en la Cordillera Apolobamba, Puno, se llevó a cabo un análisis anual de la cobertura glaciar entre 1985 y 2022 utilizando el Índice Normalizado de Diferencia de Nieve. Los resultados indican que la cobertura glaciar en la Cordillera Apolobamba se redujo en alrededor del 43% , pasando de 161.4 km^2 en 1985 a 92.1 km^2 en 2022. Además, el área urbana aumentó en un $1,176\%$ desde

1990, cuando era de 17 ha, hasta 2022, con un total de 200 ha. Por otro lado, el área degradada creció en un 289% desde 2010, cuando era de 1,774 ha, hasta 2022, alcanzando 3,389 ha. Los cambios en la cobertura glaciar y no glaciar fueron analizados utilizando el coeficiente de correlación de Pearson, en relación con tres indicadores socioeconómicos relevantes asociados a la actividad minera, como los datos de población, producción y precios del oro en la región.

- Caira et al. (2021), en la cuenca Coata-Puno, con el fin de analizar el comportamiento de las variables climáticas durante el período 2015-2016 y su impacto en la actividad agrícola del altiplano, los resultados revelan que las temperaturas máximas aumentan anualmente en 0.05°C, las temperaturas medias experimentan un ligero incremento de 0.028°C, y las temperaturas mínimas no muestran variaciones significativas. Las precipitaciones tienden a disminuir, lo que genera efectos negativos sobre los cultivos. Aunque no se dispone de datos específicos sobre el rendimiento de los cultivos, se concluye que el cambio climático está afectando los patrones de temperatura y precipitación, lo que impacta negativamente en la producción de cultivos de pan llevar.

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el descenso de nivel de agua del lago Orurillo mediante imágenes satelitales causado por el cambio climático en la provincia de Melgar, Puno, periodo 2015 - 2024.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estimar el descenso de nivel de agua del lago Orurillo mediante imágenes satelitales.
- Determinar la influencia de la temperatura en el descenso del nivel de agua del lago Orurillo periodo 2015 - 2024.
- Determinar la influencia de las precipitaciones en el descenso del nivel de agua del lago Orurillo periodo 2015 - 2024.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO.

2.1.1. ECOSISTEMAS ACUÁTICOS

Los ecosistemas acuáticos son sistemas biológicos situados en cuerpos de agua, tanto de agua dulce como salada, donde los organismos vivos interactúan entre ellos y con su entorno físico. Incluyen una diversidad de hábitats, como océanos, mares, ríos, lagos, arroyos, estanques y humedales.

En estos ecosistemas, el agua es el elemento principal que ofrece soporte físico y químico, facilitando la disolución de nutrientes y gases esenciales para la vida. La biodiversidad es abundante, con una amplia gama de plantas, animales y microorganismos adaptados a vivir en condiciones específicas que varían en salinidad, temperatura y otros factores ambientales (Contreras & Gonzalez, 2021).

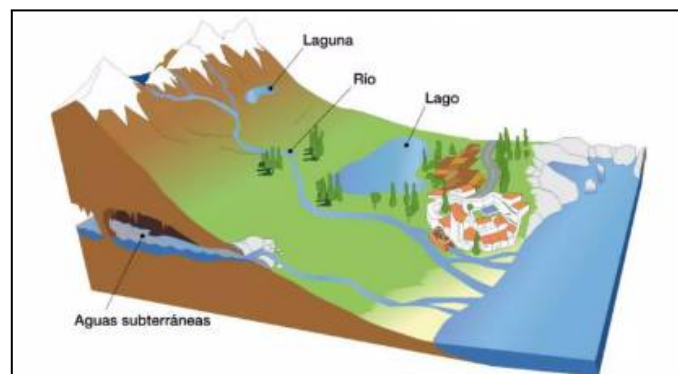


Figura 01: Ecosistemas acuáticos (Contreras & Gonzalez, 2021).

Los ecosistemas acuáticos son esenciales para el planeta porque desempeñan funciones críticas en la regulación del clima, la provisión de recursos naturales y la prestación de servicios ecosistémicos. Actúan como almacenes de carbono, influyen en los patrones climáticos, y proporcionan agua potable, alimentos y materiales vitales para los seres humanos, La Educación Ambiental 2024 También ofrecen servicios como la purificación del agua, el control de inundaciones y el mantenimiento de hábitats para muchas especies (Castro et al., 2021).

2.1.2. DESCENSO DEL NIVEL DE AGUA

El descenso del nivel de agua se refiere a la reducción de agua en cuerpos acuáticos como lagos, ríos, embalses y acuíferos. Esta disminución puede ser medida observando la variación de la altura de la superficie del agua en relación con un punto de referencia fijo o a través del volumen total de agua. Este fenómeno puede tener causas tanto naturales como antropogénicas, afectando la disponibilidad de recursos hídricos en una región determinada (Laffeuillade et al., 2020).

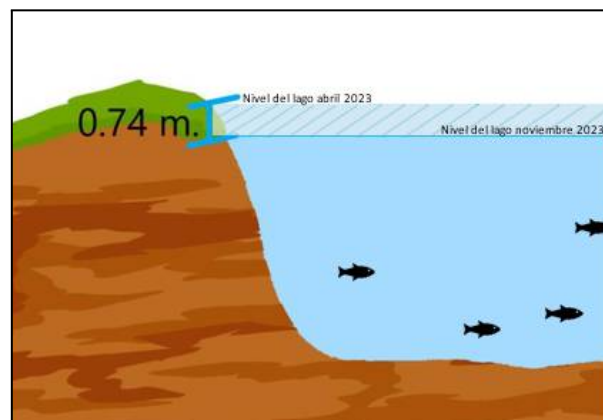


Figura 02: Descenso rápido del nivel del agua (Laffeuillade et al., 2020).

El impacto del descenso del nivel de agua es significativo para los ecosistemas y las comunidades humanas. Ecológicamente, puede llevar a la pérdida de hábitats acuáticos, afectando la biodiversidad y la salud de los ecosistemas. Para las comunidades humanas, la reducción del nivel de agua puede limitar el acceso al agua potable,

disminuir la producción agrícola y pesquera, y aumentar los conflictos por recursos hídricos. También puede afectar la calidad del agua al elevar la concentración de contaminantes y reducir la capacidad de dilución de los cuerpos de agua. Comprender las causas y consecuencias del descenso del nivel de agua es esencial para la gestión sostenible de los recursos hídricos (Dolores, 2023).

2.1.3. CARACTERÍSTICAS Y DINÁMICA DE LOS LAGOS ALTOANDINOS

Los lagos altoandinos se encuentran en áreas elevadas de los Andes, a altitudes superiores a 3,000 metros sobre el nivel del mar. Estas regiones experimentan un clima extremo con bajas temperaturas, alta radiación solar y fuertes vientos, que influyen en las características físicas y químicas del agua de los lagos. La salinidad de estos lagos puede variar ampliamente debido a la alta evaporación y la acumulación de minerales. La biodiversidad en estos lagos es distintiva, con especies adaptadas a las duras y cambiantes condiciones ambientales (Coral, 2024).

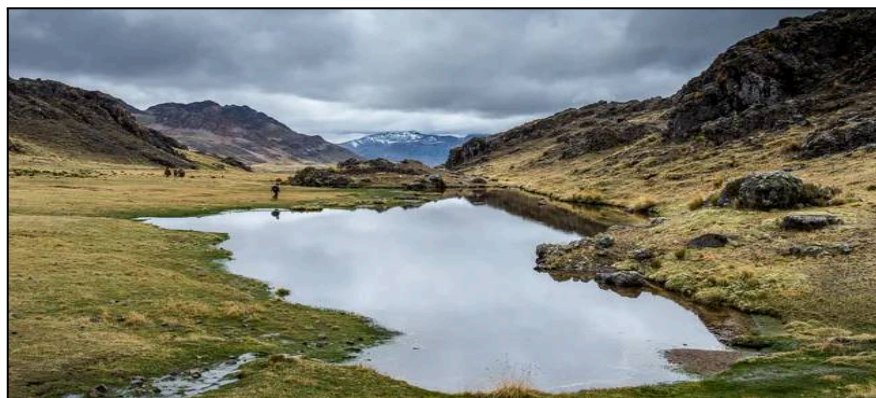


Figura 03: Características y dinámica de los lagos altoandinos (Coral, 2024).

La dinámica de los lagos altoandinos está condicionada por varios factores. Los ciclos de congelamiento y deshielo afectan el volumen y la estructura del agua, mientras que el aporte hídrico de glaciares cercanos se ve alterado por el cambio climático. La elevada evaporación, junto con las variaciones estacionales en las precipitaciones, puede influir en el volumen y la calidad del agua. Además, las actividades humanas como la extracción

de agua, la agricultura y el turismo ejercen presión sobre estos frágiles ecosistemas, modificando su equilibrio ecológico y sus procesos naturales (Fierro, 2023).

2.1.4. CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático se refiere a alteraciones importantes y duraderas en los patrones de temperatura, precipitación y otros aspectos del clima en la Tierra. Aunque estos cambios pueden ser naturales, hoy en día el término se usa para describir los cambios rápidos y profundos causados por actividades humanas, como la quema de combustibles fósiles, la deforestación y la industrialización. Estos cambios impactan a los ecosistemas, la biodiversidad y las sociedades humanas, generando fenómenos extremos como olas de calor, tormentas intensas y variaciones en los patrones de lluvia (Harris et al., 2023).

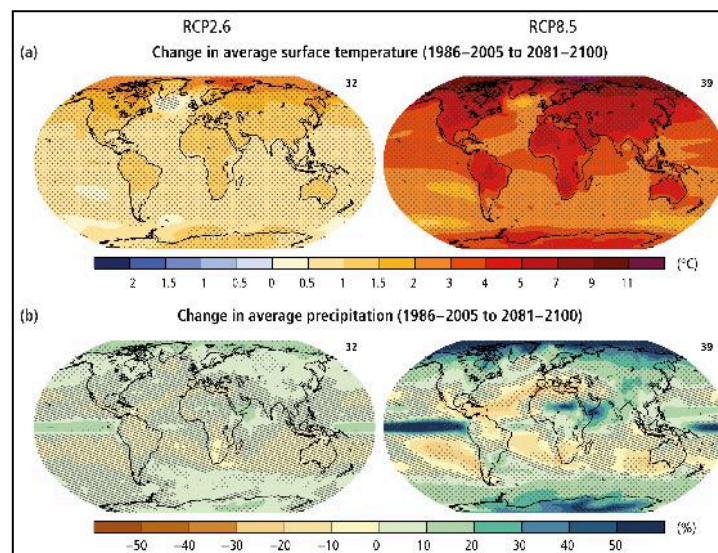


Figura 04: Cambio climático (Harris et al., 2023).

El cambio climático ocurre cuando el clima de la Tierra cambia de manera significativa durante mucho tiempo. Piensa en la Tierra como una gran casa con un termómetro. Si la casa comienza a calentarse o enfriarse mucho más de lo habitual, eso es un cambio climático. Esto sucede porque hacemos cosas como usar muchos autos o talar muchos árboles, lo que altera el clima. Como resultado, puede haber más días muy calurosos, tormentas fuertes, o menos lluvia en algunos lugares (Correa et al., 2023).

2.1.5. CAUSAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático tiene como principal causa el aumento de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, originado en gran medida por actividades humanas (Rozzi et al., 2020).

La quema de combustibles fósiles para la generación de energía, el transporte y la industria libera grandes cantidades de dióxido de carbono (CO₂), mientras que actividades agrícolas y ganaderas emiten metano (CH₄) y óxidos de nitrógeno (N₂O). Estos gases atrapan el calor en la atmósfera, alterando los patrones climáticos y aumentando la temperatura global (Armesto, 2021).

2.1.6. IMPACTO DEL CAMBIO EN ECOSISTEMAS DE AGUA DULCE

El impacto del cambio en los ecosistemas de agua dulce se refiere a las modificaciones que experimentan estos sistemas debido a factores naturales y humanos. Estas alteraciones pueden afectar la estructura, función y salud de ecosistemas como ríos, lagos, arroyos, estanques y humedales. Las causas son diversas e incluyen el cambio climático, la contaminación, la extracción excesiva de agua, la construcción de infraestructuras como presas y canales, y la introducción de especies invasoras (Flores, 2024).

Los efectos de estos cambios en los ecosistemas de agua dulce son notables y pueden manifestarse de varias formas. Entre los impactos ecológicos están la pérdida de biodiversidad, la alteración de las cadenas alimentarias y la degradación del hábitat natural. Estos cambios pueden reducir las poblaciones de especies nativas y aumentar la proliferación de especies invasoras, que pueden desplazar a las especies locales. Además, las variaciones en la temperatura y el flujo del agua pueden alterar los patrones de reproducción y migración de las especies acuáticas (Marcillo & Muñiz, 2023).

2.1.7. OBSERVACIÓN REMOTA

Aunque no es el método óptimo debido a sus numerosas limitaciones, la observación a distancia, posible gracias a la teledetección, permite obtener información sin estar físicamente en la región o el entorno que se desea evaluar y/o investigar. Esta observación a distancia se denomina "ciencia de la tierra", ya que su objetivo principal es tomar fotografías con este fin o analizar las imágenes que se recogen (Hurtado, 2019).

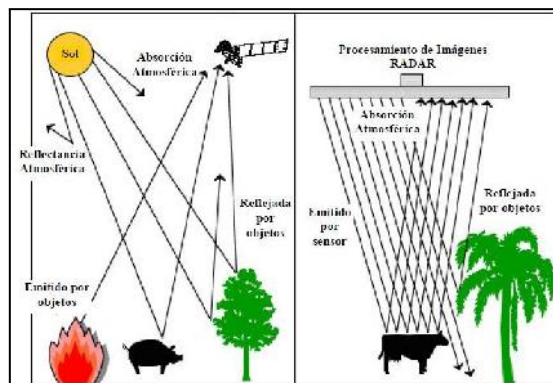


Figura 05: Elemento de un programa de detección a distancia (Chuvieco, 2019).

Las imágenes de satélite, como las de LANDSAT, se utilizan para la observación a distancia. Estas imágenes tienen 8 bandas espectrales, que al combinarse producen una variedad de imágenes con diferentes colores que pueden utilizarse para trabajos de tipo interpolación. Como resultado, sus aplicaciones son variadas, incluyendo la vigilancia y/o el análisis térmico. Todo ello es posible gracias a que la resolución espacial de estas imágenes oscila entre 15, 30, 60 y 120 m (Hurtado, 2019).

2.1.8. TELEDETECCIÓN

Es la ciencia que permite identificar o analizar sin contacto las propiedades de los objetos de interés (Vargas, 2023).

La teledetección es una técnica que permite obtener datos de objetos lejanos sin necesidad de tocarlos físicamente. La presencia o creación de campos de fuerza entre el dispositivo sensor y el objeto identificado lo hace posible (García & González, 2021).

2.1.9. EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Varios sensores a bordo de satélites de teledetección pueden detectar la luz visible, como la que captan las fotos de las cámaras, pero también pueden captar radiaciones invisibles para el ojo humano, como la luz infrarroja y las ondas de radar (Sánchez et al., 2022).

La medición de la radiación electromagnética o energía emitida por un objeto o material sirve de base para todas las imágenes a distancia (Rodríguez, 2023).

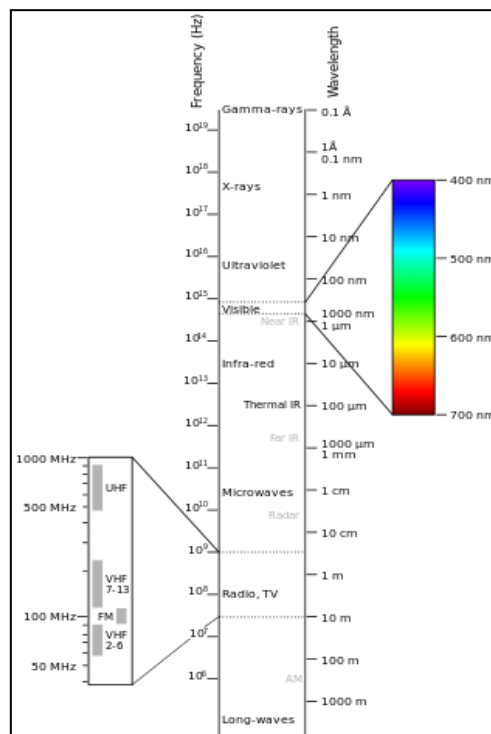


Figura 06: Espectro de radiofrecuencias (Rodríguez, 2023).

El espectro electromagnético se divide en regiones con características y usos específicos, ordenadas según su frecuencia: ondas de radio, microondas, infrarrojo, luz visible, ultravioleta, rayos X y rayos gamma. La luz visible, que incluye colores del rojo al violeta, es la única parte perceptible por el ojo humano, mientras que el resto de las regiones requiere equipos especializados para su detección (Miranda, 2022).

2.1.10. FIRMA ESPECTRAL

Todas las sustancias y objetos irradian energía en una gama de longitudes de onda conocida como espectro o firma espectral. Por ello, incluso a enormes distancias, es

posible distinguir entre los numerosos materiales presentes en la superficie terrestre (Arias et al., 2024).

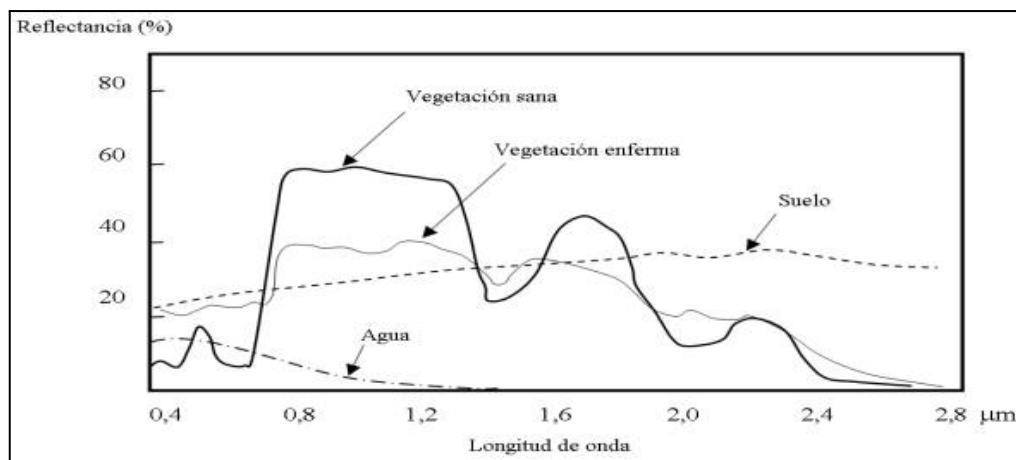


Figura 07: Huella espectral (Escobar et al., 2023).

Los sensores a bordo de satélites ofrecen una ventaja significativa sobre otros sistemas de observación remota de la Tierra porque pueden medir la energía en una amplia gama de longitudes de onda. (Escobar et al., 2023).

2.2. MARCO CONCEPTUAL

- ❖ **Calentamiento global:** Se trata de un aumento de las temperaturas medias de los océanos y la atmósfera a lo largo del tiempo (García et al., 2020).
- ❖ **Cambio climático:** Abarca cualquier alteración del clima provocada por la actividad humana o por fenómenos naturales cíclicos. También se incluye el aumento de la temperatura global (González & Meira, 2021).
- ❖ **Precipitación:** Cuando la lluvia, el aguanieve o la nieve caen sobre la superficie terrestre, se trata en realidad de agua líquida o sólida que se ha formado en la atmósfera (Lozano et al., 2021).
- ❖ **QGIS:** Es un programa de software de suministro abierto para sistemas GNU/Linux, Unix, Mac OS y Microsoft Windows. Permite manejar formatos ráster y vectoriales como shp, además de bases de datos especiales (Del Carmen et al., 2023).

- ❖ **Radiación solar:** Debido a la emisión de energía solar en forma de radiación electromagnética, se trata de un fenómeno físico (Lozano et al., 2021).
- ❖ **R-Studio:** Este entorno de desarrollo integrado en el lenguaje de programación R se centra en el análisis estadístico y las instantáneas. Ofrece funciones de gestión del espacio de trabajo, una consola, gráficos y un editor de sintaxis para la ejecución sencilla de código (Del Carmen et al., 2023).
- ❖ **Temperatura:** Es un número gradiente físico que describe la energía interna de un sistema termodinámico, más concretamente, la energía cinética media de las partículas constituyentes del sistema, que indica su movimiento. Como no tiene nada que ver con la masa física del cuerpo, es una propiedad intrínseca (Lozano et al., 2021).

2.3. MARCO NORMATIVO

El análisis del descenso del nivel de agua del lago Orurillo en Puno para el periodo 2015-2024 debe enmarcarse dentro de las normativas peruanas que regulan la gestión de recursos hídricos, la protección ambiental y la adaptación al cambio climático. La Ley de Recursos Hídricos (Ley N.º 29338) establece las normas para la administración y conservación del agua, promoviendo su uso sostenible y la protección de ecosistemas acuáticos. Esta ley proporciona el marco legal necesario para abordar el descenso del nivel del agua en el lago Orurillo y desarrollar estrategias para garantizar la disponibilidad y calidad del recurso hídrico.

De igual manera, la Ley General del Ambiente (Ley N.º 28611) y el Reglamento de Evaluación de Impacto Ambiental (Decreto Supremo N.º 019-2009-MINAM) son esenciales para la preservación del medio ambiente. La ley fija principios para la conservación de recursos naturales y establece un marco para evaluar proyectos que puedan impactar el ecosistema del lago Orurillo. El reglamento específico facilita la evaluación de cómo el cambio climático afecta el lago y permite planificar medidas de

mitigación adecuadas.

En cuanto al cambio climático, la Política Nacional sobre Cambio Climático (Ley N.º 30284) y la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) proporcionan directrices para la adaptación y mitigación de sus efectos. Estas políticas incluyen medidas para gestionar la reducción de recursos hídricos y adaptar tanto los ecosistemas como las comunidades a las nuevas condiciones climáticas, siendo crucial su aplicación para desarrollar estrategias efectivas para el lago Orurillo.

Finalmente, las normativas locales y regionales, junto con convenios internacionales como el Convenio de Ramsar, también tienen un papel relevante. Los gobiernos regionales y locales en Puno deben implementar políticas y regulaciones específicas para la gestión del agua y la protección de ecosistemas locales. El Convenio de Ramsar, que promueve la conservación de humedales y ecosistemas acuáticos, proporciona un marco adicional para proteger el lago Orurillo y su entorno. Integrar estas normativas en el análisis permitirá una comprensión completa del problema y facilitará el desarrollo de soluciones adecuadas.

2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

El cambio climático influye en el descenso de nivel de agua del lago Orurillo detectado mediante imágenes satelitales en la provincia de Melgar, Puno, periodo 2015 - 2024.

2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICOS

- El nivel del agua del lago Orurillo muestra una disminución en comparación con los periodos 2015-2024.
- La temperatura influye en el descenso del nivel de agua del lago Orurillo periodo 2015 - 2024.
- Las precipitaciones influyen en el descenso de nivel de agua del lago Orurillo periodo 2015 - 2024.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO

El lago Orurillo se sitúa en el distrito de Orurillo, perteneciente a la provincia de Melgar, en el departamento de Puno, Perú. Este lago se encuentra a una altitud aproximada de 3,800 metros sobre el nivel del mar y sus coordenadas geográficas son 14.6272° de latitud sur y 70.4225° de longitud oeste.

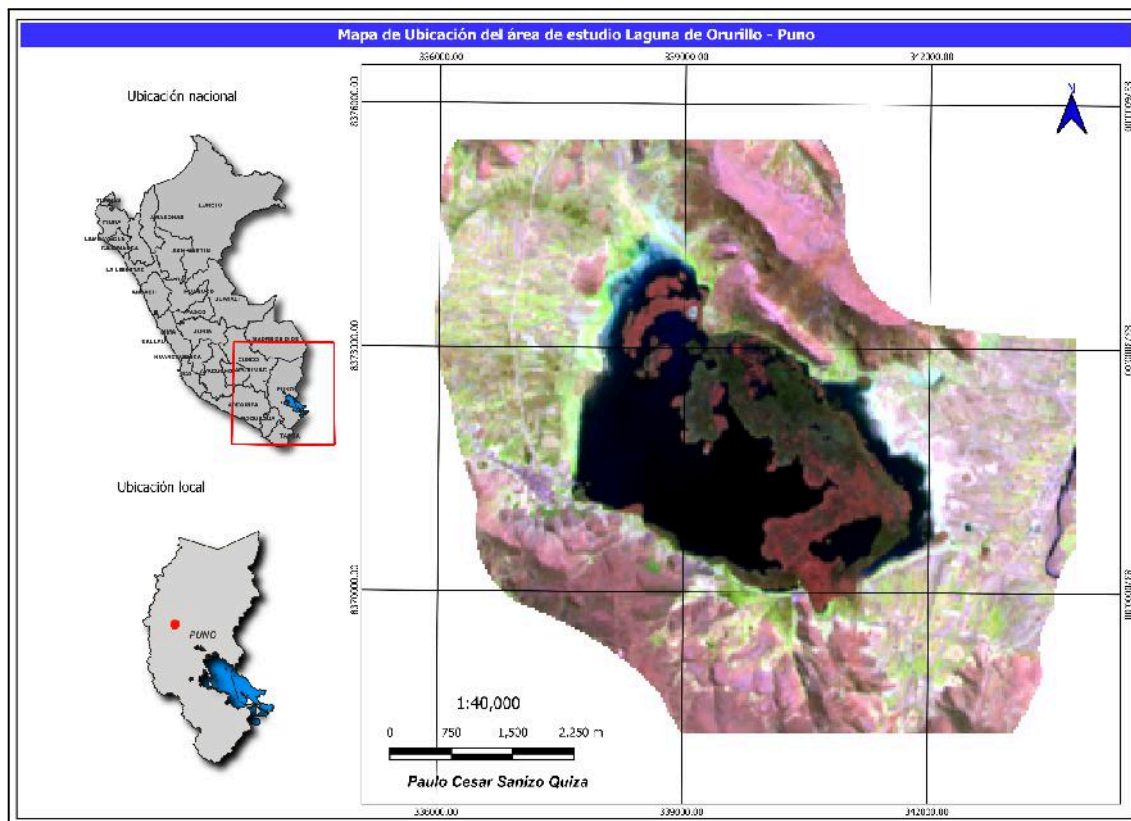


Figura 08: Mapa de ubicación del lago Orurillo.

El lago Orurillo está ubicado en la vertiente oriental de los Andes, una de las principales cadenas montañosas de América del Sur. Esta ubicación le otorga una gran altitud y un clima extremo, influenciado por su proximidad al ecuador y la altitud, lo que impacta en sus características ecológicas.

3.2. TAMAÑO DE MUESTRA

3.2.1 POBLACIÓN

La población está constituida por los lagos de la cordillera de los Andes, como el Lago Titicaca (Puno), Lago Junín (Junín y Pasco), Laguna Parón (Áncash), Laguna Llanganuco (Áncash), Laguna Querococha (Áncash), Laguna de Conococha (Áncash), Laguna de Choclococha (Huancavelica), Laguna de Pomacocha (Junín), Laguna de Paca (Junín), Laguna Arapa (Puno), Laguna, Umayo (Puno), Laguna Pacucha (Apurímac), el cual se ubica en las regiones montañosas del Perú.

3.2.2 MUESTRA

La muestra abarcó toda la superficie del lago Orurillo durante la época de estiaje, en los períodos de 2015 y 2024, específicamente entre los meses de mayo y septiembre.

Muestreo

El muestreo no probabilístico en el estudio del lago Orurillo se enfoca en elegir sitios de muestreo que sean más pertinentes para los objetivos del análisis, facilitando una evaluación exhaustiva de las áreas más afectadas por el cambio climático y la reducción del nivel de agua.

3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS

3.3.1 MÉTODOS

Tipo de investigación

La investigación trata de cuantificar las áreas del lago Orurillo, que está descendiendo debido a la influencia de factores climáticos, es coherente con el enfoque cuantitativo no experimental. Dado que se recopilaban datos estadísticos y cuantitativos.

Diseño de Investigación.

El diseño de la investigación se enfoca en observar, registrar y detallar las características y comportamientos de un fenómeno sin intervenir en él ni manipular variables. A diferencia de otros enfoques, como los experimentales o correlacionales, que implican la manipulación de variables para investigar efectos causales o relaciones, el diseño descriptivo se limita a la observación y documentación del fenómeno tal como ocurre naturalmente (Cabrera, 2023).

3.3.2 MATERIALES

Equipos

- Navegador
- Cámara fotográfica
- Computadora portátil, impresora, scanner.

Programas

- QGis (v3.26.17).
- R-Studio (v4.3.1).

3.4. METODOLOGÍA

Método inductivo: Se refiere a la capacidad de razonamiento inductivo, que parte de indicios concretos y conduce a inferencias específicas. Para llegar a una generalización, se basa en la observación de hechos concretos (Andrade et al., 2018).

Técnica de observación: Es el proceso de examinar atentamente una cosa para asimilar plenamente la naturaleza del todo, incluido su conjunto de datos, hechos y fenómenos (Andrade et al., 2018).

Técnica de Investigación:

1) Análisis Multitemporal con Imágenes Satelitales:

- **Descripción:** Esta técnica se basa en la comparación de imágenes satelitales capturadas en diferentes momentos (entre 2015 y 2024) para detectar variaciones en

el nivel de agua del lago Orurillo. Permite visualizar cómo ha cambiado la extensión del lago a lo largo del tiempo y vincular esos cambios con las fluctuaciones climáticas.

2) Teledetección y Procesamiento de Imágenes:

- **Descripción:** Utilización de métodos de teledetección para procesar las imágenes satelitales y obtener información relevante sobre el nivel de agua. Se emplean índices específicos, como el NDWI (Índice de Diferencia Normalizada de Agua), que ayudan a identificar y delimitar las zonas cubiertas por agua.

Instrumento de Investigación:

1) Imágenes Satelitales:

- **Fuentes:** Landsat 8.
- **Uso:** Estas imágenes ofrecen datos espaciales y temporales del lago, esenciales para llevar a cabo el análisis multitemporal.

Software de Procesamiento de Imágenes:

- **Herramientas:** R-studios, QGIS, Google Earth Engine.
- **Uso:** Procesamiento de las imágenes satelitales, cálculo de índices como el NDWI, análisis de cambios en el nivel de agua, y creación de mapas temáticos.

Metodología para el objetivo específico O1: Estimar el descenso de nivel de agua del lago Orurillo mediante imágenes satelitales.

a) Recolección de Datos Históricos:

- **Datos del Nivel del Agua:** Se obtuvieron datos históricos sobre el nivel del agua del lago Orurillo desde 2015 hasta 2024, procedentes de las imágenes satelitales LandSat-8.

b) Análisis de Tendencias:

- **Series Temporales:** Se emplearon análisis de series temporales para identificar el descenso en el nivel del agua. Utiliza herramientas estadísticas como la regresión

lineal para detectar tendencias a lo largo del tiempo.

- **Cálculo de Tasa de Cambio:** Determina la tasa anual de disminución del nivel del agua para cuantificar el descenso.

$$Td = \left[\left(\frac{S_2}{S_1} \right)^{1/n} - 1 \right] * 100$$

Donde:

Td = Tasa de descenso de agua en porcentajes

S_2 = Área de agua en el año final

S_1 = Área de agua en el año inicial.

n = Número de años del periodo de análisis.

c) Visualización de Datos:

- **Gráficos y Mapas:** Se realizaron gráficos y mapas que ilustran el descenso del nivel del agua durante el período estudiado, facilitando la comprensión de los patrones y cambios observados.

d) Comparación con Datos de Referencia:

- **Comparativa Histórica:** Contrasta los datos obtenidos con registros históricos o datos de lagos similares en la región para contextualizar el descenso observado.

Metodología para el objetivo específico O2: Determinar la influencia de la temperatura en el descenso del nivel de agua del lago Orurillo periodo 2015 - 2024.

a) Recolección de Datos Climáticos:

- **Datos de Temperatura:** Se obtuvieron datos históricos sobre la temperatura para el lago Orurillo, durante el periodo de estudio de TerraClimate.

b) Modelado Estadístico:

- **Regresión Múltiple:** Se aplicó un modelo de regresión múltiple para evaluar el impacto de la temperatura, junto con otras variables, en el nivel del agua, permitiendo cuantificar el efecto específico de la temperatura.

c) Análisis de Tendencias Climáticas:

- **Evaluación de Patrones:** Investiga si los patrones de temperatura presentan tendencias significativas y cómo estas tendencias podrían estar contribuyendo al descenso del nivel del agua.

Metodología para el objetivo específico O3: Determinar la influencia de las precipitaciones en el descenso del nivel de agua del lago Orurillo periodo 2015 - 2024.

a) Recolección de Datos de Precipitación:

- **Datos Históricos de Precipitación:** Se obtuvieron datos históricos sobre las precipitaciones para el lago Orurillo, durante el periodo de estudio de TerraClimate

b) Modelado de Datos:

- **Modelos de Regresión:** Se emplearon modelos de regresión para evaluar el impacto de las precipitaciones en el nivel del agua. Considera utilizar regresión múltiple si se incluyen otras variables relevantes.

c) Evaluación de Eventos Extremos:

- **Análisis de Eventos de Precipitación:** Se examinaron eventos de precipitación extrema (como lluvias intensas o sequías prolongadas) y su influencia en los cambios del nivel del agua del lago para comprender mejor el impacto de estos eventos en el descenso.

3.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Causa o variable independiente (VI): Cambio climático.

Efecto o variable dependiente (VD): Descenso del nivel de agua del lago Orurillo.

Tabla 01: Operacionalidad de Variables.

Variables	Indicadores	Escala de Medición	Tipos de variables
	Temperaturas		
	Máximas	°C	
	Mínimas	°C	
(VI)	Mensual	°C	
Cambio climático	Anual	°C	Independiente
	Precipitación		
	Mensual	mm	
	Anual	mm	
(VD)		m ²	
Descenso del nivel de	Áreas	Ha	
agua del lago Orurillo.		%	Dependiente

3.6. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO

- **Tratamiento de pruebas estadísticas**

Una de las fases más importantes en la investigación cuantitativa, consiste en el procesamiento, análisis e interpretación de los datos recolectados mediante las fotografías aéreas, para lo cual en este trabajo de investigación se aplicó la estadística inferencial, aquella que ayuda al investigador a encontrar significatividad a sus resultado

- **Pruebas de normalidad**

Para la determinación de la prueba estadística de correlación primeramente, se determinó el supuesto paramétrico de normalidad de los datos.

Para determinar si los valores tienen una distribución normal, se aplica el test de Shapiro-Wilk (Shapiro & Wilk, 1965) mayormente empleada en conjuntos de datos con un número inferior a 50 valores. La prueba está sujeta a una significancia de 95% (0.05), donde si el resultado (*p-value*) es superior al valor de 0.05 se determina una “distribución normal”, si el resultado es menor al valor de 0.05 se determina una “distribución no normal”

Dependiendo de los resultados de las pruebas de normalidad, se utilizó un test paramétrico si los datos cumplen con los supuestos de normalidad. En caso de que los datos no cumplan con estas condiciones, se empleó un test no paramétrico para analizar las relaciones entre las variables.

- **Coefficiente de correlación (r)**

Según Asuero et al. (2006), se refiere a la fuerza de la asociación lineal que establece la fuerza de la relación entre dos variables. Cuando se realizan pruebas paramétricas, el coeficiente de correlación se calcula mediante el método de Pearson, para interpretar la fuerza de la relación, los rangos del coeficiente de correlación se fijan entre -1 y +1, se utiliza la tabla 02.

Tabla 02: Grado de correlación.

r	Interpretación
0.90 - 1.00	Correlación muy alta
0.70 - 0.89	Correlación alta
0.50 - 0.69	Correlación moderada
0.30 - 0.49	Correlación baja
0.00 - 0.29	Poca correlación

Fuente: Adaptado de Asuero et al. (2006).

Para contrastar las hipótesis:

Se procedió del siguiente modo; teniendo en cuenta que se quiere evaluar el descenso de nivel de agua del lago Orurillo mediante imágenes satelitales causado por el cambio climático, Puno, periodo 2015 - 2024, se usó el procedimiento estadístico de prueba de hipótesis Regresión Lineal Simple de pearson, en el software estadísticos R-Studio, aplicando el siguiente criterio, un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ y un nivel de confianza al 95%.

Criterio para decidir:

P-valor = $< \alpha$, se rechaza la HN (Se acepta la HA).

P-valor = $> \alpha$, se acepta la HN (Se rechaza la HA).

CAPÍTULO IV

EXPOSICION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DEL DESCENSO DE NIVEL DE AGUA DEL LAGO ORURILLO MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES.

El estudio sobre la reducción del nivel de agua del Lago Orurillo, utilizando imágenes del satélite Landsat 8 como se observa en el (Anexo: 03), muestra una reducción significativa en el tamaño del lago a lo largo del tiempo. Al comparar imágenes de diversas fechas, se puede observar una clara disminución del nivel del agua, particularmente en las estaciones secas. Las imágenes satelitales permiten una visualización detallada de cómo varía la extensión del agua, ayudando a identificar las zonas más afectadas por la evaporación o la escasez de lluvias. La alta resolución de las imágenes de Landsat 8 facilita un seguimiento preciso y continuo de estos cambios a lo largo del tiempo.

Tabla 03: Estimación del cambio del nivel de agua durante el 2015 y 2024.

Periodos	Área en (km ²)	Área en (Ha)	Tasa de	Tasa de	Área en (%)
			retroceso de la cobertura agua (km ²)	retroceso de la cobertura agua (%)	
2015	6.85	554.58	0.00	0.00	11%
2016	6.61	640.71	-0.24	-3.49	11%
2017	5.95	595.26	-0.65	-9.91	10%
2018	6.94	643.5	0.98	16.50	12%
2019	5.98	587.7	-0.96	-13.81	10%
2020	6.07	627.12	0.09	1.58	10%
2021	6.02	631.53	-0.06	-0.92	10%
2022	5.90	589.77	-0.12	-1.96	10%
2023	4.99	464.22	-0.91	-15.35	8%
2024	4.96	476.28	-0.03	-0.59	8%
TOTAL	60.26	5810.67	-1.85	-27.36	100%

En la tabla 03, se muestra el descenso del nivel de agua del Lago Orurillo, utilizando imágenes del satélite Landsat 8, muestra una disminución notable en la cobertura de agua del lago en los últimos años. En 2015, la extensión del agua en el lago era del 11%, mientras que en 2024 esta cifra bajó al 8%. Este cambio evidencia una tendencia de

reducción en el nivel de agua, lo que se refleja en una reducción de la superficie cubierta por el lago a lo largo del tiempo. Gracias a las imágenes satelitales, se ha podido monitorear la variabilidad en la superficie del agua, permitiendo identificar las zonas más afectadas por la evaporación y la falta de lluvias. Este descenso en el nivel del agua está relacionado con factores climáticos

como las fluctuaciones en las precipitaciones y el cambio climático, así como posibles efectos del uso humano del recurso hídrico. Coincide con (Turpo, 2024), en la zona altoandina de la cordillera de los Andes en Perú, en su resultado el análisis multitemporal confirma una recesión significativa de los glaciares en las últimas tres décadas. La superficie de los glaciares se redujo de 2,429.38 km² a 1,409.11 km² entre 1990 y 2020, lo que representa una disminución del 42% en el área total glaciar. Además, se analizó el impacto de esta reducción en la cobertura de lagunas glaciares y bofedales. La revalidación multianual mostró valores promedio de exactitud del 95.29%, 91.75% y 85.95% para el mapeo multitemporal de glaciares, lagunas glaciares y bofedales, respectivamente.

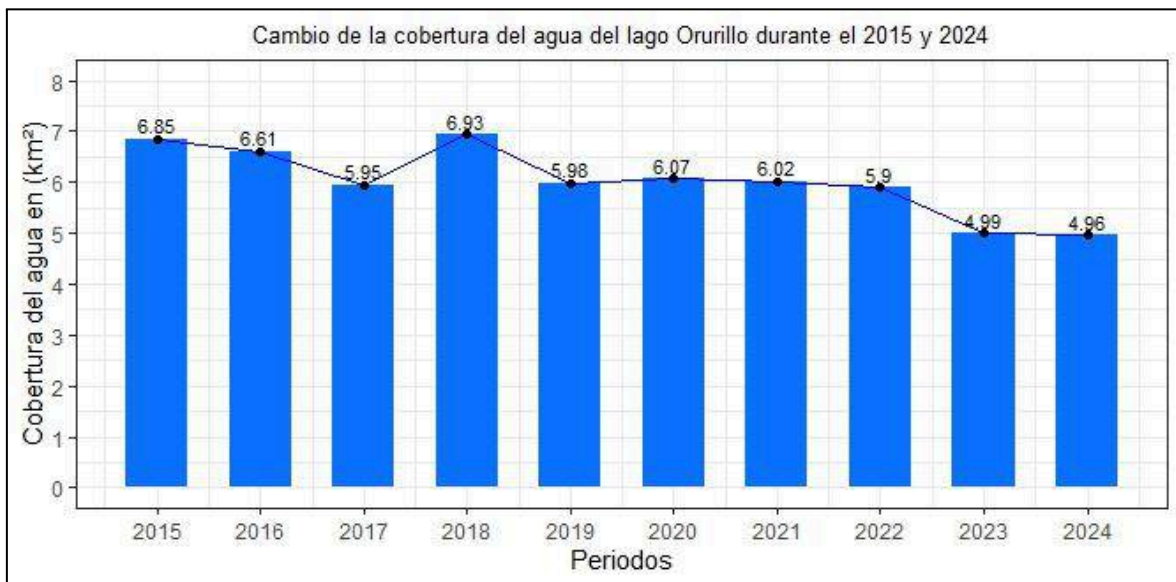


Figura 09: Cambio de la cobertura de agua del lago Orurillo durante el 2015 y 2024.

En la figura 09, se muestra el análisis mediante las imágenes satelitales del Lago Orurillo entre los años 2015 y 2024 revela una reducción en su superficie de agua. En 2015, la extensión del agua era de 6.85 km², mientras que en 2024 descendió a 4.96 km², lo que equivale a una disminución de -1.98 km². Este retroceso en el área cubierta por agua señala una pérdida significativa en el volumen del lago a lo largo de este periodo, lo cual podría estar vinculado a factores como variaciones climáticas, cambios en las precipitaciones o actividades humanas que alteran el equilibrio hídrico del lugar. Coincide con **(Castillo, 2022)**, la investigación desarrollada en Valle de Sébaco, Nicaragua, donde obtuvo valores medios de -0.52 m²/año, lo que indica que una parte del acuífero está experimentando una disminución en los niveles freáticos. Esta tendencia podría verse exacerbada rápidamente por fenómenos climáticos y el aumento en la demanda del recurso. También coincide con **(Fernández & Abimelec, 2020)**, en la Sierra Nevada, ubicada en la región de la Araucanía, Chile. Los resultados indicaron un retroceso en ambos glaciares de la Sierra Nevada. El glaciar Sierra Nevada Norte, con una superficie de 6,35 km² ($\pm 0,0167$ km²) en 1973, se redujo a 2,83 km² ($\pm 0,0018$ km²) en 2020, lo que equivale a una pérdida de aproximadamente el 55,43%. En el caso del glaciar Sierra Nevada Sur, su superficie pasó de 5,84 km² ($\pm 0,0167$ km²) en 1973 a 2,71 km² ($\pm 0,0018$ km²) en 2020, resultando en una reducción aproximada del 46,4%. En términos de retroceso del frente glaciar, el Sierra Nevada Norte se retrajo un 36,73%, mientras que el Sierra Nevada Sur retrocedió un 43,4%.

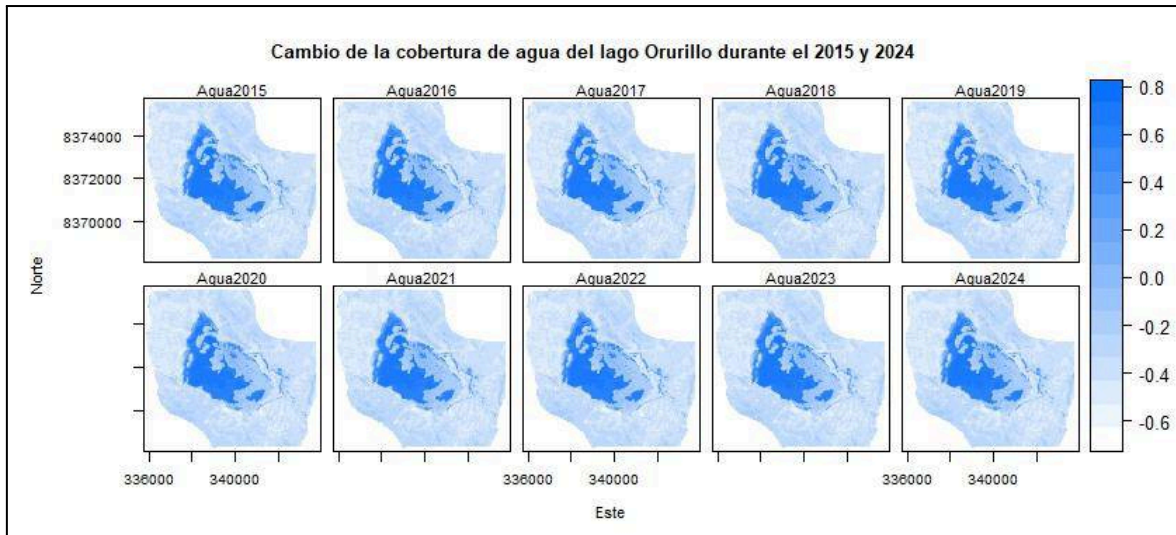


Figura 10: Cambio de la cobertura de agua del lago Orurillo durante el 2015 y 2024.

En la figura 10, se muestra el análisis de la cobertura de agua del Lago Orurillo en los años 2015 y 2024 revela una distinción entre las áreas cubiertas por agua y aquellas que no lo están, utilizando valores específicos en los datos. En ambos años, las zonas con valor de 0.8 representan las áreas acuáticas, mientras que los valores de -0.5 corresponden a las regiones fuera del agua. Esta metodología permite identificar los cambios en la extensión del lago a lo largo del tiempo, evidenciando una notable reducción en su superficie cubierta por agua, lo cual refleja una disminución en el nivel del lago durante el período analizado.

Tabla 04: Estadística descriptiva del cambio del nivel de agua.

Var.	Media	Mediana	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	Coef. de asimetría	Curtosis
Cob. Agua	6.02	5.99	0.67	4.96	6.93	-0.36	-0.40

Nivel de confianza(95,0%)

En la tabla 04, se muestra el análisis estadístico descriptivo del cambio en la cobertura de agua del Lago Orurillo entre 2015 y 2024 presenta varios aspectos importantes. La cobertura media de agua es de 6.02 km², con una mediana de 5.99 km², lo que indica que la mayoría de los datos se agrupan alrededor de este valor. La desviación estándar de 0.67 km² muestra una variabilidad moderada en los resultados obtenidos. El valor mínimo registrado fue de 4.96 km², mientras que el valor máximo llegó a 6.93 km². El coeficiente de asimetría de -0.36 refleja una ligera tendencia hacia valores más bajos, y la curtosis de -0.40 sugiere una distribución menos pronunciada que la normal. Con un nivel de confianza del 95%, estos resultados indican una tendencia general a la disminución de la cobertura acuática en el lago durante el período analizado.

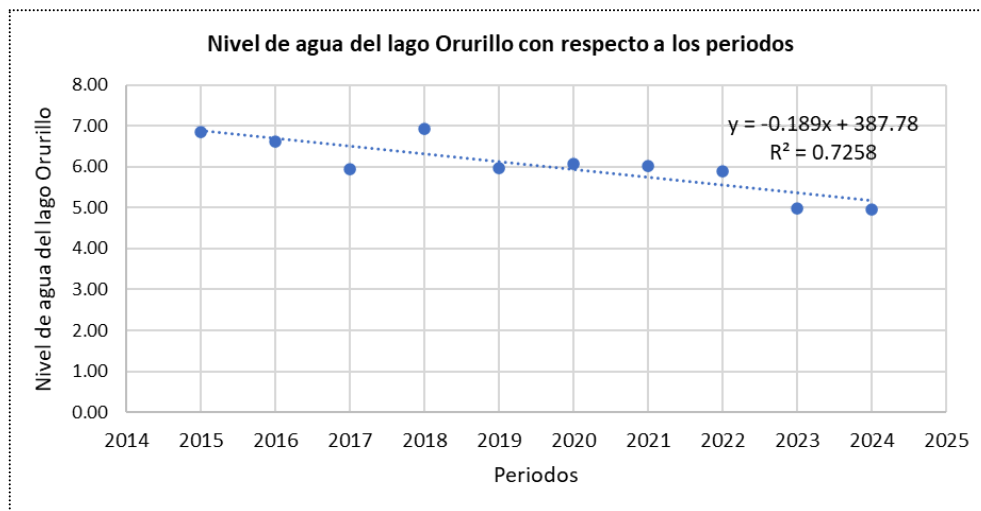


Figura 11: Regresión lineal del nivel de agua sobre los periodos.

En la figura 11, se muestra el análisis de la regresión lineal de la cobertura de agua del Lago Orurillo entre 2015 y 2024, con un valor de R² de -0.7258, indica una tendencia inversa en relación con el tiempo sobre la extensión acuática del lago Orurillo. Este resultado sugiere que, a medida que transcurren los años, la superficie de agua del lago ha experimentado una disminución considerable. El valor negativo del coeficiente de determinación señala que el modelo de regresión no es el más adecuado para ajustar los datos, lo que podría reflejar una tendencia a la baja en la cobertura de agua, pero

también sugiere que factores adicionales podrían estar influyendo en este cambio. En conclusión, aunque la regresión muestra una reducción en el nivel de agua durante el período estudiado, hay variaciones que no se capturan completamente mediante el modelo lineal.

Tabla 05: Prueba de normalidad ‘Shapiro-Wilk’ del nivel de agua.

Variable	Statistic	<i>p-values</i>
Cobertura de agua	0.898	0.206

Nivel de confianza(95,0%)

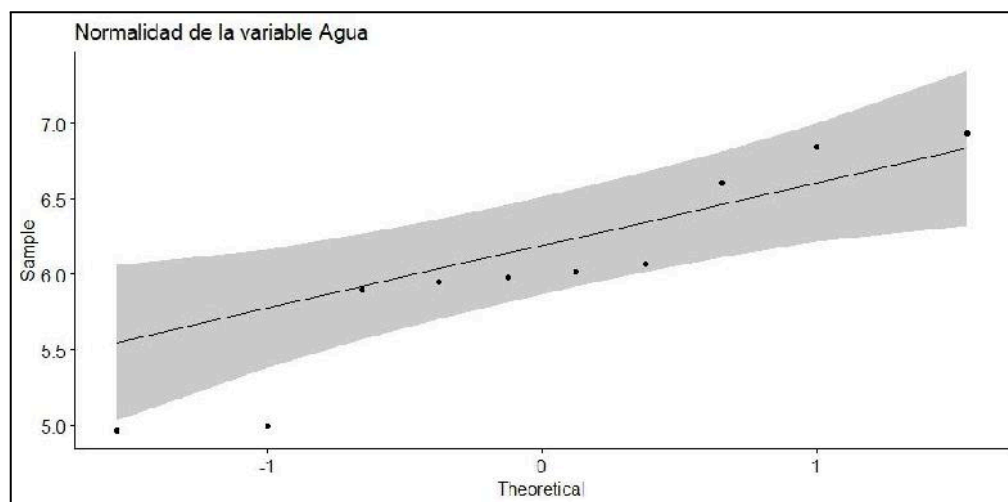


Figura 12: Prueba de normalidad ‘Shapiro-Wilk’ del nivel de agua.

En la tabla 05 y en la figura 12, se muestra los resultados de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk aplicada a la cobertura de agua del Lago Orurillo entre 2015 y 2024 muestran un estadístico de 0.898 y un *p-valor* de 0.206. Debido a que el *p-valor* es superior al umbral de significancia de 0.05, lo que indica que los datos siguen una distribución normal. Esto sugiere que la cobertura de agua en el lago se distribuye de manera normal, dado que los datos cumplen con este supuesto, es adecuado emplear la **correlación de Pearson** para analizar la relación entre las

variables, ya que esta prueba es más adecuada cuando los datos son normales y se busca determinar la fuerza y dirección de la relación lineal entre dos variables cuantitativas.

4.2. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL DESCENSO DEL NIVEL DE AGUA DEL LAGO ORURILLO PERIODO 2015 - 2024.

El estudio de la influencia de la temperatura en la disminución del nivel de agua del Lago Orurillo entre 2015 y 2024 se realizó utilizando datos de temperaturas máximas y mínimas obtenidos del satélite TerraClimate. Estos registros permitieron analizar cómo las variaciones térmicas a lo largo del tiempo pudieron haber afectado el comportamiento del nivel del agua en el lago. Se encontró que las fluctuaciones térmicas, especialmente los incrementos en las temperaturas máximas, podrían haber aumentado la evaporación del agua, acelerando así la disminución del nivel del lago. Estos hallazgos sugieren que existe una posible conexión entre los cambios en la temperatura y la reducción de la superficie acuática durante el período de estudio.

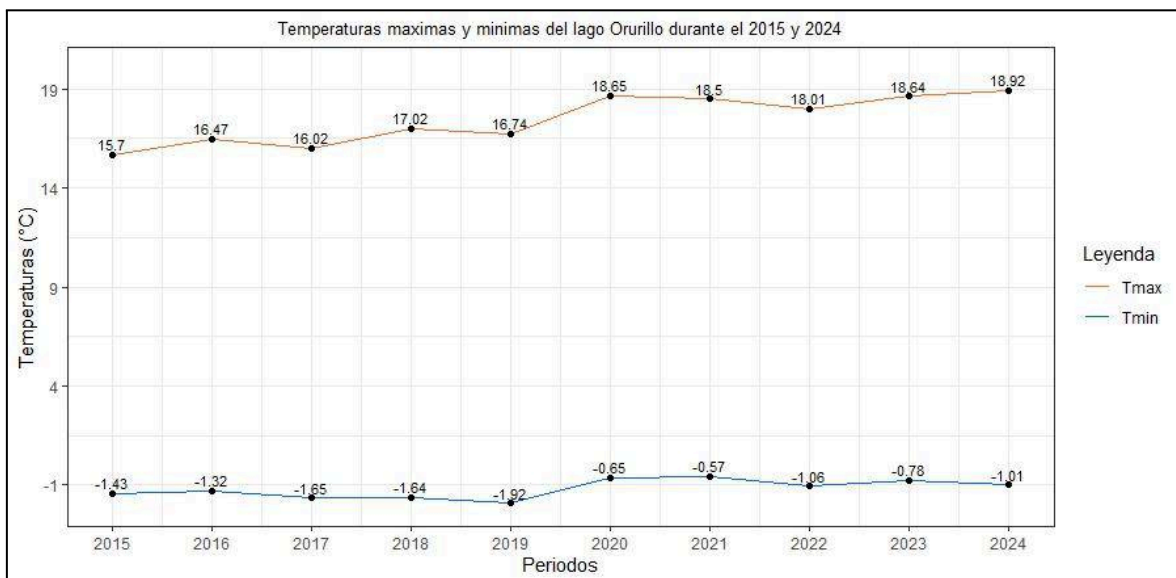


Figura 13: Temperaturas máximas y mínimas del lago Orurillo durante el 2015 y 2024.

En la figura 13, entre 2015 y 2024, se registró un incremento tanto en las temperaturas máximas como mínimas en el Lago Orurillo, lo cual podría haber tenido un impacto en la

disminución de su nivel de agua. Las temperaturas máximas subieron de 15.7 °C en 2015 a 18.91 °C en 2024, lo que implica un aumento de 3.22 °C. En cuanto a las temperaturas mínimas, pasaron de -1.43 °C en 2015 a -1.00 °C en 2024, con un incremento de 0.43 °C durante este período. Estos aumentos en las temperaturas, tanto máximas como mínimas, podrían haber favorecido una mayor evaporación, lo que a su vez habría acelerado la reducción del nivel de agua en el lago. Coincide con **Bulege(2020)**, en los glaciares en la Cordillera Huaytapallana, Perú. Los resultados muestran que, entre 1986 y 2016, la temperatura mínima anual en la región aumentó, con valores fluctuando entre 3.435 y 5.227 °C, alcanzando un estimado de 4.757 °C en 2016. También coincide con **(Llacza et al., 2021)** en el Perú, análisis del cambio climático al 2050, Los resultados en la Amazonía, la temperatura media anual ha aumentado de manera consistente en el país, entre 1.7 y 3.5°C, con un incremento mayor en la temperatura máxima en la Amazonía. Estos cambios se reflejan en un aumento del rango térmico (DTR) promedio multianual de 0.2 a 0.8°C. Para 2050.

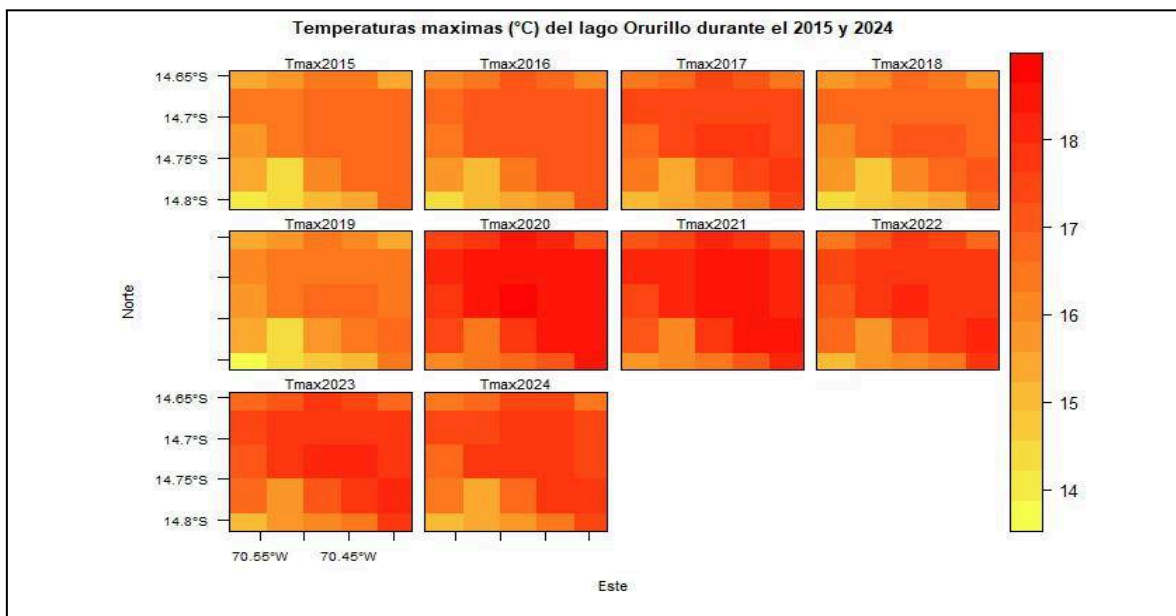


Figura 14: Mapa de temperaturas máximas (°C) del del lago Orurillo durante el 2015 y 2024.

En la figura 14, se muestra el mapa entre el 2015 y 2024, se registraron fluctuaciones en las temperaturas máximas, lo cual podría haber influido en la disminución del nivel de agua del Lago Orurillo. Las temperaturas máximas más altas, cercanas a los 18°C, sugieren un incremento en el calor, lo que probablemente favoreció un aumento en la evaporación del agua. Por otro lado, las temperaturas máximas más bajas, alrededor de los 14°C, indicaron condiciones más frescas que habrían reducido la tasa de evaporación, esta variación en la temperatura máxima podría haber tenido un impacto significativo en el nivel del agua, ya que las temperaturas elevadas aceleran la evaporación y contribuye al descenso del nivel del lago.

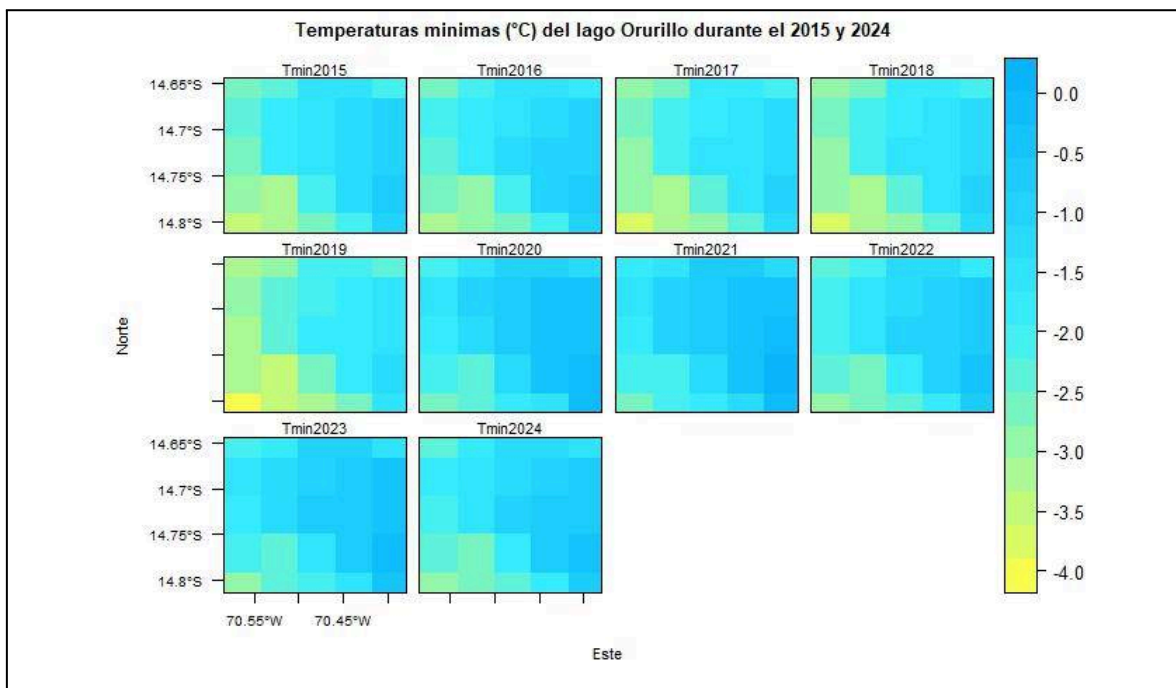


Figura 15: Mapa de temperaturas mínimas (°C) del del lago Orurillo durante el 2015 y 2024.

En la figura 15, se muestra el mapa entre el 2015 y 2024, se registraron variaciones en las temperaturas mínimas del lago Orurillo, lo que pudo haber influido en la reducción de su nivel de agua. Los valores de 0.0 °C corresponden a temperaturas mínimas más altas, lo que podría haber limitado la formación de hielo y, en consecuencia, reducido el impacto de la evaporación durante las noches más frías. Por otro lado, cuando las temperaturas

mínimas fueron más bajas, cerca de $-0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$, las condiciones frías podrían haber intensificado el enfriamiento del agua, lo que a su vez habría favorecido un aumento en la evaporación. Estas variaciones en las temperaturas mínimas probablemente jugaron un papel importante en la fluctuación del nivel de agua del lago durante este período.

Tabla 06: Estadística descriptiva de las temperaturas máximas y mínimas.

Var.	Media	Mediana	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	Coef. de asimetría	Curtosis
Tmax	17.4	17.5	1.20	15.7	18.91	-0.19	-1.79
Tmin	-1.20	-1.18	0.46	-1.91	-0.56	-0.06	-1.29

Nivel de confianza(95.0%)

En la tabla 06, se muestra el análisis descriptivo de las temperaturas máximas y mínimas del Lago Orurillo entre 2015 y 2024 muestra varios aspectos relevantes. Las temperaturas máximas (Tmax) presentan una media de $17.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una mediana de $17.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, con una desviación estándar de $1.20\text{ }^{\circ}\text{C}$, lo que refleja una variabilidad moderada en los datos. La temperatura más alta registrada fue de $18.91\text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que la más baja fue de $15.7\text{ }^{\circ}\text{C}$. El coeficiente de asimetría de -0.19 indica una leve tendencia hacia valores más bajos, mientras que la curtosis de -1.79 sugiere una distribución algo más plana que la normal. En cuanto a las temperaturas mínimas (Tmin), la media fue de $-1.20\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la mediana de $-1.18\text{ }^{\circ}\text{C}$, con una desviación estándar de $0.46\text{ }^{\circ}\text{C}$, lo que indica una menor dispersión en comparación con las temperaturas máximas. La temperatura mínima más baja registrada fue de $-1.91\text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que la más alta alcanzó los $-0.56\text{ }^{\circ}\text{C}$. El coeficiente de asimetría de -0.06 sugiere una distribución bastante equilibrada, y la curtosis de -1.29 indica una ligera tendencia a ser más plana. Con un nivel de confianza

del 95%, estos resultados apuntan a un aumento generalizado de las temperaturas, especialmente en las máximas, lo que podría haber acelerado el proceso de evaporación y el descenso del nivel de agua del lago de Orurillo.

Tabla 07: Prueba de normalidad ‘Shapiro-Wilk’ de las temperaturas.

Variables	Statistic	<i>p-values</i>
Tmax	0.894	0.189
Tmin	0.953	0.699

Nivel de confianza(95.0%)

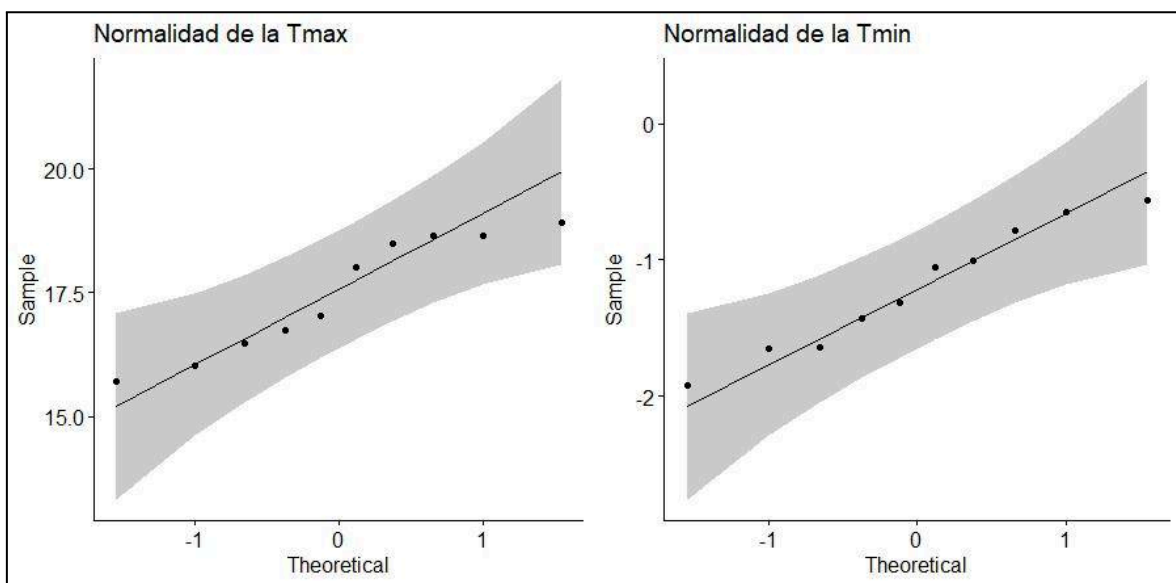


Figura 16: Prueba de normalidad ‘Shapiro-Wilk’ de las temperaturas.

En la tabla 07 y en la figura 16, se muestra la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk aplicada a las temperaturas máximas (Tmax) y mínimas (Tmin) del Lago Orurillo entre 2015 y 2024 arrojó los siguientes resultados: para las temperaturas máximas, el estadístico fue de 0.894 y el p-valor de 0.189, lo que indica que no se rechaza la hipótesis nula de normalidad, dado que el p-valor es superior a 0.05. Para las temperaturas mínimas, el estadístico fue de 0.953 y el p-valor de 0.699, lo que también sugiere que los

datos siguen una distribución normal. Como ambas variables presentan una distribución normal, es adecuado aplicar la prueba de correlación de Pearson, que se utiliza cuando los datos son normales y se busca evaluar la relación lineal entre dos variables cuantitativas.

4.3. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE INFLUENCIA DE LAS PRECIPITACIONES EN EL DESCENSO DEL NIVEL DE AGUA DEL LAGO ORURILLO PERIODO 2015 - 2024.

El estudio sobre la influencia de las precipitaciones en la disminución del nivel de agua del Lago Orurillo entre 2015 y 2024 se realizó utilizando los datos de precipitaciones obtenidos del satélite TerraClimate. Estos datos permitieron analizar cómo las fluctuaciones en las precipitaciones a lo largo de los años pudieron haber impactado el nivel hídrico del lago. Se observa que en los períodos con menor precipitación, el caudal de los ríos que alimentan el lago podría haberse reducido, contribuyendo a la disminución de su nivel de agua. Por otro lado, las precipitaciones más abundantes podrían haber atenuado el descenso del nivel del agua. No obstante, es posible que otros factores como la temperatura y la evaporación también hayan influido en el comportamiento del lago durante este periodo.

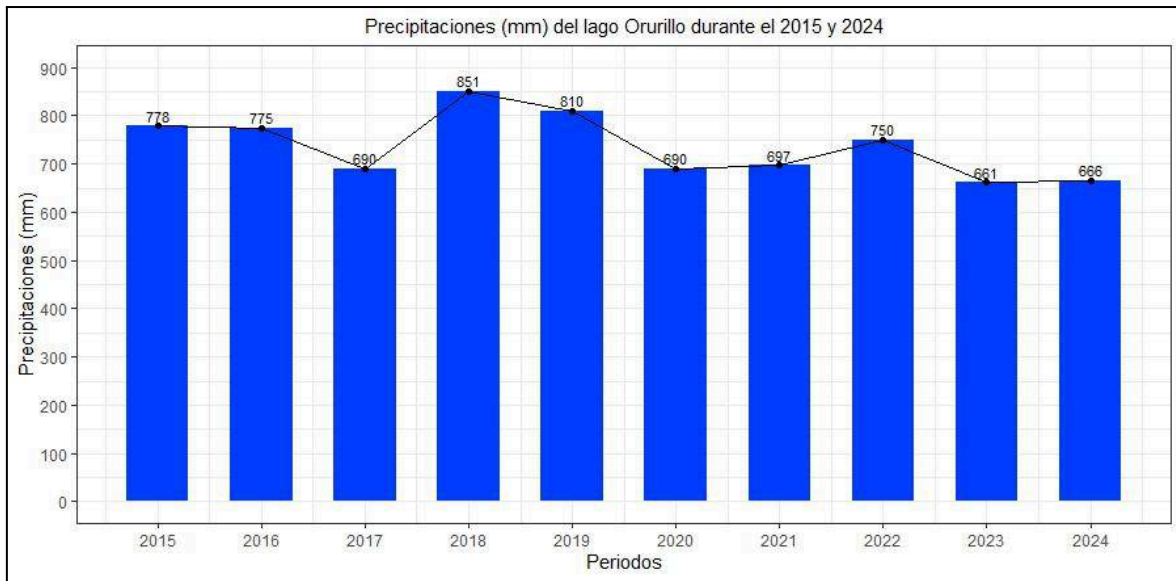


Figura 17: Precipitaciones (mm) del lago Orurillo durante el 2015 y 2024.

En la figura 17, se muestra que entre 2015 y 2024, se registró una caída en las precipitaciones que impactan al Lago Orurillo. En 2015, la cantidad de precipitación fue de 778 mm, mientras que en 2024 se redujo a 666 mm, lo que equivale a una disminución de 112 mm en este período. Esta caída en las precipitaciones podría haber influido en el descenso del nivel de agua del lago, ya que redujo la cantidad de agua que llega a través de los ríos y afluentes que lo alimentan. Esta variabilidad en las precipitaciones subraya el papel crucial que los cambios climáticos tienen en el comportamiento hídrico del lago a lo largo de los años. Coincide con **(Let lacza al, 2021)** en el Perú, análisis del cambio climático al 2050, las precipitaciones no mostraron variaciones significativas en los meses de sus valores extremos. En cuanto a los extremos climáticos, la Amazonía experimentará reducciones de precipitación de 30.2 y 51.2 mm durante las temporadas de avenida y estiaje, respectivamente; los Andes verán reducciones de 20 mm en la sierra norte oriental, y la costa norte tendrá incrementos de 19 mm en la temporada de avenida.

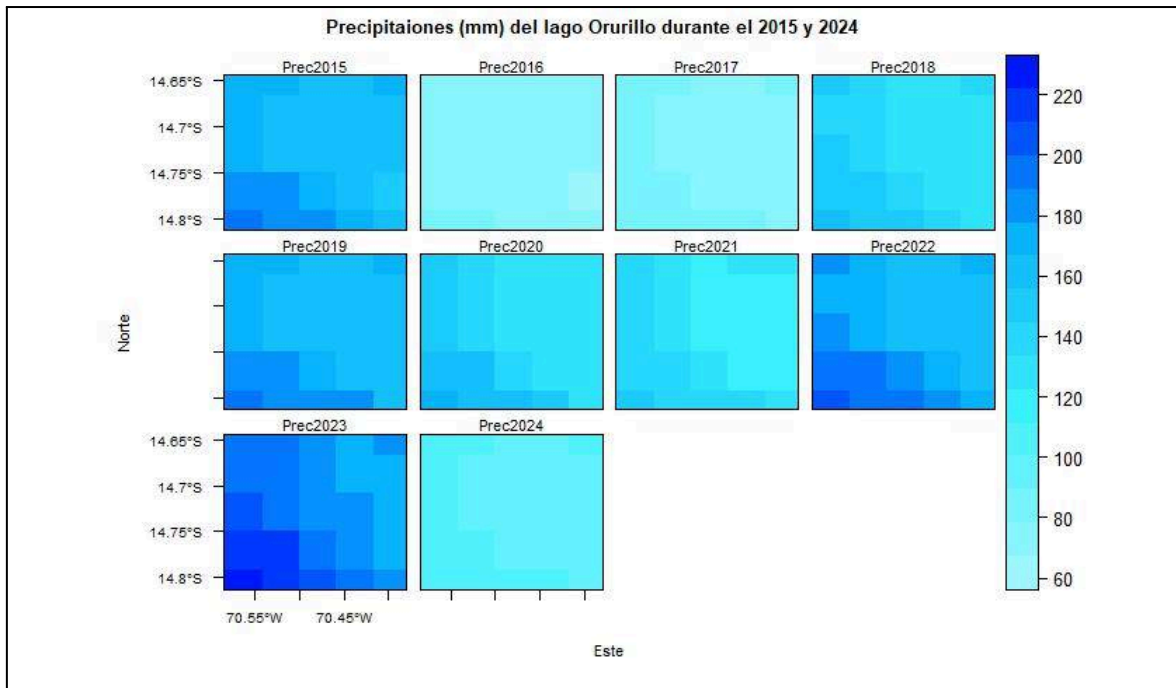


Figura 18: Mapa de precipitaciones (mm) del del lago Orurillo durante el 2015 y 2024.

En la figura 18, se muestra que entre 2015 y 2024, se observó una variabilidad en las precipitaciones que influyeron en el nivel de agua del Lago Orurillo, con valores que variaron entre precipitaciones elevadas y bajas. Las precipitaciones más abundantes, cercanas a 220 mm, pudieron haber favorecido una mayor recarga hídrica en el lago, mientras que las más reducidas, cerca de 60 mm, probablemente disminuyeron el suministro de agua al lago. Estas variaciones en las precipitaciones resaltan cómo los cambios en los patrones de lluvia afectan de manera significativa el nivel de agua, donde las lluvias intensas pueden ayudar a contrarrestar la disminución del nivel, mientras que las precipitaciones bajas aceleran la reducción del caudal que lo nutre.

Tabla 08: Estadística descriptiva de las precipitaciones.

Var.	Media	Mediana	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	Coef. de asimetría	Curtosis
Prec.	736.8	723.5	65.36	661	851	0.47	-1.06

Nivel de confianza(95.0%)

En la tabla 08, se muestra el análisis estadístico descriptivo de las precipitaciones en el Lago Orurillo durante el período 2015 y 2024 revela varios aspectos importantes. La media de las precipitaciones fue de 736.8 mm, mientras que la mediana se ubicó en 723.5 mm, lo que sugiere que la mayoría de los valores están cerca de la media. La desviación estándar de 65.36 mm refleja una variabilidad moderada en las precipitaciones a lo largo de los años. El valor más bajo registrado fue de 661 mm, mientras que el más alto alcanzó 851 mm. El coeficiente de asimetría de 0.47 indica que los valores más altos son ligeramente más frecuentes, y la curtosis de -1.06 señala que la distribución de los datos es menos pronunciada que la normal. Estos resultados, con un nivel de confianza del 95%, apuntan a una variabilidad moderada en las precipitaciones durante el periodo analizado.

Tabla 09: Prueba de normalidad ‘Shapiro-Wilk’ de las precipitaciones.

Variable	Statistic	p-values
Precipitación	0.917	0.334

Nivel de confianza(95.0%)

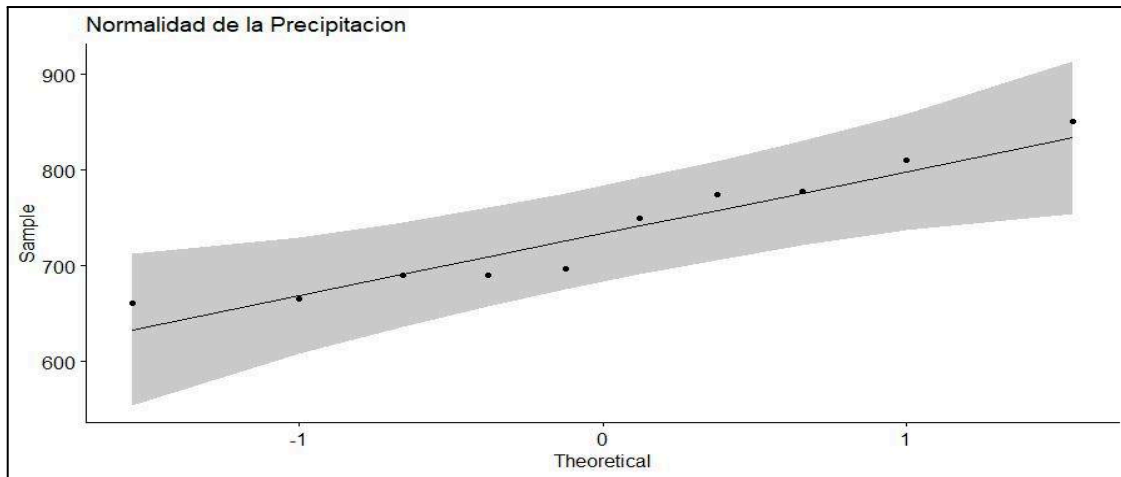


Figura 19: Prueba de normalidad ‘Shapiro-Wilk’ de las precipitaciones.

En la tabla 09 y en la figura 19, se muestra la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk realizada sobre las precipitaciones del Lago Orurillo entre 2015 y 2024 presenta un valor estadístico de 0.917 y un *p*-valor de 0.334. Como el *p*-valor es superior al umbral de significancia de 0.05, no se rechaza la hipótesis nula, lo que sugiere que los datos se ajustan a una distribución normal. Dado que las precipitaciones siguen una distribución normal, es apropiado aplicar la prueba de correlación de Pearson para evaluar la relación lineal entre dos variables cuantitativas.

4.4. PROCESO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS

Tabla 10: Correlación de Pearson de la variable independiente y dependiente.

Variables/pearson		Cobertura de agua	Tmax	Tmin	Prec
Cobertura de agua	R²	1	-0.69	-0.44	0.78
	P-values	< 2.2e-16	0.026	0.02	0.0073
Tmax	R²	-0.69	1	0.81	-0.6
	P-values	0.026	< 2.2e-16	0.0049	0.066
Tmin	R²	-0.44	0.81	1	-0.7
	P-values	0.02	0.0049	< 2.2e-16	0.024
Prec	R²	0.78	-0.6	-0.7	1
	P-values	0.0073	0.066	0.024	< 2.2e-16

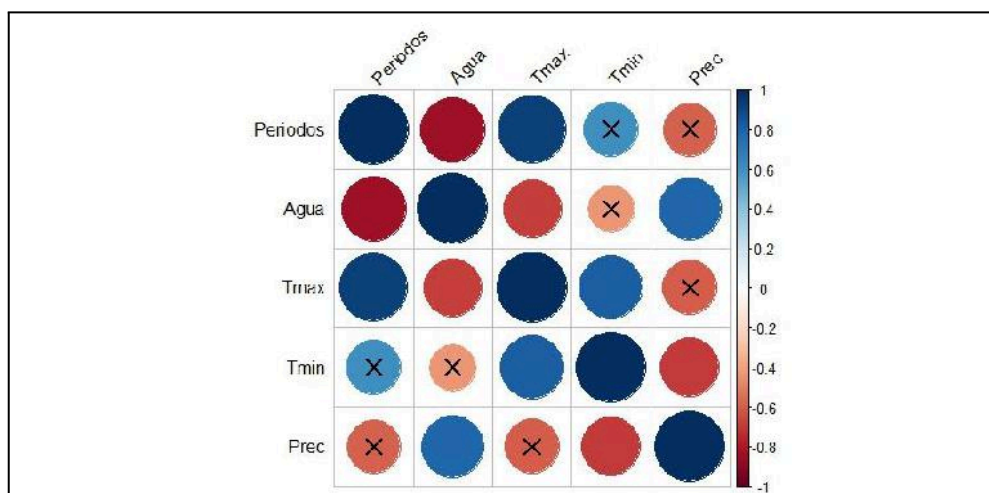


Figura 20: Correlograma de la variables en colores.

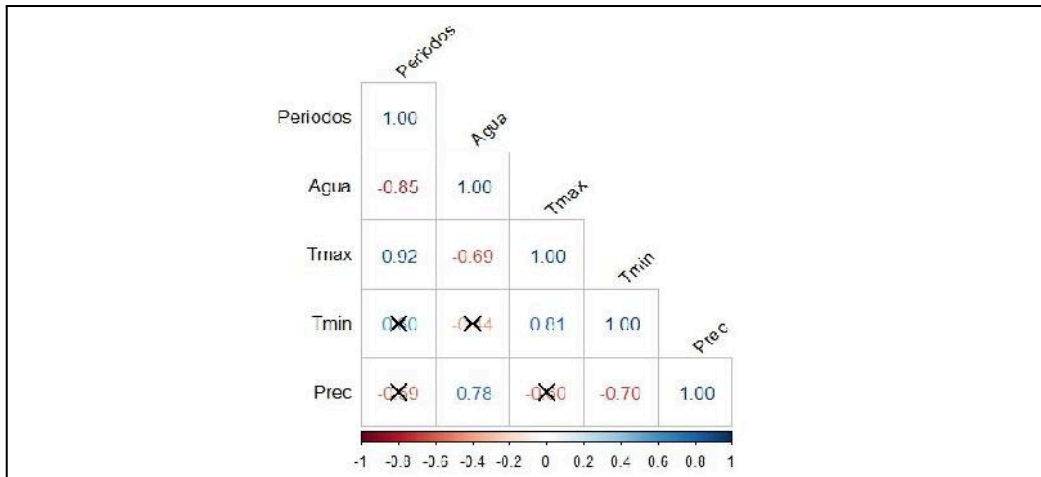


Figura 21: Correlograma de las variables en valores numéricos.

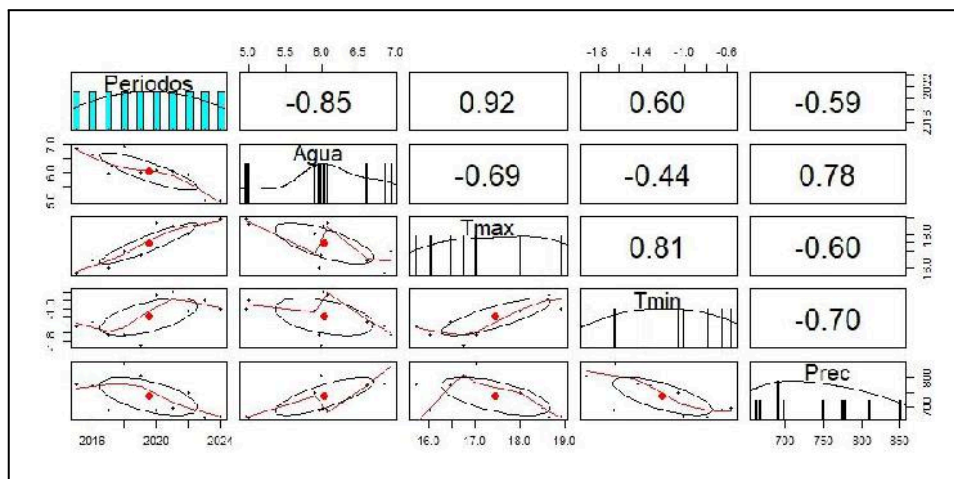


Figura 22: Regresión lineal de las variables.

4.4.1. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 01.

Formulación de la hipótesis:

Hipótesis alterna (HA) = El nivel del agua del lago Orurillo muestra una disminución en comparación con los períodos 2015-2024.

Hipótesis nula (Ho) = El nivel del agua del lago Orurillo muestra un aumento en comparación con los períodos 2015-2024.

Toma de Decisiones:

- Si el valor $p \leq \alpha$: Se rechaza la hipótesis nula (hay suficiente evidencia para aceptar la hipótesis alternativa).

- **Si el valor $p > \alpha$:** No se rechaza la hipótesis nula (no hay suficiente evidencia para aceptar la hipótesis alternativa).

Dónde: $\alpha = 0.05$ su nivel de significancia es al 95%.

Interpretación:

De acuerdo a la figura 22, se muestra el análisis que busca determinar si es posible observar el descenso del nivel de agua del lago Orurillo a través de imágenes satelitales entre 2015 y 2024. El coeficiente de correlación de Pearson resultó ser de -0.85, lo que sugiere una relación negativa significativa entre las variables, indicando que el nivel del agua ha disminuido en ese período. Además, el p-valor obtenido fue de 0.016, inferior al nivel de significancia de 0.05. Debido a que el p-valor está por debajo del umbral de 0.05, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_A), lo que implica que hay suficiente evidencia para concluir que el descenso del nivel de agua del lago Orurillo puede ser observado mediante imágenes satelitales en el periodo 2015 y 2024.

4.4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 02

Formulación de la hipótesis:

Hipótesis alterna (H_A) = La temperatura influye en el descenso del nivel de agua del lago Orurillo periodo 2015 - 2024.

Hipótesis nula (H_0) = La temperatura no influye en el descenso del nivel de agua del lago Orurillo periodo 2015 - 2024.

Toma de Decisiones:

- **Si el valor $p \leq \alpha$:** Se rechaza la hipótesis nula (hay suficiente evidencia para aceptar la hipótesis alternativa).
- **Si el valor $p > \alpha$:** No se rechaza la hipótesis nula (no hay suficiente evidencia para aceptar la hipótesis alternativa).

Dónde: $\alpha = 0.05$ su nivel de significancia es al 95%.

Interpretación:

De acuerdo en la tabla 10 y en la figura 22, se muestra la relación entre la temperatura y el descenso del nivel de agua del lago Orurillo durante el periodo de 2015 a 2024. El coeficiente de correlación de Pearson para las temperaturas máximas fue de -0.69, lo que sugiere una moderada relación negativa entre las temperaturas y el nivel de agua, indicando que, a medida que las temperaturas aumentan, el nivel del agua tiende a reducirse. Además, el *p*-valor obtenido fue de 0.026, lo cual es inferior al umbral de significancia de 0.05. Debido a que el *p*-valor es menor que 0.05, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_A). Esto implica que hay suficiente evidencia para afirmar que la temperatura tiene un impacto significativo en el descenso del nivel de agua del lago Orurillo durante el periodo analizado.

qa4.4.3. Prueba de hipótesis para el objetivo específico 03

Formulación de la hipótesis:

Hipótesis alterna (H_A) = Las precipitaciones influyen en el descenso de nivel de agua del lago Orurillo periodo 2015 - 2024.

Hipótesis nula (H_0) = Las precipitaciones no influyen en el descenso de nivel de agua del lago Orurillo periodo 2015 - 2024.

Toma de Decisiones:

- **Si el valor $p \leq \alpha$:** Se rechaza la hipótesis nula (hay suficiente evidencia para aceptar la hipótesis alternativa).
- **Si el valor $p > \alpha$:** No se rechaza la hipótesis nula (no hay suficiente evidencia para aceptar la hipótesis alternativa).

Dónde: $\alpha = 0.05$ su nivel de significancia es al 95%.

Interpretación:

De acuerdo en la tabla 10 y en la figura 22, se muestra la influencia de las precipitaciones en el descenso del nivel de agua del lago Orurillo entre 2015 y 2024. El valor de R^2 para las precipitaciones fue de 0.78, lo que sugiere una relación positiva fuerte entre las

precipitaciones y el nivel de agua, indicando que las precipitaciones afectan de manera significativa al nivel del agua. Además, el p-valor obtenido fue de 0.0073, lo cual es inferior al umbral de significancia de 0.05. Dado que el p-valor es menor que 0.05, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_A), lo que implica que existe evidencia suficiente para afirmar que las precipitaciones tienen un impacto considerable en el descenso del nivel de agua del lago Orurillo durante el periodo estudiado.

CONCLUSIONES

PRIMERA: La relación del nivel de agua del lago Orurillo y el cambio climático durante el periodo de 2015 al 2024, las alteraciones en los patrones climáticos han impactado notablemente en el descenso del nivel de agua del lago Orurillo, por el aumento de las temperaturas y la reducción de las precipitaciones pluviales, evidenciando un retroceso del nivel de agua del lago Orurillo.

SEGUNDA: El nivel de agua del lago Orurillo utilizando el índice de agua de diferencia normalizada (NDWI) durante el periodo de 2015 al 2024, expresa un coeficiente de determinación de Pearson (r^2) de -0.85 cuyo valor negativo indica una débil relación inversa entre las fluctuaciones del NDWI y el tiempo indicando que a lo largo del periodo el nivel de agua del lago Orurillo ha disminuido en lugar de incrementar.

TERCERA: La temperatura influyeron en el descenso del nivel de agua del lago Orurillo, durante el periodo 2015 a 2024, respaldado por el coeficiente de determinación (r^2) de -0.69 cuyo valor negativo indica una relación inversa y alta entre las variaciones de la temperatura y el nivel de agua del lago Orurillo indicando que a medida que las temperaturas aumentan el nivel de agua del lago Orurillo tiende a disminuir.

CUARTA: Las precipitaciones influyeron en el descenso del nivel de agua del lago Orurillo, durante el periodo 2015 - 2024, respaldado que el coeficiente de determinación (r^2) es de 0.78 cuyo valor positivo expresa una relación alta y directa entre las precipitaciones y el nivel de agua del lago Orurillo indicando una disminución de las precipitaciones lo cual influye en el descenso del nivel de agua del lago Orurillo.

RECOMENDACIONES

PRIMERA: Dado que el aumento de las temperaturas y la disminución de las precipitaciones han afectado negativamente el nivel de agua del lago Orurillo, se sugiere implementar estrategias de adaptación al cambio climático. Esto debe incluir el monitoreo continuo de las condiciones climáticas y la adopción de políticas orientadas a la conservación de los recursos hídricos. Además, es crucial fomentar la educación ambiental para sensibilizar a la población sobre la importancia de mitigar el impacto del cambio climático en las fuentes de agua.

SEGUNDA: El análisis del índice NDWI ha revelado una relación inversa entre sus fluctuaciones y el nivel de agua del lago Orurillo. Por ello, se recomienda mejorar las herramientas de monitoreo remoto para obtener datos más precisos sobre el comportamiento del agua. También es esencial colaborar con entidades científicas y tecnológicas para prever cambios en los niveles de agua mediante el uso de tecnologías avanzadas que optimicen la gestión de este recurso.

TERCERA: La relación inversa observada entre las variaciones de temperatura y el nivel de agua del lago Orurillo indica que el aumento de las temperaturas contribuye al descenso de este nivel. Para mitigar este efecto, se recomienda reforzar los programas de gestión térmica en las áreas cercanas al lago, promoviendo la vegetación local para absorber calor y desarrollando infraestructuras que faciliten la retención de agua en la cuenca.

CUARTA: Debido a la disminución de las precipitaciones, que ha afectado el nivel de agua del lago Orurillo, es crucial fomentar la captación de agua de lluvia y la construcción de sistemas de almacenamiento para aumentar la resiliencia del lago frente a la escasez de agua. Asimismo, se sugiere ejecutar proyectos de reforestación en las cuencas hidrográficas cercanas, lo que mejorará la absorción de agua en el suelo y reducirá la evaporación, contribuyendo a la estabilidad del nivel del agua a largo plazo.

BIBLIOGRAFÍA

- Arteaga, L., & Burbano, J. (2018, 12 15). *Efectos del cambio climático: Una mirada al Campo*. SciELO Colombia. Retrieved July 27, 2024, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-01352018000200079&script=sci_arttext
- Basadre, J. (2020, June 26). *Derivados financieros y los efectos del fenómeno El Niño en la rentabilidad de las empresas pesqueras y agroindustriales peruanas | Economía & Negocios*. portal de revistas unjbg. Retrieved July 27, 2024, from <https://revistas.unjbg.edu.pe/index.php/eyn/article/view/904>
- Blanco, L., & Hartinger, S. (2023, June 15). *Impacto del cambio climático en la salud de los peruanos: desafíos y estrategias para una respuesta integral* *Impacto del cambio climático en la salud de los peruanos: desafíos y estrategias para una respuesta integral*. SciELO - Saúde Pública. Retrieved July 27, 2024, from <https://www.scielosp.org/article/rpmesp/2023.v40n2/130-131/es/>
- Bulege, W. (2020, 05 27). *Cambio climático y retroceso glaciar en la Cordillera Huaytapallana, Perú*. SciELO México. Retrieved July 27, 2024, from https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-24222020000200229&script=sci_arttext
- Cabrera, P. (2023, June 14). *Nueva organización de los diseños de investigación*. South American Research Journal. Retrieved July 27, 2024, from <https://www.sa-rj.net/index.php/sarj/article/view/37>
- Caira, C., Lopez, C., & Carhuarupay, Y. (2021, 08 31). *Efecto de la temperatura y precipitación sobre la agricultura en la cuenca Coata-Puno, Perú*. SciELO Bolivia. Retrieved July 27, 2024, from http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2664-09022021000200285&script=sci_arttext

- Castillo, B. (2022, 12 15). *Aplicación de métodos geoestadísticos en el modelado espacio-temporal de los niveles de agua subterránea del acuífero Valle de Sébaco*, Nicaragua.
https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2215-38962022000200194
- Castro, S., Barrera, A., & González, A. (2021, September 7). *Contaminación y microplásticos en ecosistemas acuáticos | JÓVENES EN LA CIENCIA*. JÓVENES EN LA CIENCIA. Retrieved July 27, 2024, from <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/3311>
- Ccallata, K. (2021). *Retroceso de la cobertura glaciar del nevado Salluyo de la cordillera Apolobamba y la influencia de los elementos climáticos, en el período 1985-2020*. Repositorio de la Universidad César Vallejo.
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/60169>
- Contreras, E., & Gonzalez, M. (2021, 09 01). *Bivalvos, organismos modelo en el biomonitoreo del riesgo ecotoxicológico de los antiinflamatorios no esteroideos (AINE) para los ecosistemas acuáticos | Ecosistemas*. Revista Ecosistemas. Retrieved July 27, 2024, from <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/2167>
- Coral, M. (2024, March 12). *Repositorio Digital Universidad Técnica del Norte: Análisis comparativo de la batimetría y morfometría de los lagos puruhanta, el voladero y el salado de las provincias de Imbabura y Carchi*. Repositorio UTN. Retrieved July 27, 2024, from <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/15781>
- Correa, J., López, A., & Dorta, P. (2023, March 15). *La percepción del cambio climático en espacios insulares: el caso de Tenerife | Boletín de la Asociación de Geógrafos*

- Españoles*. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles. Retrieved July 27, 2024, from <https://bage.age-geografia.es/ojs/index.php/bage/article/view/3342>
- Dolores, A. (2023, 09 20). *Análisis del rendimiento y consumo de agua del arroz (Oryza sativa L.) cultivado con la tecnología Alternate Wetting and Drying*. DSpace Principal. Retrieved July 27, 2024, from <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/5968>
- Fernández, A., & Abimelec, J. (2020, 08 15). *Repositorio Bibliotecas UdeC: Variaciones superficiales de los glaciares de la Sierra Nevada entre los años 1973-2020 mediante imágenes satelitales*. Repositorio UdeC. Retrieved July 27, 2024, from <http://repositorio.udec.cl/handle/11594/4766>
- Fierro, S. (2023, June 6). *Repositorio Digital Universidad Técnica del Norte: Diversidad de las macrófitas en el lago eutrófico Yahuarcocha a través de la técnica de ADN ambiental*. Repositorio UTN. Retrieved July 27, 2024, from <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/13979>
- Flores, A. (2024, 09 03). El cambio climático y la gestión del agua dulce para consumo humano. Situación legal de las provincias de Buenos Aires y Córdoba, Argentina | Flores | LEX - REVISTA DE LA FACULTAD DE DERECHO Y CIENCIAS POLÍTICAS. Retrieved July 27, 2024, from <https://revistas.uap.edu.pe/ojs/index.php/LEX/article/view/2639>
- Harris, J., Revecó, C., & Guerra, F. (2023, 08 02). *Gobernanza climática y respuestas locales al cambio climático*. Retrieved July 27, 2024, from <https://bibliotecadigital.ciren.cl/items/c8cdeb1-5a58-4b64-b6e8-0b3b67a34b12>
- Jiménez, M., Gutiérrez, F., & Celi, J. (2018, 08 10). *Modelado y Predicción del Fenómeno El Niño en Piura, Perú mediante Redes Neuronales Artificiales usando Matlab*. SciELO Chile. Retrieved July 27, 2024, from

https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642018000400303&script=sci_arttext

Laffeuillade, L., Gastón, F., & Geraldi, A. (2020, May 22). *Modelo de localización óptima de balnearios mediante análisis espacial en la provincia de Buenos Aires. República Argentina | Cuadernos Geográficos*. Revistas de la Universidad de Granada. Retrieved July 27, 2024, from <https://revistaseug.ugr.es/index.php/cuadgeo/article/view/9810>

León, R., Portuguez, D., & Chávarri, E. (2019, 09 15). *Modelación de la disponibilidad hídrica del río Piura - Perú, considerando la incidencia del cambio climático*. SciELO. Retrieved July 27, 2024, from http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2313-29572019000300004&script=sci_arttext

Llacza, A., Acuña, D., & Jácome, G. (2021). *Escenarios climáticos al 2050 en el Perú: Cambios en el clima promedio*. Repositorio Institucional SENAMHI. <https://hdl.handle.net/20.500.12542/1470>

Lopez, J. (2023). *Impactos de la minería en el retroceso glaciar en La Rinconada, Cordillera Apolobamba, sur del Perú*. Repositorio de Tesis PUCP. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/26723>

Marcillo, M., & Muñiz, J. (2023, April 11). *El turismo sostenible y su impacto sociocultural en la comuna agua dulce, Jipijapa-Manabí-Ecuador*. Dominio de las Ciencias. Retrieved July 27, 2024, from <https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/3321>

Maza, J., & Reyes, J. (2019, June 18). *Análisis del comportamiento hidráulico del Río Piura, en el tramo Los Ejidos - Puente Independencia*. Repositorio institucional PIRHUA. Retrieved July 27, 2024, from <https://pirhua.udep.edu.pe/items/183b3fe5-b2e4-487f-a63a-bee4d88ec554>

Silval, R. (2019, 02 15). Análisis del descenso del nivel de agua del Lago Alchichica, Puebla, México. *Universidad Nacional Autónoma de México*, 1 recurso en línea (119 páginas). <https://hdl.handle.net/20.500.14330/TES01000789822>

Turpo, E. (2024, 02 15). *Modelado de la dinámica espacial de ambientes con glaciares tropicales basado en autómatas celulares*. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/6623><https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/6623>

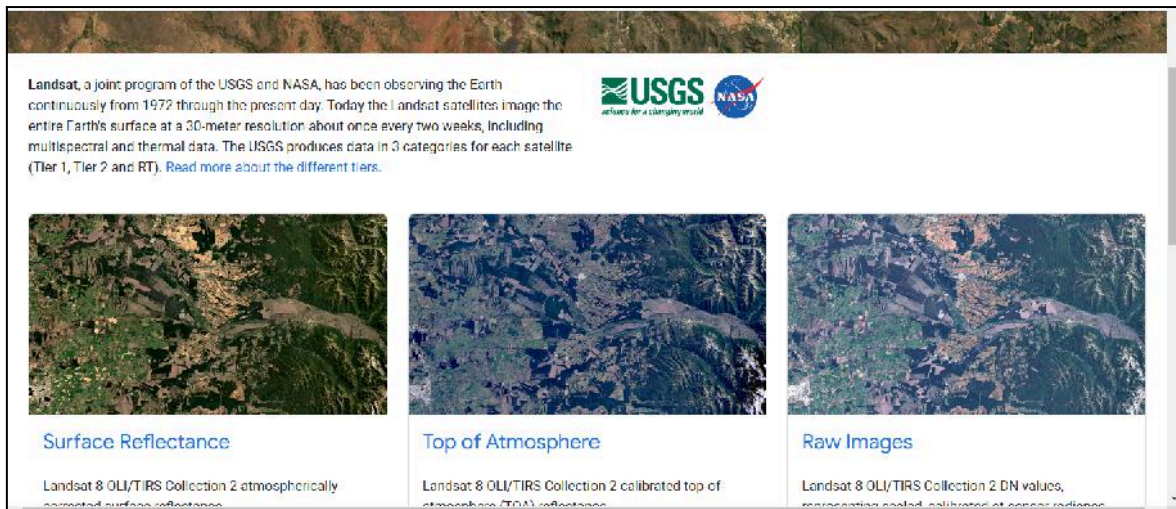
ANEXO

Anexo 01: Matriz de consistencia.

"Descenso de nivel de agua del lago Orurillo mediante imágenes satelitales causado por el cambio climático en la provincia de Melgar, Puno, periodo 2015 - 2024."

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	TÉCNICA DE PROCESAMIENTO DE DATOS
<p>PROBLEMA GENERAL ¿Cuanto es el descenso de nivel de agua del lago Orurillo mediante imágenes satelitales causado por el cambio climático en la provincia de Melgar, Puno, periodo 2015 - 2024?</p> <p>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> ¿Cuanto es el descenso de nivel de agua del lago Orurillo mediante imágenes satelitales periodo 2015 - 2024? ¿De qué manera la temperatura influye en el descenso de nivel de agua del lago Orurillo periodo 2015 - 2024? ¿De qué manera las precipitaciones influyen en el descenso de nivel de agua del lago Orurillo periodo 2015 - 2024? 	<p>OBJETIVO GENERAL Evaluar el descenso de nivel de agua del lago Orurillo mediante imágenes satelitales causado por el cambio climático en la provincia de Melgar, Puno, periodo 2015 - 2024.</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> Estimar el descenso de nivel de agua del lago Orurillo mediante imágenes satelitales. Determinar la influencia de la temperatura en el descenso del nivel de agua del lago Orurillo periodo 2015 - 2024. Determinar la influencia de las precipitaciones en el descenso del nivel de agua del lago Orurillo periodo 2015 - 2024. 	<p>HIPÓTESIS GENERAL El cambio climático influye en el descenso de nivel de agua del lago Orurillo detectado mediante imágenes satelitales en la provincia de Melgar, Puno, periodo 2015 - 2024.</p> <p>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</p> <ul style="list-style-type: none"> El nivel de agua del lago Orurillo muestra una disminución en comparación con los periodos 2015-2024. La temperatura influye en el descenso del nivel de agua del lago Orurillo periodo 2015 - 2024. Las precipitaciones influyen en el descenso de nivel de agua del lago Orurillo periodo 2015 - 2024. 	<p>VARIABLES</p> <p>Variable Independiente: Cambio climático</p> <p>Variable Dependiente: Descenso del nivel de agua del lago Orurillo.</p>	<p>Temperaturas</p> <ul style="list-style-type: none"> Máximas (°C) Mínimas (°C) Mensual (°C) Anual (°C) <p>Precipitación</p> <ul style="list-style-type: none"> Mensual(m) Anual (mm) <p>Área</p> <ul style="list-style-type: none"> Km² Ha % 	<p>Softwares</p> <p>R-Studio (v4.3.1)</p> <p>Software QGIS (v3.26.17)</p> <p>Senamhi: Información climática desde el año 2015 y 2024</p>	<p>Información de las imágenes satelitales Landsat-8</p> <p>Tipo de Investigación</p> <ul style="list-style-type: none"> Descriptivo y correlacional. -Aplicada enfoque cuantitativo. <p>Diseño de Investigación</p> <ul style="list-style-type: none"> No Experimental <p>Método</p> <ul style="list-style-type: none"> Deductivo Inductivo.

Anexo 02: Conexión a la plataforma Google Earth Engine mediante Python en Jupyter.



```

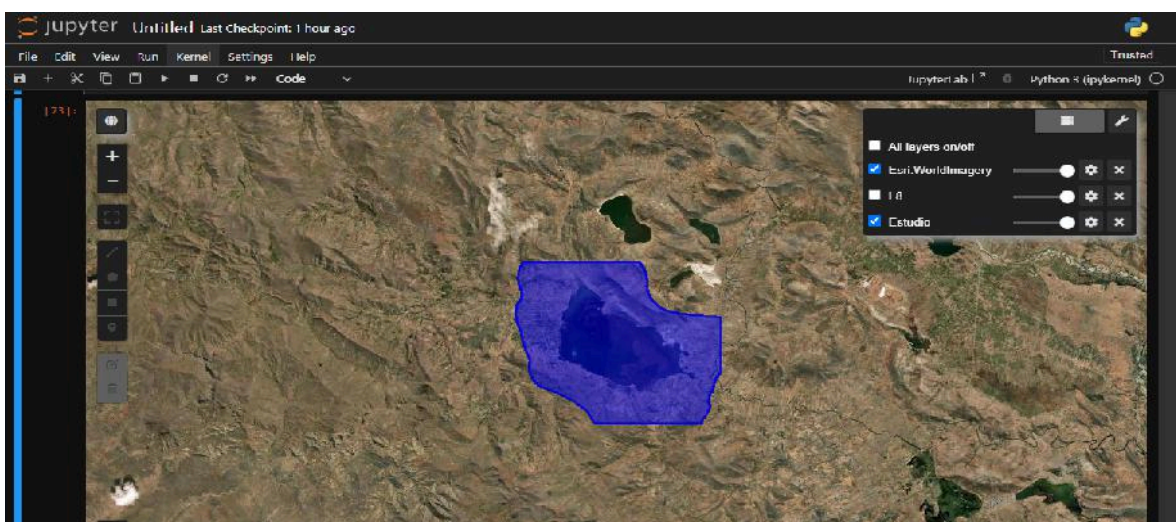
Jupyter Untitled Last checkpoint: 1 hour ago
File Edit View Run Kernel Settings Help
JupyterLab Python 3 (ipykernel)

[1]: # Cargar las librerías
import ee
import geemap
import os
ee.Initialize()

[5]: # Cargar mapa base
Map = geemap.Map(basemap = 'Esri.WorldImagery')
#Map

[32]: # Cargar aareade estudio
shp = r'D:\api\Nieve\inputs\Area_estudio\Agua2.shp'
ee_shp = geemap.shp_to_ee(shp)
geom = ee_shp.geometry()

[34]: # Visualizar area de estudio
Map.centerObject(ee_shp, 12)
Map.addLayer(ee_shp, {'color': 'blue'}, 'Estudio')
Map
    
```



Anexo 03: Descarga de imágenes satelitales Landsat 8, mediante Python.

```
Jupyter Untitled Last Checkpoint: 1 hour ago
File Edit View Run Kernel Settings Help Trusted
JupyterLab Python 3 (ipykernel)

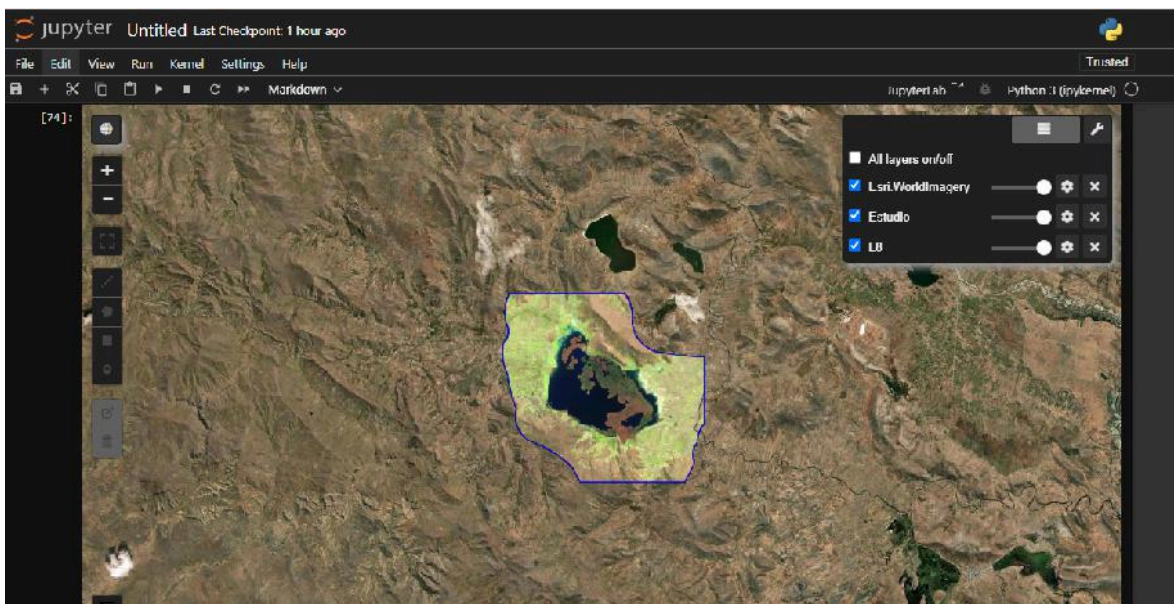
Imágenes satelitales LandSat-8

[70]: L8 = ee.ImageCollection("LANDSAT/LC08/C02/T1_TOA")\
      .filterDate('2024-01-01','2024-12-31')\
      .filterBounds(geom)\
      .select("B1","B2","B3","B4","B5","B6","B7")\
      .filterMetadata("CLOUD_COVER",'less_than',10)

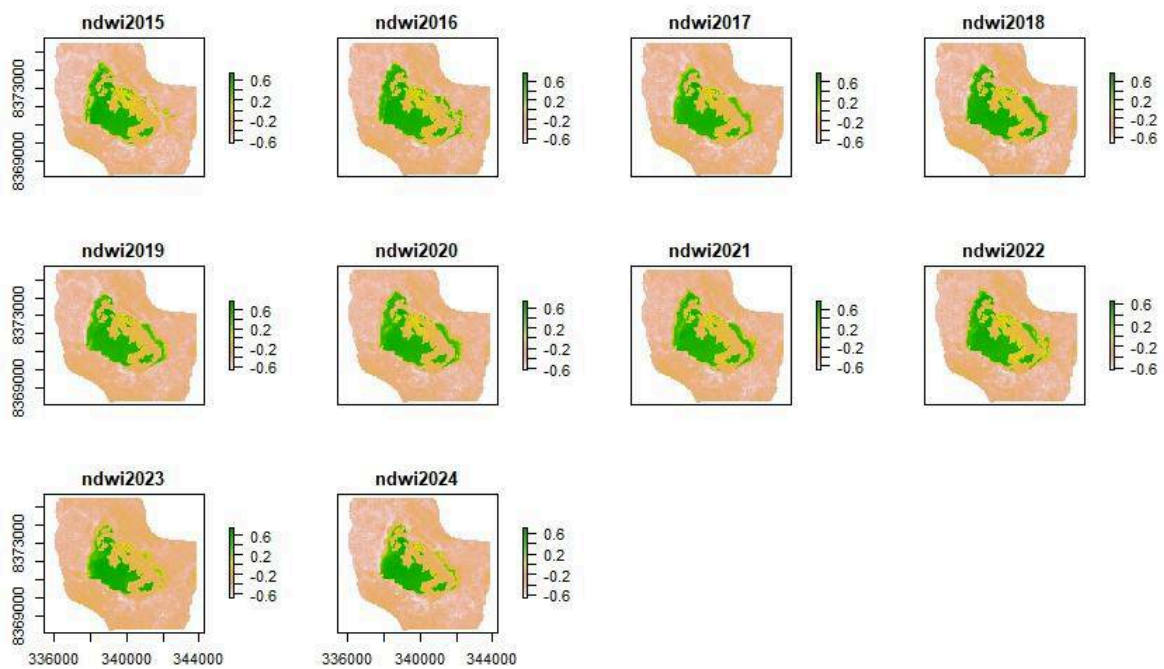
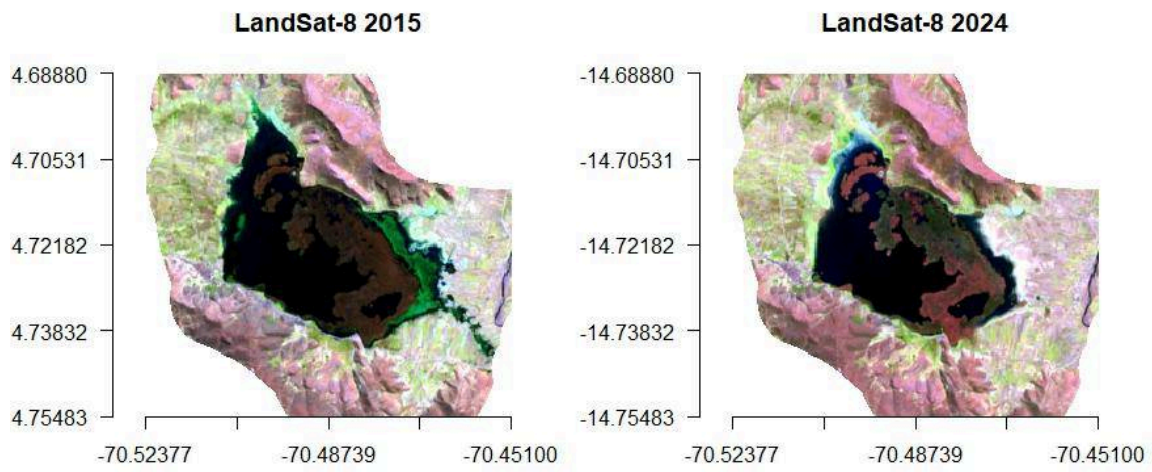
# Filtrar al estudio
fill = ee.Image(L8.median())
clip8 = fill.clip(geom)

# Diccionario
vis = {
  'bands':['B6','B5','B4'],
  'min':0,
  'max':0.5,
  'gamma':1.5
}

# Imagen satelital
Map.centerObject(ee_shp,12)
Map.addLayer(ee_shp,{'color':'blue'},'Estudio')
Map.addLayer(clip8, vis, 'L8')
Map
```



Anexo 04: Procesamiento de las imágenes satelitales mediante R.



Anexo 05: Resultado de estadísticas mediante R.

```
> df %>%
+ shapiro_test(Agua)
# A tibble: 1 × 3
  variable statistic      p
  <chr>          <dbl> <dbl>
1 Agua           0.898 0.206
> df %>%
+ shapiro_test(Tmax)
# A tibble: 1 × 3
  variable statistic      p
  <chr>          <dbl> <dbl>
1 Tmax           0.894 0.189
> df %>%
+ shapiro_test(Tmin)
# A tibble: 1 × 3
  variable statistic      p
  <chr>          <dbl> <dbl>
1 Tmin           0.953 0.699
> df %>%
+ shapiro_test(Prec)
# A tibble: 1 × 3
  variable statistic      p
  <chr>          <dbl> <dbl>
1 Prec           0.917 0.334
> |
```

```
> mat
# A tibble: 5 × 6
  rowname Periodos Agua Tmax Tmin Prec
* <chr>      <dbl> <dbl> <dbl> <dbl> <dbl>
1 Periodos    1 -0.85 0.92 0.6 -0.59
2 Agua      -0.85 1 -0.69 -0.44 0.78
3 Tmax       0.92 -0.69 1 0.81 -0.6
4 Tmin       0.6 -0.44 0.81 1 -0.7
5 Prec      -0.59 0.78 -0.6 -0.7 1
> rstatix::cor_mark_significant(mat)
  rowname Periodos Agua Tmax Tmin Prec
1 Periodos
2 Agua -0.85**
3 Tmax 0.92*** -0.69*
4 Tmin 0.6 -0.44 0.81**
5 Prec -0.59 0.78** -0.6 -0.7*
> |
```

Anexo 06: Panel fotográfico.





