

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

RETROCESO DE LA COBERTURA GLACIAR DEL NEVADO ANANEA

CORDILLERA APOLOBAMBA POR INFLUENCIA DE ELEMENTOS

CLIMÁTICOS, PERÍODO 2015 - 2023.

PRESENTADA POR:

BRAYHAN DEYVIS DEZA VELASQUEZ

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PUNO - PERÚ

2024



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/)



9.19%

SIMILARITY OVERALL

SCANNED ON: 6 MAR 2024, 1:58 PM

Similarity report

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

IDENTICAL 0.95%
CHANGED TEXT 8.24%

Report #19916797

BRAYHANDEYVIS DEZA VELASQUEZ RETROCESO DE LA COBERTURA GLACIAR DEL NEVADO ANANEA CORDILLERA APOLOBAMBA POR INFLUENCIA DE ELEMENTOS CLIMÁTICOS, PERÍODO 2015 - 2023. RESUMEN El retroceso glaciar es uno de los signos del cambio climático. La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el retroceso de la cobertura glaciar del nevado Ananea de la cordillera Apolobamba causado por la influencia de los elementos climáticos, período 2015 - 2023, se evaluaron mediante los softwares de R-Studio (v4.3.1) y QGis (v3.26.17). Los materiales utilizados fueron las fotografías aéreas de Landsat 8 de colección 1 y Nivel 2, las fotografías fueron obtenidas de la plataforma geomática Google Earth Engine (GEE) corregidas de valores digitales a reflectancia (TOA). Para calcular la cantidad de cubierta de nieve se utilizó el índice diferencial normalizado de la cubierta de nieve (NDSI>0,4), sugerido por Dozier. Los resultados obtenidos indican un retroceso de la cobertura glaciar, en el año 2015 presentaba 25.11 km², y en el año 2023 llegó a 16.43 km², durante los 9 años de estudios el nevado Ananea tuvo una variación de -8.68 km² y una tasa de cambio de -34.56%, mediante el análisis estadístico de Pearson, existe una correlación negativa $r = -0.91$ respecto a los años, correlación negativa considerable $r = -0.88$ y -0.8 ; entre las variables de temperatura máxima, mínima y una correlación positiva considerable $r = 0,87$ de la precipitación acumulada, también los valores de - p (bilateral) fueron

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL TESIS

RETROCESO DE LA COBERTURA GLACIAR DEL NEVADO ANANEA
CORDILLERA APOLOBAMBA POR INFLUENCIA DE ELEMENTOS
CLIMÁTICOS, PERÍODO 2015 - 2023.

PRESENTADA POR:

BRAYHAN DEYVIS DEZA VELASQUEZ

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

: 

Dr. ANGEL AMADOR MELENDEZ HUISA

PRIMER MIEMBRO

: 

Mg. JULIO WILFREDO CANO OJEDA

SEGUNDO MIEMBRO

: 

M.Sc. JOSE ELADIO NUÑEZ QUIROGA

ASESOR DE TESIS

: 

Mg. ELVIRA ANANI DURAND GOYZUETA

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub Área: Ingeniería Ambiental

Líneas De Investigación: Sensores remotos.

Puno, 14 de marzo del 2024.

DEDICATORIA

A Dios que ha sido mi guía, fuerza y su mano de fidelidad y amor ha estado conmigo para cumplir mis metas y objetivos educativos, que con su bendición llena constantemente mi existencia, y a todo mi círculo familiar por estar siempre presentes.

A mis padres que con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido cumplir un sueño más, por inculcarme el ejemplo de valores éticos, responsabilidad y respeto.

Por último, me gustaría dedicar esta tesis a todos mis amigos, por ayudarme cuando más lo necesitaba, por tenderme la mano en los momentos más difíciles de mi vida profesional y por el incentivo que me dieron. Los llevaré siempre en mi corazón y mente.

Brayhan Deyvis, Deza Velasquez

AGRADECIMIENTOS

- A mi **Universidad Privada San Carlos - Puno**, por brindarme una formación profesional de alto nivel para el desarrollo de mi región de Puno.
- De igual manera mis agradecimientos a toda la **Facultad de Ingeniería Ambiental**, a mis profesores quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional, gracias a cada uno de vosotros por vuestra mansedumbre, fuerza de voluntad, ayuda incondicional y amistad.
- A mis padres por su apoyo incondicional.
- A mi Asesor: **Mg. Elvira Anani, Durand Goyzueta**, quien con su dirección, conocimientos, enseñanza y colaboración, permitió el perfeccionamiento de este trabajo de Investigación.
- Por último, a todos los miembros del jurado por la verificación, revisión para el perfeccionamiento de mi investigación.

Brayhan Deyvis, Deza Velasquez

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
INDICE DE ANEXOS	9
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN	12

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.1.1 Problema General	15
1.1.2 Problemas específicos	15
1.2. ANTECEDENTES	15
1.2.1. Antecedentes internacionales	15
1.2.2. Antecedentes nacionales	17
1.2.3. Antecedentes locales	19
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	19
1.3.1. Objetivo general	19
1.3.2. Objetivos específicos	20

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO	21
2.1.1. La desglaciación	21
2.1.2. Observación Remota	22
2.1.3. Resolución Espacial	23
2.1.4. El Espectro Electromagnético	23
2.1.5. Imágenes Satelitales	24
2.1.5.1. Pre procesamiento de imágenes satelitales	24
2.1.5.2. ND (Niveles digitales)	24
2.1.5.3. Correcciones geométricas o georreferenciación	25
2.1.5.4. Correcciones atmosféricas	26
2.1.6. Cambio Climático y los glaciares	26
2.2. MARCO CONCEPTUAL	27
2.3. MARCO TEÓRICO NORMATIVO	28
2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	30
2.4.1. Hipótesis general	30
2.4.2. Hipótesis específicas	30

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO	31
3.2. TAMAÑO DE MUESTRA	32
3.2.1 Población	32
3.2.2 Muestra	32
3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS	32
3.3.1 Métodos	32

3.3.2 Materiales	33
3.4. METODOLOGÍA POR OBJETIVOS ESPECÍFICOS	33
3.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	36
3.6. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO	37
CAPÍTULO IV	
EXPOSICION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS	
4.1. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LA ESTIMACIÓN DEL ÁREA DEL RETROCESO DE LA COBERTURA GLACIAR DEL NEVADO ANANEA ENTRE EL 2015 - 2023.	40
4.2. EXPOSICIÓN Y ANALISIS DE DETERMINACION DE LA INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL RETROCESO DE LA COBERTURA GLACIAR DEL NEVADO ANANEA ENTRE EL 2015 - 2023.	47
4.3. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LA DETERMINACIÓN DE INFLUENCIA DE LAS PRECIPITACIÓN EN EL RETROCESO DE LA COBERTURA GLACIAR DEL NEVADO ANANEA ENTRE EL 2015 - 2023.	51
4.4. PROCESO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS	55
4.4.1. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 1.	56
4.4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 2.	56
4.4.3. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 3.	57
CONCLUSIONES	60
RECOMENDACIONES	62
BIBLIOGRAFÍA	63
ANEXOS	69

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 01: Ubicación geopolítica del nevado Ananea.	32
Tabla 02: Resolución espectral de las bandas del satélite Landsat-8.	34
Tabla 03: Operacionalidad de Variables.	37
Tabla 04. Grado de correlación.	38
Tabla 05. Cambios temporales de la cobertura glaciar de Ananea, 2015 - 2023.	41
Tabla 06: Estadística descriptiva del área del glaciar Ananea, periodo (2015 - 2023).	43
Tabla 07: Pruebas de normalidad para la variable cobertura glaciar.	46
Tabla 08: Estadística descriptiva de las temperaturas, periodo (2015 - 2023)	48
Tabla 09: Pruebas de normalidad para la variable temperaturas.	50
Tabla 10: Estadística descriptiva de precipitaciones, periodo (2015 - 2023).	53
Tabla 11: Pruebas de normalidad para la variable precipitación.	55
Tabla 12: Matriz de correlación de Pearson de las variables.	58

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01: Desglaciación en los Andes peruanos (Iparraguirre et al., 2019).	22
Figura 02: Elemento de un programa de detección a distancia (Martínez & Cristina, 2019).	23
Figura 03: Espectro electromagnético (Panca & Cruz, 2021).	24
Figura 04: Niveles digitales (ND) de una sección de un Nevado (Infante & Martínez, 2017).	25
Figura 05. Cambio Climático y los glaciares (Concha et al., 2022).	27
Figura 06: Ubicación del nevado Ananea.	31
Figura 07: Descarga de datos climáticos del portal Power Nasa.	36
Figura 08: Cambio de la cobertura glaciar de Ananea durante el 2015 y 2023.	42
Figura 09: Cambio temporal de la cobertura glaciar durante el 2015 al 2023.	44
Figura 10: Mapa de cambio temporal de la cobertura glaciar durante el 2015 al 2023.	45
Figura 11: Regresión lineal del área de la cobertura glaciar, con respecto al tiempo.	45
Figura 12: Gráfico de normalidad para la variable cobertura glaciar.	46
Figura 13: Gráfico de temperaturas máximas y mínimas durante el 2015 - 2023.	47
Figura 14: Correlación lineal de cobertura glaciar sobre temperaturas durante el 2015 - 2023.	49
Figura 15: Gráfico de normalidad para la Tmax.	50
Figura 16: Gráfico de normalidad para la Tmin.	51
Figura 17: Gráfico de precipitaciones durante el 2015 - 2023.	52
Figura 18: Correlación lineal de cobertura glaciar sobre precipitaciones durante el 2015 - 2023.	54
Figura 19: Gráfico de normalidad para la precipitación.	55
Figura 20: Correlograma para las variables en símbolos y en numericos.	59

Figura 21: Correlación de la variable independiente con respecto a la variable dependiente

59

INDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 01: Matriz de consistencia.	70
Anexo 02: Descarga de imágenes satelitales Landsat 8, de la plataforma Google Earth Engine.	71
Anexo 03: Datos de temperaturas del nevado Ananea, obtenido del portal Power nasa.	72
Anexo 04: Datos de precipitaciones del nevado Ananea, obtenido del portal Power nasa.	73
Anexo 05: Resultado del NDSI en R.	74
Anexo 06: Resultado del enmascaramiento de los glaciares de Ananea en R.	75
Anexo 07: Pruebas de normalidades de las variables en R.	76
Anexo 08: Matriz de correlación de Pearson de las variables en R.	77
Anexo 09: Panel fotográfico.	78

RESUMEN

El retroceso glaciar es uno de los signos del cambio climático. La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el retroceso de la cobertura glaciar del nevado Ananea de la cordillera Apolobamba causado por la influencia de los elementos climáticos, período 2015 - 2023, se evaluaron mediante los softwares de R-Studio (v4.3.1) y QGis (v3.26.17). Los materiales utilizados fueron las fotografías aéreas de Landsat 8 de colección 1 y Nivel 2, las fotografías fueron obtenidas de la plataforma geomática Google Earth Engine (GEE) corregidas de valores digitales a reflectancia (TOA). Para calcular la cantidad de cubierta de nieve se utilizó el índice diferencial normalizado de la cubierta de nieve (NDSI>0,4), sugerido por Dozier. Los resultados obtenidos indican un retroceso de la cobertura glaciar, en el año 2015 presentaba 25.11 km², y en el año 2023 llegó a 16.43 km², durante los 9 años de estudios el nevado Ananea tuvo una variación de -8.68 km² y una tasa de cambio de -34.56%, mediante el análisis estadístico de Pearson, existe una correlación negativa $r = -0.91$ respecto a los años, correlación negativa considerable $r = -0.88$ y -0.8 ; entre las variables de temperatura máxima, mínima y una correlación positiva considerable $r = 0,87$ de la precipitación acumulada, también los valores de - p (bilateral) fueron significativas ($<0,0001$), comparado con el nivel de significación es menor a (0,05). Se concluye que las coberturas glaciares durante los últimos 9 años, ha decrecido estadísticamente significativo, debido al aumento exponencialmente de las temperaturas máximas y mínimas, también por otro lado a las ausencias de las precipitaciones en el nevado Ananea.

Palabras clave: Clima, Cobertura glaciar, Desglaciación, Imagen Landsat, Teledetección.

ABSTRACT

Glacier retreat is a sign of climate change. The present investigation had as objective to evaluate the retreat of the glacier cover of the snowy Ananea of the Apolobamba mountain range caused by the influence of the climatic elements, period 2015 - 2023, were evaluated by means of the softwares of R-Studio (v4.3.1) and QGis (v3.26.17). The materials used were Landsat 8 aerial photographs of collection 1 and Level 2, the photographs were obtained from the geomatics platform Google Earth Engine (GEE) corrected from digital values to reflectance (TOA). The normalized differential snow cover index (NDSI >0.4), suggested by Dozier, was used to calculate the amount of snow cover. The results obtained indicate a retreat of the glacier cover, in the year 2015 it presented 25.11 km², and in the year 2023 it reached 16.43 km², during the 9 years of studies the snowy Ananea had a variation of -8.68 km² and a rate of change of -34.56%, through the statistical analysis of Pearson, there is a negative correlation $r = -0.91$ with respect to the years, considerable negative correlation $r = -0.88$ and -0.8 ; between the variables of maximum, minimum temperature and a considerable positive correlation $r = 0.87$ of the accumulated precipitation, also the values of $-p$ (bilateral) were significant (<0.0001), compared to the level of significance is less than (0.05). It is concluded that the glacier cover during the last 9 years, has decreased statistically significantly, due to the exponential increase of the maximum and minimum temperatures, also on the other hand to the absence of precipitation in the Ananea snow-capped mountain.

Keywords: Climate, Glacier cover, Glaciation, Landsat image, Remote sensing.

INTRODUCCIÓN

En el nevado Ananea, los cambios de factores abióticos, la minería influye en el rápido proceso de deglaciación que incluyen la reducción de la superficie glaciar, el retroceso de los frentes glaciares, la expansión y el desarrollo de nuevas lagunas y la presencia de glaciares colgantes.

La importancia de este estudio radica en el análisis de datos medioambientales en la plataforma Google Earth Engine (GEE), una plataforma a escala planetaria que recopila más de 40 años de imágenes de satélite recientes e históricas de todo el mundo y ofrece las herramientas y la potencia informática necesarias para analizar y extraer conocimientos de este enorme acervo de datos. La ingeniería ambiental, mediante los sensores remotos investigó de cómo los glaciares se ven afectados por el cambio de los factores abióticos.

En el estado de Cusco, evaluaron la regresión glaciar de los picos nevados de Salkantay y Verónica mediante un estudio multitemporal, en sus resultados presentaron: que los nevados habían experimentado una tasa de retroceso glaciar notablemente elevada durante un periodo de 30 años (1990-2020). Salkantay perdió 1691,65 ha (16,9165 km²) de superficie glaciar, y Verónica 1851,47 ha (18,5147 km²); estos cambios se consideraron significativos para ambas montañas. Se prevé que el retroceso de los glaciares continúe de forma exponencial debido a los numerosos cambios climáticos de los últimos años, esto tendría efectos perjudiciales para toda la vida dentro de la esfera de influencia de las montañas nevadas (Follanos y Sarmiento, 2020).

La investigación tiene como hipótesis; el retroceso de la cobertura glaciar del nevado Ananea de la cordillera Apolobamba es de -9 km² por la influencia negativa de los elementos climáticos durante el período 2015 - 2023.

Las variables constan de dos tipos, la independiente y la dependiente. La independiente es la que causa y está determinada por la influencia de los elementos climáticos, la

dependiente es el efecto y está determinada por el retroceso de la cobertura.

La investigación consta de cuatro capítulos:

En el Capítulo I, se aborda el planteamiento del problema de la investigación, los antecedentes que guardan relación con el tema de investigación y objetivos de la investigación.

En el Capítulo II, se muestra el marco teórico que sustenta la investigación donde se define los principales conceptos y se indica las hipótesis planteadas para ser probadas en el estudio.

En el Capítulo III, se llevó a cabo la parte metodológica, donde se aborda sobre el retroceso de la cobertura glaciar del nevado Ananea cordillera Apolobamba por influencia de elementos climáticos, período 2015 - 2023, también está conformado el tamaño de la muestra y los métodos estadísticos.

En el Capítulo IV, se exponen los resultados del estudio con el análisis estadístico, persiguiendo los objetivos iniciales, donde se presentan tablas y figuras que muestran los valores estadísticos obtenidos para demostrar lo que se ha planteado y por último se incluye las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A escala mundial, el mayor reto al que nos enfrentamos es el cambio climático. Debido a él, las regiones nevadas del mundo han ido perdiendo cantidades significativas de cubierta glaciaria, esto se debe a que las temperaturas globales están aumentando exponencialmente debido a prácticas antropogénicas y procesos naturales insuficientes. Como resultado, entre otros factores, la desglaciación gradual de las montañas nevadas del mundo es un problema para el medio ambiente en su conjunto (Ventura, 2020).

Muchos municipios costeros peruanos, entre ellos Lima, la capital del país, dependen cada vez más del agua procedente de los glaciares. El aumento de la demanda de recursos hídricos para el sector agrícola ha planteado numerosos problemas de gestión. No obstante, hay que observar el comportamiento de las minúsculas cuencas hidrográficas de las cordilleras y/o valles, ya que los glaciares son la principal fuente de abastecimiento (Jiménez & Tecse, 2021).

Perú todavía contiene importantes zonas de glaciares que se están derritiendo y retrocediendo rápidamente como consecuencia de los efectos del cambio climático a escala regional y mundial debido al aumento de las temperaturas y las ausencias de las precipitaciones en la cordillera de los Andes, que alcanza alturas de más de 6.000 metros sobre el nivel del mar.

Los cambios de los factores abióticos afectan en el rápido proceso de deglaciación incluyen la reducción de la superficie glaciar, el retroceso de los frentes glaciares, la expansión y el desarrollo de nuevas lagunas y la presencia de glaciares colgantes.

La finalidad del estudio es comparar el retroceso de la cobertura glaciar del nevado Ananea, con el aumento de las temperaturas y la ausencia de precipitaciones, los glaciares del nevado ananea es una de las principales fuentes de agua de las cuencas; La determinación de la regresión glaciar indica que los glaciares más afectados por los años son causados por las temperaturas y precipitaciones, los que se encuentran principalmente en la cordillera de Apolobamba.

1.1.1 Problema General

¿Cómo es el retroceso de la cobertura glaciar del nevado Ananea cordillera Apolobamba causado por la influencia de elementos climáticos, período 2015 - 2023?.

1.1.2 Problemas específicos

- ¿Cuál es el área del retroceso de la cobertura glaciar del nevado Ananea entre el 2015 - 2023?
- ¿De qué manera la temperatura influye en el retroceso glaciar del nevado Ananea entre el 2015 - 2023?
- ¿De qué manera la precipitación influye en el retroceso glaciar del nevado Ananea entre el 2015 - 2023?

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1. Antecedentes internacionales

- Ruiz (2013), creó un modelo para comprender la evolución de un depósito artificial de hielo o glaciar en su tesis "Análisis geomorfológico, sedimentológico y cronoestratigráfico de los depósitos glaciares, periglaciares y glaciogénicos en la cordillera de los Andes y zonas adyacentes entre los paralelos 42° y 43° LS, desde el último período glaciar". Esta metodología se basó en mediciones del balance energético de la

cubierta glaciar realizadas durante un periodo de 5 años y configuradas como un cono geométrico. Se descubrió que el glaciar puede desarrollar un volumen de 200 a 400 m³ y una altura de 2100 metros sobre el nivel del mar cuando se añadió a estos datos un factor de extensión.

- Zhou et al. (2022), en Asia central, realizaron una investigación sobre el efecto del cambio climático en el flujo de los glaciares y las cuencas glaciares de la montaña Harlik de las montañas Tianshan orientales, en sus resultados reportaron: durante los cuarenta años anteriores, el volumen total de los glaciares había disminuido en 0,018 km³ y la superficie glaciar se había reducido en un 13%. Tanto para la escorrentía anual como para la escorrentía mensual (de mayo a septiembre; $p < 0,01$), se observó una tendencia significativa al aumento ($p < 0,01$). El río Yushugou recibió una importante recarga de la escorrentía glaciar, según los datos de simulación, y el balance de masa glaciar a escala de cuenca de los 38 años anteriores mostró una tendencia negativa.

- Margonari et al. (2023), en la bahía de Larsen B, situada al noreste de la península Antártica, analizaron específicamente glaciares que desembocan sus aguas ha depósito de agua dulce, en sus resultados reportaron que: el mayor recurso de agua dulce del mundo se encuentra en forma de hielo en la Antártida. Los países miembros del Tratado Antártico, entre ellos Argentina, están preocupados por el informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, según el cual la temperatura media mundial aumentará 1,1 °C. El Instituto Antártico Argentino lleva décadas estudiando continuamente los glaciares de la Península Antártica para determinar cómo repercute este aumento de la temperatura en las masas de hielo. En los últimos años se ha observado un retroceso más rápido de los glaciares de la bahía Larsen B, al noreste de la península antártica.

- Molano et al. (2022), en Colombia, evaluaron el retroceso de glaciares mediante clasificación de fotografías aéreas multisensor en la Sierra Nevada del Cocuy, en sus

resultados reportaron que en el transcurso de 34 años, la cobertura glaciar ha disminuido en 1099,59 ha (1987-2021). Según el análisis, la superficie cubierta por glaciares se redujo aproximadamente un 37,92% en comparación con la imagen original de 1987. El Niño y otras variables de variabilidad climática, así como las vinculadas al calentamiento global, como el aumento de la temperatura media anual y el descenso de las precipitaciones, tienen un gran impacto en el ritmo de retroceso de los glaciares.

1.2.2. Antecedentes nacionales

- Follanos & Sarmientos (2020), en Cusco, evaluaron la regresión glaciar de los picos nevados de Salkantay y Verónica mediante un estudio multitemporal, en sus resultados presentaron: que los nevados habían experimentado una tasa de retroceso glaciar notablemente elevada durante un periodo de 30 años (1990-2020). Salkantay perdió 1691,65 ha (16,9165 km²) de superficie glaciar, y Verónica 1851,47 ha (18,5147 km²); estos cambios se consideraron significativos para ambas montañas. Se prevé que el retroceso de los glaciares continúe de forma exponencial debido a los numerosos cambios climáticos de los últimos años, esto tendría efectos perjudiciales para toda la vida dentro de la esfera de influencia de las montañas nevadas.
- Blancas et al. (2020), evaluaron las variaciones en las áreas nevadas y patrones de cobertura de nieve en el sur de Perú para el 2030, en sus resultados indican una fuerte disminución de las zonas con nevadas, especialmente entre 2002 y 2009. Se caracterizaron las tendencias en el aumento de las anomalías de temperatura máxima y mínima del orden de 0,5°C utilizando datos del sistema PISCO (SENAMHI). Por último, se proyectó la superficie nevada en 2030 utilizando el enfoque de Markov, que reveló una disminución mayor que la observada durante el periodo de análisis.
- Toribio (2023), en Junín, analizó el impacto del retroceso glaciar del nevado Huaytapallana sobre los humedales dentro del Área de Conservación Regional Huaytapallana entre 1990 y 2020, tanto en términos espaciales como temporales, en los

resultados mostró tras 30 años de análisis, se estimó que la superficie glaciar era de 27,73 km² en 1990 y de 15,71 km² en 2020, lo que supone una disminución del 56,65%. A partir de los datos recogidos sobre la cobertura glaciar, se determinó una tasa de 0,42. El índice de temperatura de la superficie terrestre, que se correlacionó con la reducción de la cubierta glaciar y dio lugar a una pérdida de superficie de 28,93 km², se calculó utilizando la función del índice diferencial de nieve normalizado (NDSI)./año de retroceso de los glaciares, basándose en datos empíricos, el análisis del estudio determina que existe una conexión negativa (inversa) estadísticamente significativa entre las variables.

- Calderon & Mora (2022), en Cusco, realizaron una modelación por teledetección del retroceso glaciar de la cordillera de Vilcabamba debido al cambio climático entre 2013 y 2021, en sus resultados reportaron mediante el índice de temperatura de la superficie terrestre, que se correlacionó con la reducción de la cubierta glaciar y dio lugar a una pérdida de superficie de 28,93 km² que se calculó utilizando la función del índice diferencial de nieve normalizado (NDSI), con temperaturas medias entre -7,46°C y 13,28°C, y una superficie de 48,92 km² prevista hasta 2030 utilizando una ecuación de regresión lineal para la estimación futura.
- Aedo & Quispe (2022), en Cusco, estimaron el retroceso del Nevado Chicón y la predicción mediante un análisis multitemporal que abarca el periodo 1985-2021, en sus resultados mostraron que el: R² modificada del modelo, que muestra un valor de 0,7647 en los resultados, indica que tiene un muy buen grado de explicación, explicando el 76,47% de la variabilidad de la superficie total en km² del nevado Chicón. Se confirma que el modelo es significativo y que la variable independiente, años, afecta a la fluctuación de la superficie total del campo de nieve Chicón con respecto a la prueba de (Prob >F) = 0,00.

1.2.3. Antecedentes locales

- Ccallata (2021), en Puno, evaluó la pérdida de la cobertura glaciar del nevado Salluyo de la cordillera de Apolobamba e impacto de factores meteorológicos entre 1985 y 2020, en los resultados indican una disminución de la cobertura de los glaciares. La superficie total cubierta por glaciares descendió de 3,55 km² en 1985 a 2,54 km² en 2020, un total de 1,01 km². La cobertura glaciar de Salluyo se ha reducido un 28,45% en los últimos 35 años. La temperatura y las precipitaciones son dos factores que influyen en el retroceso de los glaciares. Según el análisis de tendencias, se produjo un gran aumento tanto de las temperaturas máximas como de las mínimas entre 1985 y 1999. Sin embargo, no se observó ninguna tendencia significativa en ninguna de las dos temperaturas entre 2000 y 2020. Durante todo el periodo de estudio, se produjo un descenso significativo de las precipitaciones.

- Pacompia (2022), en el distrito de Macusani - Puno, estudió el Nivel de deshielo en el pico nevado Allincapac entre 2000 y 2020, en los resultados a mostrado que se ha producido una pérdida de 1653,92 ha de glaciares entre 2000 y 2020, produciéndose la mayor pérdida entre 2000 y 2005, con una extensión de 816,55 ha. Esta pérdida significativa se atribuye a la temperatura más alta registrada en 2002, que fue de 14,80°C. del 2005 a 2020, se registró una temperatura máxima de 15,00°C, lo que provocó una reducción de 837,37 ha en la cobertura de los glaciares. El examen de cómo ha cambiado el clima a lo largo del tiempo es igualmente significativo. La temperatura máxima media tiende a aumentar 0,46°C, lo que se debe sobre todo al retroceso de los glaciares. En consecuencia, las temperaturas mínimas tienen tendencia a subir 0,23°C.

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo general

Evaluar el retroceso de la cobertura glaciar del nevado Ananea de la cordillera Apolobamba causado por la influencia de los elementos climáticos, período 2015 - 2023.

1.3.2. Objetivos específicos

- Estimar el área del retroceso de la cobertura glaciar del nevado Ananea entre el 2015 - 2023.
- Determinar la influencia de la temperatura en el retroceso de la cobertura glaciar del nevado Ananea entre el 2015 - 2023.
- Determinar la influencia de la precipitación en el retroceso de la cobertura glaciar del nevado Ananea entre el 2015 - 2023.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. La desglaciación

Podemos mencionar los siguientes factores como desencadenantes: el cambio climático, el efecto invernadero, el agotamiento de la capa de ozono, la actividad minera y otras razones desfavorables. Se conoce como desglaciación al aumento de la línea inferior de nieve que es permanente en las altas montañas, hasta que desaparece por completo. En la mayoría de los casos, esto ocurre como consecuencia del aumento de las temperaturas, por lo que el proceso se acelera (Delgado & Limas, 2021).

La principal causa del retroceso de los glaciares o desglaciación en los Andes peruanos es el cambio climático, ya que existe una tendencia al aumento de la temperatura, según el INAIGEM, que señala que las causas de la desglaciación son variadas. El aumento de la temperatura atmosférica es el principal factor, por lo que los eventos ENSO (El Niño Southern Oscillation) más frecuentes se producen cuando hay un aumento de la temperatura (Iparraguirre et al., 2019).



Figura 01: Desglaciación en los Andes peruanos ([Iparraguirre et al., 2019](#)).

2.1.2. Observación Remota

Aunque no es el método óptimo debido a sus numerosas limitaciones, la observación a distancia, es 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 (Haut, 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 (Martínez & Cristina, 2019).

El proceso de recopilación de datos sobre un objeto a distancia se denomina teledetección, que a menudo se conoce como detección remota o teledetección. Uno de los tipos más populares de teledetección es la fotografía. Dependiendo de la aplicación, se utilizan diferentes sensores y se emplean distintos métodos de recogida de datos (Haut, 2019).

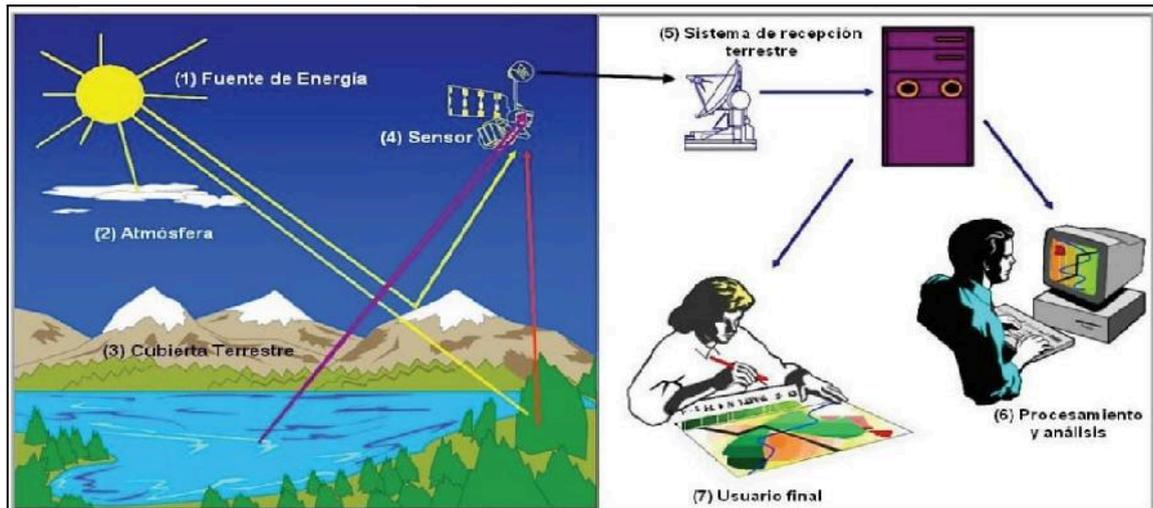


Figura 02: Elemento de un programa de detección a distancia ([Martínez & Cristina, 2019](#)).

2.1.3. Resolución Espacial

El tamaño más pequeño de un elemento que puede identificarse en una imagen se denomina "píxel en el suelo", y es esta dimensión la que se utiliza para definir la resolución espacial (Paz et al., 2018).

Escalar un proyecto espectral requiere de una resolución espacial, ya que confiere a la interpretación un alto grado de confianza. En consecuencia, a medida que aumenta el tamaño del píxel, disminuye la probabilidad de que un píxel tenga dos coberturas límite. La mayor dimensión de un píxel puede ser útil para reducir la variedad de categorías (Riu, 2018).

2.1.4. El Espectro Electromagnético

Según la longitud de onda emitida por cualquier energía con movimiento armónico y velocidad de la luz constante, el espectro electromagnético clasifica el sistema (Apaza, 2021).

Además, cabe señalar que una imagen hiperespectral puede contener diversas bandas espectrales que contienen información. Por esta razón, se dice que la radiación electromagnética tiene propiedades muy básicas y se comporta de manera muy

predecible de acuerdo con los fundamentos de la teoría ondulatoria (Panca & Cruz, 2021).

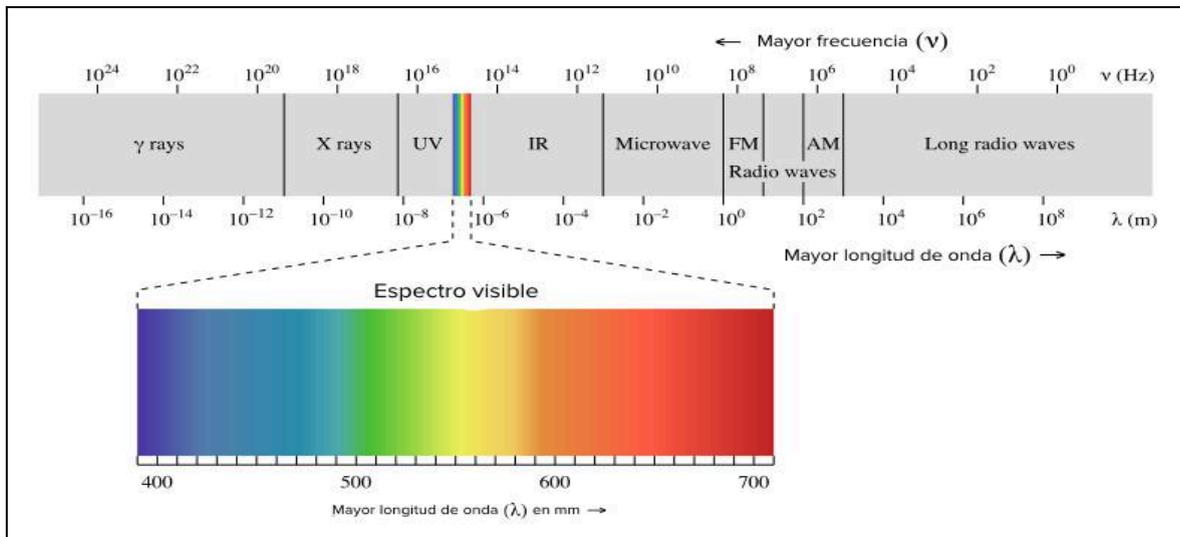


Figura 03: Espectro electromagnético (Panca & Cruz, 2021).

2.1.5. Imágenes Satelitales

2.1.5.1. Pre procesamiento de imágenes satelitales

Es posible realizar toda una serie de investigaciones utilizando un conjunto de procedimientos y técnicas denominados preprocesamiento de imágenes de satélite. El preprocesamiento se realiza para garantizar que los resultados sean de mayor calidad cuando se utilicen para un fin determinado (Fernández & Rincón, 2020).

La calibración radiométrica de una imagen, los datos o la información del valor del píxel de la imagen y la información de reflectancia deben realizarse en niveles digitales (Hernández, 2018).

2.1.5.2. ND (Niveles digitales)

Con la ayuda de los niveles digitales, es posible analizar los errores en el proceso de nivelación digital e identificar el parámetro de observación mejor y más preciso en el momento de la explotación. Por ello, recomiendan parámetros técnicos de vanguardia y

programas informáticos de observación que pueden utilizarse en la nivelación digital (Reyes, 2017).

Se presenta en una escala de grises, donde los tonos más claros como el blanco o próximos a este se aproximan a un valor igual o próximo al número 0 y los tonos más oscuros como el negro o próximos a este tienen un valor aproximado a 256. Los niveles digitales también se conocen como ND, y este nombre se debe a que tienen un valor numérico, que puede traducirse a un nivel de intensidad relacionado con la calidad de imagen obtenida con diferentes programas y/o plataformas web (Infante & Martínez, 2017).

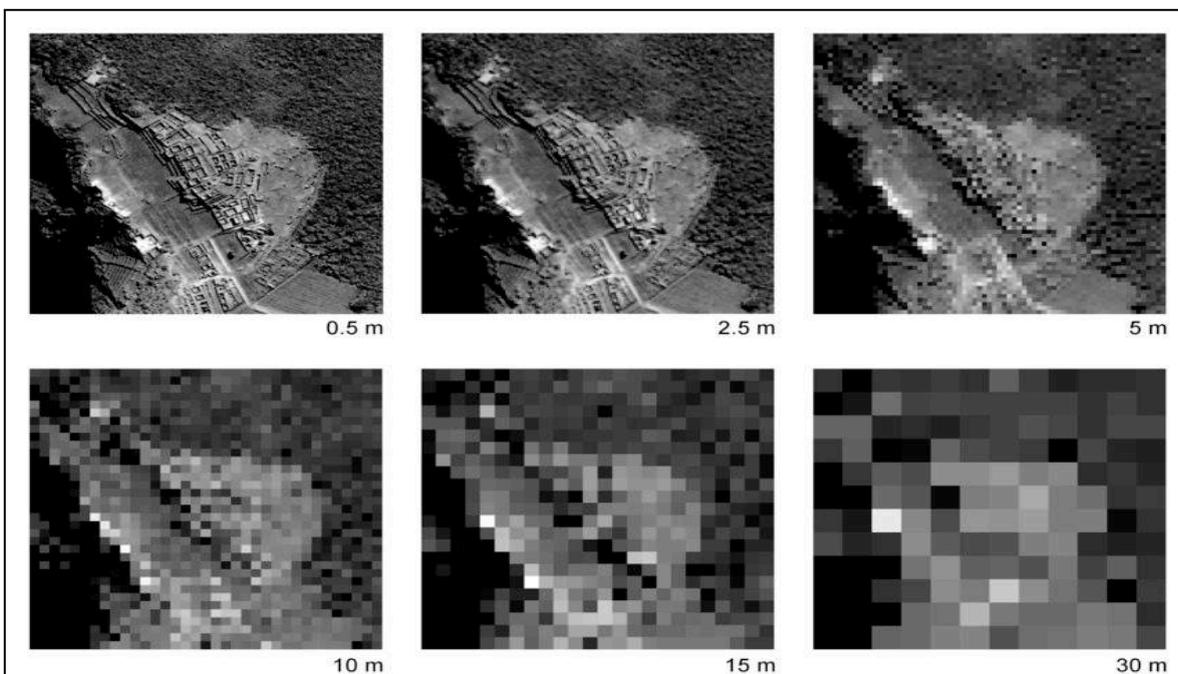


Figura 04: Niveles digitales (ND) de una sección de un Nevado ([Infante & Martínez, 2017](#)).

2.1.5.3. Correcciones geométricas o georreferenciación

Las anomalías observadas en una imagen se reparan mediante técnicas geométricas y radiométricas durante los procesos de corrección de imágenes (Yela, 2017).

Asimismo en su artículo de Suárez et al. (2017), explica cómo se utilizan coordenadas UTM para georreferenciar las imágenes, basta con rectificarlas para obtener una corrección geométrica más exhaustiva. Tras definir una escena posterior que corresponda a la zona de estudio, se aplica el modelo FLASH (análisis atmosférico rápido de línea de visión de hipercubos espectrales) para realizar una técnica de corrección atmosférica.

2.1.5.4. Correcciones atmosféricas

indica que las relaciones duales, que son necesarias para enfocar las simulaciones de los modelos de radiación que tenemos para la atmósfera, se crean cuando se utilizan modelos sin fluctuaciones en la línea de tierra. Como resultado de la comparación funcional, esta conclusión, que se considera en términos absolutos y no relativos, puede cuantificar y llevar a cabo el proceso que interviene en el ajuste atmosférico (Martínez, 2020).

Diferentes elementos atmosféricos pueden alterar los cálculos o índices que el análisis requiere de la radiación electromagnética artificial o natural emitida por la luz solar o por cualquier sensor que se tenga. Estas alteraciones pueden ser la aparición de gases, vapor, nubosidad; estas alteraciones pueden causar distorsión en el sensor; estas alteraciones producen componentes que no son útiles para la investigación; todas estas alteraciones impiden que la radiación sea efectiva (Figueredo et al., 2020).

2.1.6. Cambio Climático y los glaciares

El consumo de hidrocarburos, gases y carbón, que es de donde procede la mayor parte del dióxido de carbono liberado a la atmósfera, así como la tala de árboles y los incendios forestales, son otras causas humanas del cambio climático. Como estos gases atrapan la energía solar y el calor, todos los factores mencionados contribuyen al "efecto

invernadero", que provoca el calentamiento global y reduce la cubierta de los glaciares (Reyes et al., 2022).

La desaparición de los glaciares, que son los mayores proveedores de agua dulce del mundo, sería desastrosa porque podría desencadenar la extinción de ecosistemas enteros que dependen de ellos para abastecerse de agua dulce. El deshielo de las capas de hielo, conocido como desglaciación, que tiene como consecuencia el adelgazamiento de las capas de hielo y/o la pérdida de superficie glaciar, viene indicado por la presencia de glaciares (Concha et al., 2022).

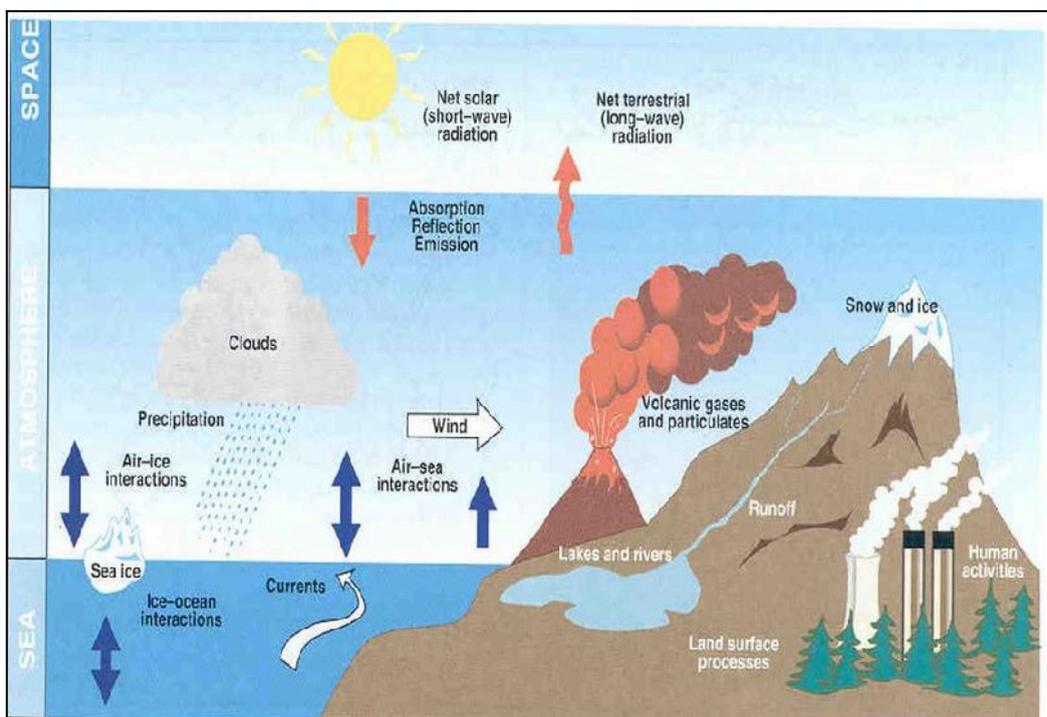


Figura 05. Cambio Climático y los glaciares (Concha et al., 2022).

2.2. MARCO CONCEPTUAL

Glaciar: Una cantidad significativa de hielo que se ha desarrollado en la superficie de la tierra como resultado de la acumulación y compactación de la nieve y que se ha desplazado hacia abajo por la fuerza de la gravedad (Grémillet et al., 2015).

Calentamiento global: Se trata de un aumento de las temperaturas medias de los océanos y la atmósfera a lo largo del tiempo (Medina 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 (Medina et al., 2020).

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 (Chávez & Moreano, 2013).

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 (Chávez & Moreano, 2013).

Radiación solar: Debido a la emisión de energía solar en forma de radiación electromagnética, se trata de un fenómeno físico

R-Studio: El entorno de desarrollo integrado del lenguaje de programación R se centra en el análisis estadístico y las instantáneas. Cuenta con un editor de sintaxis para la ejecución sencilla de código, gráficos, una consola y funciones de gestión del espacio de trabajo (Kania & Kusumah, 2023).

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 (Liashenko et al., 2020).

2.3. MARCO TEÓRICO NORMATIVO

La Ley 30286 creó el Instituto Nacional de Investigación de Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM) del Ministerio del Ambiente, una institución técnica especializada. goza de independencia administrativa, funcional, tecnológica, económica y financiera, así como carácter jurídico de derecho público, y se rige por las autoridades nacionales. Su objetivo es fomentar el uso humano sostenible de los glaciares y ecosistemas alpinos a

través del desarrollo y crecimiento de la investigación científica y tecnológica en estos campos.

El Reglamento de Organización y Funciones (ROF) del Instituto Nacional de Investigación de Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM) fue aprobado mediante Decreto Supremo N° 004-2016-MINAM, de fecha 8 de julio de 2016, de conformidad con los lineamientos del Decreto Supremo N° 043-2006-PCM, Lineamientos para la elaboración y aprobación del Reglamento de Organización y Funciones - ROF por las entidades de la Administración Pública.

Artículo 4.- Competencias y fines generales de la Entidad

Sin perjuicio de las competencias y obligaciones especiales otorgadas a otras instituciones del Estado, el INAIGEM es la máxima autoridad en materia de investigación científica sobre glaciares y ecosistemas de montaña. Su objetivo es avanzar y ampliar la investigación científica y tecnológica sobre glaciares y ecosistemas de montaña y apoyar la gestión sostenible de estos ecosistemas en beneficio de las poblaciones o pueblos que los habitan o dependen de ellos, entre otras consideraciones como el género y la edad.

a) De acuerdo con la legislación vigente, la Autoridad Nacional del Agua, y los gobiernos regionales y locales, elaboran y recomiendan la aprobación de la Política Nacional y el Plan Nacional para los Glaciares y Ecosistemas de Montaña.

b) Investigar y seguir el comportamiento y la evolución de los glaciares y los ecosistemas de montaña, así como el impacto de la presión del medio ambiente y otras causas, y desarrollar las medidas preventivas necesarias.

2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.4.1. Hipótesis general

El retroceso de la cobertura glaciar del nevado Ananea de la cordillera Apolobamba es de -9 km^2 por la influencia negativa de los elementos climáticos durante el período 2015 - 2023.

2.4.2. Hipótesis específicas

- La cobertura glaciar del nevado Ananea de la cordillera Apolobamba es de -10.0 km^2 durante el periodo 2015 - 2023.
- La temperatura influye en el retroceso glaciar del nevado Ananea entre el 2015 - 2023..
- La precipitación influye en el retroceso glaciar del nevado Ananea entre el 2015 - 2023.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO

Con una elevación de 5,877 metros sobre el nivel del mar se ubica el área de estudio; precisamente, en las provincias de San Antonio de Putina y Sandía de la región Puno, el nevado Ananea es el más imponente de los nevados que se encuentran en la cordillera de Apolobamba, y pertenece a la Zona 19 Sur, con coordenadas Este: 347312 metros, y Norte: 8462313 metros, como se muestra en la figura 06.

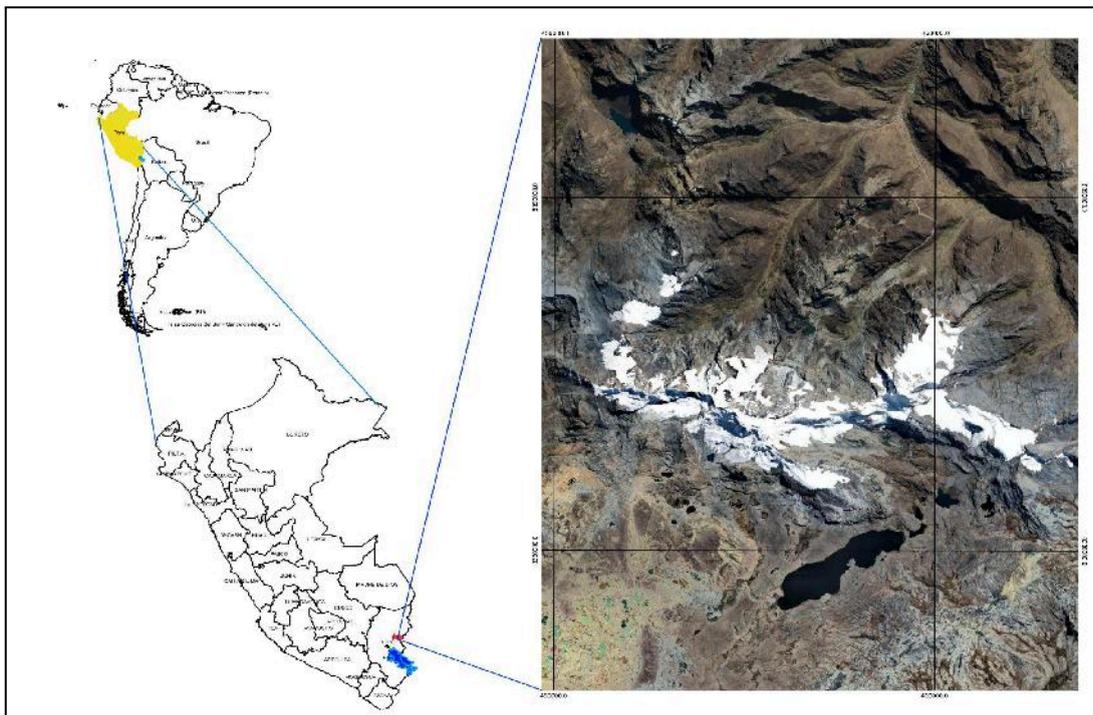


Figura 06: Ubicación del nevado Ananea.

Ubicación Geopolítica

Tabla 01: Ubicación geopolítica del nevado Ananea.

Regiones	Provincias	Distritos
→ Puno	→ Sandia	→ Cuyocuyo
		→ Quiaca
	→ San antonio de putina	→ Sina
		→ Ananea

3.2. TAMAÑO DE MUESTRA

3.2.1 Población

La población está constituida por los glaciares de la cordillera Apolobamba, el cual se ubica en las regiones montañosas del Perú.

3.2.2 Muestra

La presente muestra es la superficie del nevado Ananea de los períodos de 2015 al 2023.

Muestreo: La presente investigación se realizará mediante el muestreo estratificado, que tiene la característica de elegir elementos en base a un determinante, es de tipo probabilístico (Fathi & Salehi, 2022).

En el presente estudio se empleó un muestreo probabilístico y estratificado, mediante el cual se eligieron distintos segmentos de la población en función de criterios predeterminados, como el índice espectral del NDSI, con el fin de observar de cerca el nevado Ananea de la cordillera de Apolobamba.

3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS

3.3.1 Métodos

Tipo de investigación: Dado que la investigación tratará de cuantificar las zonas en las que la cubierta glaciar está retrocediendo debido a la influencia de factores climáticos, es coherente con el enfoque cuantitativo no experimental. Dado que se recopilarán datos estadísticos.

Diseño de Investigación: El trabajo de investigación será no experimental, pues no se manipulan las variables, lo que se hará es observar las unidades empíricas o variables tal

y como se dan en su contexto natural para después analizarlos, el diseño de investigación por su alcance temporal será seccional o transversal, toda vez que se recolectarán los datos en un solo momento, en un tiempo único, su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelacionar en un momento determinado (Cabrera, 2023).

3.3.2 Materiales

Equipos:

- Cámara fotográfica
- Computadora portátil, impresora, scanner.

Programas:

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

3.4. METODOLOGÍA POR OBJETIVOS ESPECÍFICOS

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 (Meléndez, 2023).

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.

Metodología para el objetivo específico O1: Estimar el área del retroceso de la cobertura glaciaria del nevado Ananea entre el 2015 - 2023.

Se utilizaron imágenes satelitales Landsat-8, que fueron obtenidas de la plataforma geomática Google Earth Engine (GEE), donde las fotografías aéreas están corregidas a reflectancia (TOA) para el área de estudio, y luego analizar los niveles de retroceso glaciario del nevado Ananea. Las imágenes satelitales facilitaron el acceso a los datos geoespaciales, los cuales fueron utilizados para determinar si existe un retroceso del nevado Ananea.

a. Obtención de bandas satelitales

Tabla 02: Resolución espectral de las bandas del satélite Landsat-8.

Banda	Nombre	Longitud de Onda (μm)	Resolución
3	Verde	0.53 – 0.59	30
6	SWIR 1	1.57 – 1.65	30

Fuente: (USGS, 2014).

b. Definición del área (nevado Ananea).

Sólo fue esencial una escena para cada año de las imagen satelital Landsat-8, que se posicionan dentro del área de estudio que es el nevado Ananea. Las coordenadas UTM, fueron utilizadas para mejorar la georreferenciación o rectificación en metros (m), y esto se logró utilizando el software R.

c. Cálculo del Índice Diferencial Normalizado de Nieve (NDSI)

En este estudio, la diferencia normalizada de dos bandas, el espectro visible y el infrarrojo cercano o infrarrojo de onda corta- se utilizó para calcular el NDSI (Índice de Diferencia Normalizada). Este análisis se desarrolló con los lenguajes de programación de R, dentro del software R-Studio se cargaron las librerías requeridas, y se crearon funciones para el cálculo del NDSI, mediante la siguiente fórmula:

$$NDSI = \frac{(Green - SWIR)}{(Green + SWIR)}$$

Donde:

$$NDSI \text{ (Landsat 8)} = (B3 - B6) / (B3 + B6)$$

d. Extracción de cobertura de nieve periodo (2015-2023)

Esta condición se estableció en la plataforma (GEE), razón por la cual no se realizó ningún procedimiento adicional para eliminar las perturbaciones atmosféricas en las imágenes extraídas del (GEE). Luego las imágenes fueron importadas al software

R-Studio, donde se crearon las funciones del NDSI, y se estableció que el proceso de extracción de píxeles sea mayores a (0.4 o 1) μm umbral, siendo que este valor extraiga solo la cubierta de nieve.

$$\text{"NDSI"} > (0,4 - 1) \mu\text{m}.$$

e. Determinación de tasa de cambio anual

Por otro lado, se aplicó la fórmula matemática más utilizada para calcular la tasa anual de cambio de cobertura de nieve, de tal manera que permita la comparación de resultados de diferentes periodos. La ecuación corresponde a la (FAO, 1996) y esta sería equivalente a la tasa de interés utilizada en los cálculos del retroceso o aumento de la cobertura glaciar, mediante la siguiente ecuación:

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

Donde:

Td = Tasa de cambio de nieve en porcentajes

S_2 = Área glaciar en el año final

S_1 = Área glaciar en el año inicial.

n = Número de años del periodo de análisis.

Metodología para el objetivo específico O2: Determinar la influencia de la temperatura en el retroceso de la cobertura glaciar del nevado Ananea entre el 2015 - 2023.

Para tener los datos climáticos se descargaron de la base de datos Power (NASA), como se muestra en la figura 07, que representan situaciones históricas y presentes. Pero primeramente se ha procedido a ubicar una estación meteorológica aplicando el método "teledetección" dentro del área de estudio que es el nevado Ananea, para la ubicación adecuada, la estación se situó en un espacio abierto, alejados de cualquier obstáculo que pueden intervenir en su correcta captación de datos meteorológicos. Como datos de temperaturas máximas y mínimas ($^{\circ}\text{C}$).

Metodología para el objetivo específico O3: Determinar la influencia de la precipitación en el retroceso de la cobertura glaciar del nevado Ananea entre el 2015 - 2023.

Para obtener los datos climáticos se descargaron de la base de datos Power (NASA), como se muestra en la figura 07, que representan situaciones históricas y presentes. Pero primeramente se ha procedido a ubicar una estación meteorológica aplicando el método “teledetección” dentro del área de estudio que es el nevado Ananea, para la ubicación adecuada, la estación se situó en un espacio abierto, alejados de cualquier obstáculo que pueden intervenir en su correcta captación de datos meteorológicos. Como datos de precipitación acumulada.

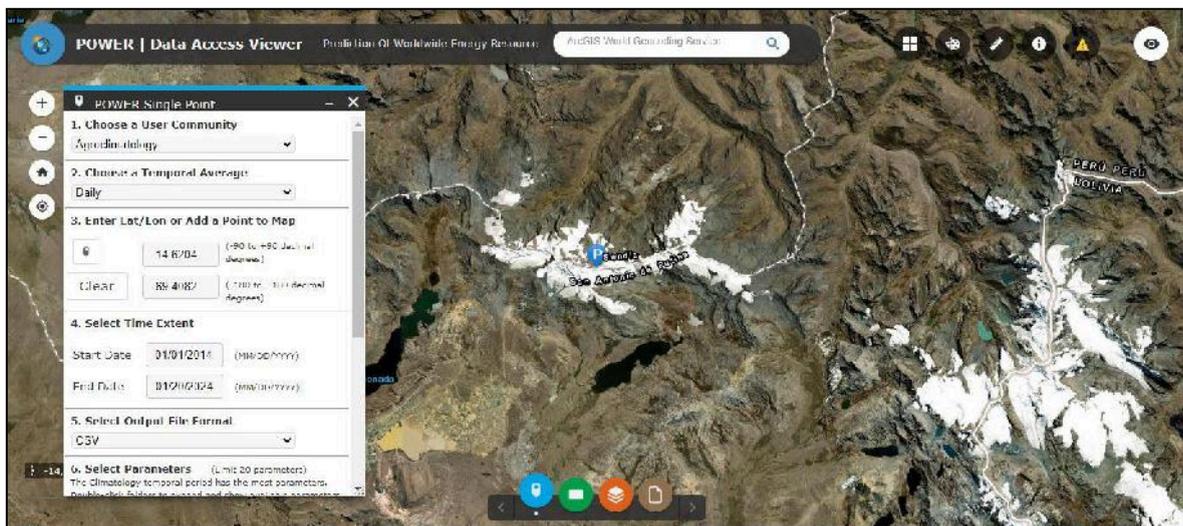


Figura 07: Descarga de datos climáticos del portal Power Nasa.

3.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Causa o variable independiente (VI): Influencia de los elementos climáticos.

Efecto o variable dependiente (VD): Retroceso de la cobertura.

Tabla 03: Operacionalidad de Variables.

Variables	Indicadores	Escala de Medición	Tipos de variables
	Temperaturas		
	Máximas	°C	
(VI)	Mínimas	°C	
Influencia de los	Mensual	°C	
elementos climáticos.	Anual	°C	Independiente
	Precipitación		
	Mensual	mm	
	Anual	mm	
(VD)			
Retroceso de la cobertura.	Áreas	km ²	
		%	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 aplicará la estadística inferencial, aquella que ayuda al investigador a encontrar significatividad a sus resultado (Platnick et al., 2018).

Pruebas de normalidad

Para determinar una adecuada prueba estadística de correlación que expliquen las relaciones entre variables, 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” (Artusi et al., 2002).

Dependiendo de los resultados del test, se recomienda usar un test paramétrico en el caso de que se cumplan con las pruebas paramétricas de normalidad, si los datos no cumplen con alguna de estas dos condiciones se recomienda emplear un test no paramétrico para analizar las relaciones entre sí.

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; en caso contrario (Artusi et al., 2002), se utiliza el método de Spearman. Para interpretar la fuerza de la relación, los rangos del coeficiente de correlación se fijan entre -1 y +1, se utiliza la tabla 04.

Tabla 04. 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 retroceso de la cobertura glaciar del nevado Ananea de la cordillera Apolobamba causado por la influencia de los elementos climáticos, período 2015 - 2023, 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 DE LA ESTIMACIÓN DEL ÁREA DEL RETROCESO DE LA COBERTURA GLACIAR DEL NEVADO ANANEA ENTRE EL 2015 - 2023.

Se estimó el área del retroceso de la cobertura glaciar en el nevado Ananea durante los periodos 2015 y 2023. De acuerdo con las imágenes satelitales Landsat-8, obtenidas de la plataforma geomática Google earth engine ya corregidas de valores digitales a reflectancias (TOA), tan solo se aplicaron el lenguaje de programación JavaScript, la adquisición de descarga se tomaron con una cobertura de nubosidad menor (<) al 10% como se muestra en el (Anexo 02), el cálculo del Índice Diferencial Normalizado de Nieve (NDSI) se desarrolló en el software R-Studio como se detalla en los (Anexos 05) .

Tabla 05. Cambios temporales de la cobertura glaciar de Ananea, 2015 - 2023.

Años	Cobertura glaciar			
	Área en (km ²)	Variación del área en (km ²)	Tasa de cambio en (%)	Porcentajes (%)
2015	25.11	0	0	14
2016	21.27	-3.84	-15.30	12
2017	20.57	-0.70	-3.28	12
2018	19.56	-1.00	-4.88	11
2019	18.63	-0.93	-4.75	11
2020	19.63	1.00	5.37	11
2021	18.37	-1.26	-6.43	10
2022	17.39	-0.98	-5.33	10
2023	16.43	-0.96	-5.52	9
Total	200.96	-10.68	-15.49	100

En la tabla 05, se muestra el cambio temporal de la cobertura glaciar de Ananea durante los periodos 2015 y 2023. Durante los 9 años de estudios el nevado Ananea tuvo una variación de -8.68 km², también tuvo una tasa de cambio de -34.56 %. En el año 2016 tuvo una variación muy fuerte de -3.84 km² y una tasa de cambio de -15.3 %, pero para el año 2020 tuvo un aumento de la cobertura glaciar de +1.0 km² y una tasa de cambio de +5.37%, con estos resultados obtenidos durante los 9 años podemos deducir que la cobertura glaciar de Ananea tiene una atenuación reductiva. Por otro lado (**Molano et al., 2022**) en sus resultados reportaron que en el transcurso de 34 años, la cobertura glaciar en la Sierra Nevada del Cocuy ha disminuido en 1099,59 ha (1987-2021). Según el análisis, la superficie cubierta por glaciares se redujo aproximadamente un 37,92% en comparación con la imagen original de 1987; además con respecto al estudio realizado por (**Follanos & Sarmientos, 2020**) en sus resultados presentaron; que los nevados habían experimentado una tasa de retroceso glaciar notablemente elevada durante un

periodo de 30 años (1990-2020). Salkantay perdió 1691,65 ha (16,9165 km²) de superficie glaciar, y Verónica 1851,47 ha (18,5147 km²); También con respecto al estudio realizado por **(Zhou et al., 2022)** en sus resultados reportaron: durante los cuarenta años anteriores, el volumen total de los glaciares de la montaña Harlik de las montañas Tianshan orientales había disminuido en 0,018 km³ y la superficie glaciar se habría reducido en un 13% para ambos glaciares de Harlik y Tianshan.



Figura 08: Cambio de la cobertura glaciar de Ananea durante el 2015 y 2023.

En la figura 08, se muestran los resultados de la cobertura glaciar de Ananea, durante los 9 años ya transcurridos, en el año 2015 la cobertura glaciar fue de 25.11 km² que equivale al 14 %, mientras tanto en el año 2023 la cobertura glaciar fue de 16.43 km² que equivale al 9 %, con estos resultados obtenidos en la presente investigación, claramente se ve el retroceso de la cobertura glaciar de Ananea. Por otro lado **(Toribio, 2023)** en su resultados mostró tras 30 años de análisis, se estimó que la superficie glaciar del Huaytapallana que tuvo un área de 27,73 km² en 1990 y de 15,71 km² en 2020, lo que supone una disminución del 56,65%. A partir de los datos recogidos sobre la cobertura glaciar, se determinó una tasa de 0,42.

Tabla 06: Estadística descriptiva del área del glaciar Ananea, periodo (2015 - 2023).

Variable	N	Media	Mediana	Máximo	Mínimo	Desviación estándar	Curtosis
Cobertura glaciar	9	19.6	19.5	25.1	16.4	2.53	2.09
Nivel de confianza(95.0%)							

En la tabla 06, se muestra la estadística descriptiva de la cobertura glaciar de Ananea, durante los periodos 2015 y 2023, la variable cobertura glaciar presenta un promedio de 19.6 km², un máximo de 25.1 km² y un mínimo de 16.4 km, la curtosis nos muestra una distribución normal con un valor atípico de 2.09.

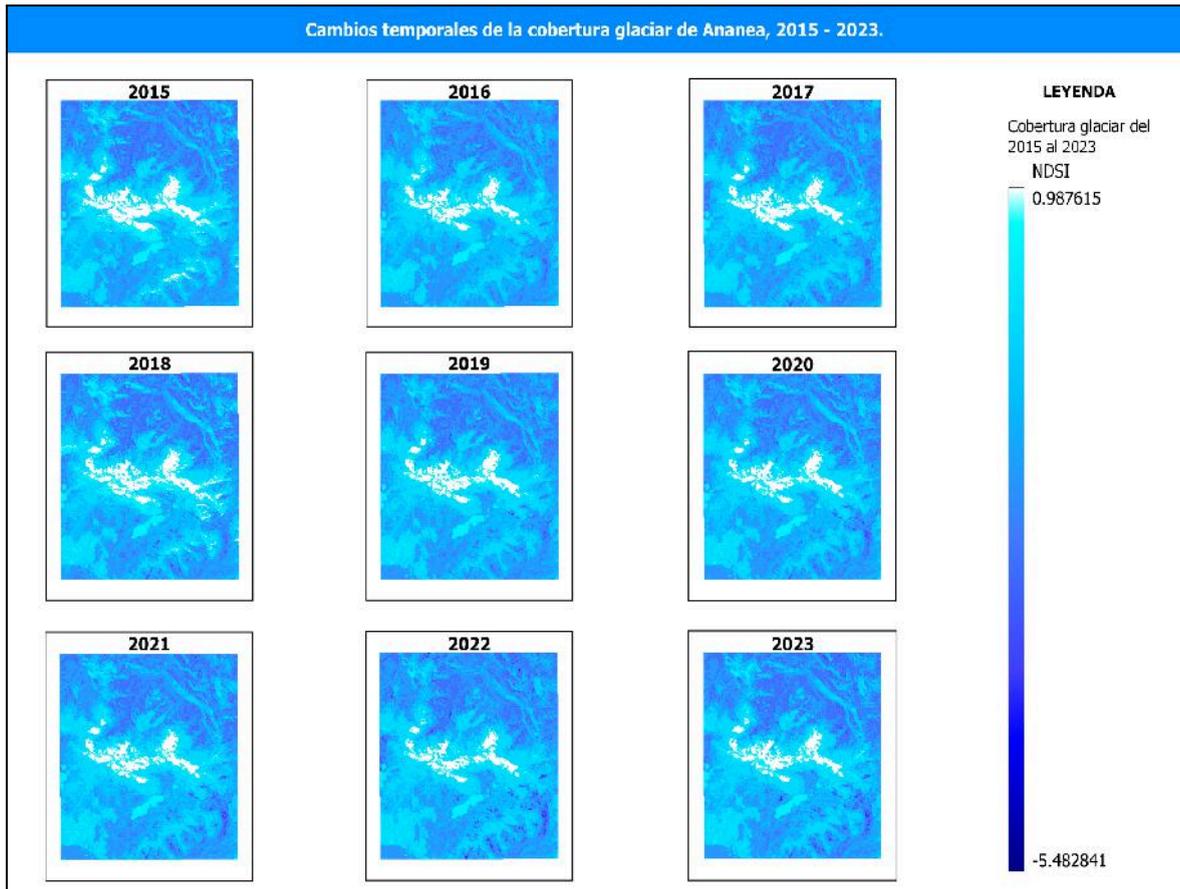


Figura 09: Cambio temporal de la cobertura glaciar durante el 2015 al 2023.

En la figura 09, se muestra la variación multitemporal de la cubierta glaciar durante los años 2015 y 2023. Donde los valores mayores ($>$) a 0.98 representan la cubierta glaciar, mientras tanto los valores ($<$) de 0.98 a -5.48 representan áreas sin cubierta glaciar, podemos deducir de acuerdo a la figura 00, claramente desde el 2015 al 2023 los glaciares se redujeron sus áreas significativamente. La presencia de nieve o hielo se determinó utilizando el Índice Diferencial de Nieve Normalizado (NDSI), para distinguir la nieve de los demás componentes de la imagen, como las nubes, se utiliza la relación normalizada entre la diferencia espectral y la diferencia de reflectancia en las bandas individuales.

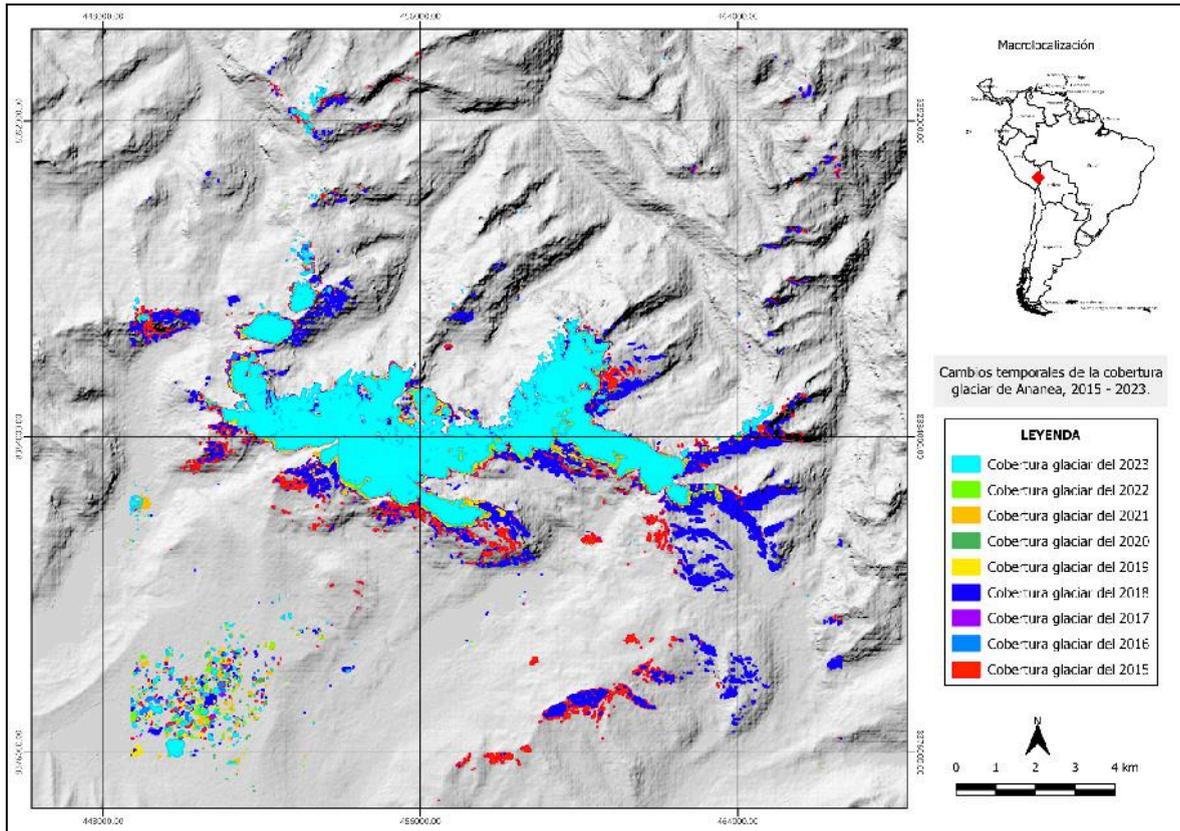


Figura 10: Mapa de cambio temporal de la cobertura glaciaria durante el 2015 al 2023.

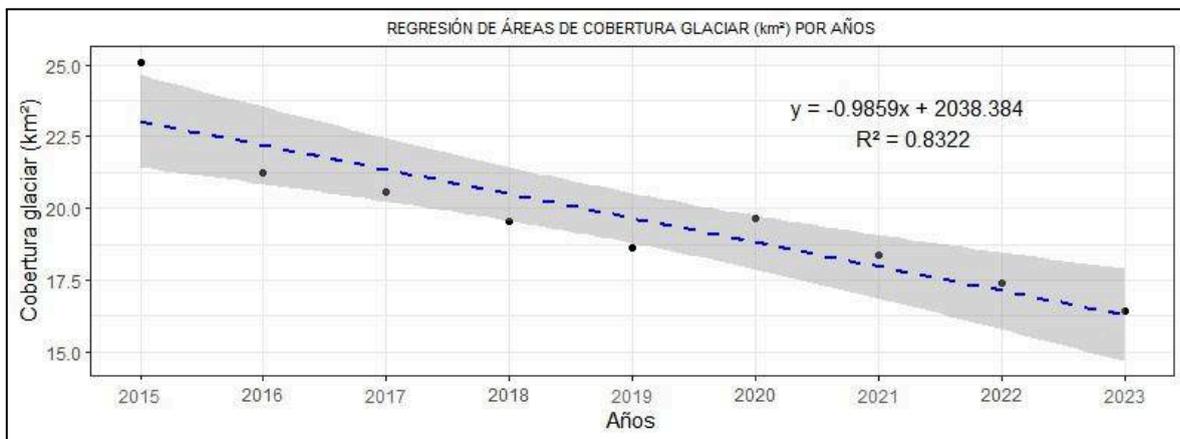


Figura 11: Regresión lineal del área de la cobertura glaciaria, con respecto al tiempo.

En la figura 11, se presenta la correlación entre las áreas de coberturas glaciarias con respecto al tiempo, donde la ecuación nos muestra una tendencia negativa (-), con un coeficiente de correlación cuadrática $R^2 = 0.832$, lo que indica de la variable independiente (años), el 83.22 % de la variabilidad con respecto a la variable dependiente

cobertura glaciar km², con la presente regresión lineal mostramos una tendencia decreciente de los glaciares en Ananea y es significativa.

Tabla 07: Pruebas de normalidad para la variable cobertura glaciar.

Pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk (Nivel de significancia al 95%)		
Variable	Statistic	p-value
Cobertura glaciar	0.925	0.437

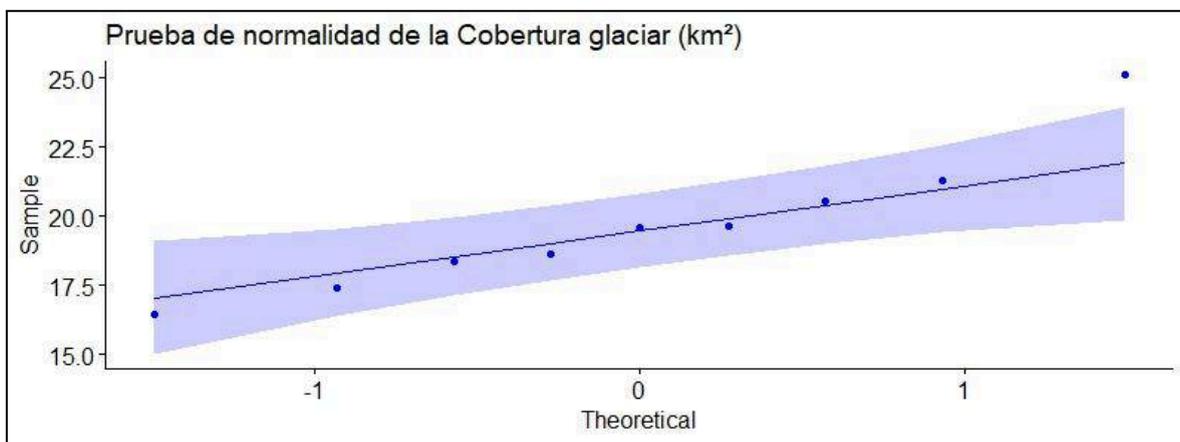


Figura 12: Gráfico de normalidad para la variable cobertura glaciar.

En la tabla 07 y figura 12 se muestra, la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, donde los datos de la cobertura glaciar tienen una distribución normal durante el periodo 2015 - 2023, de acuerdo al p-valor 0.437, que es mayor a 0.05 (con un nivel de significancia al 95%). Por ello concluimos que, los valores de la cobertura glaciar se distribuyen de forma normal, por lo que se puede indicar que cumple con el supuesto de normalidad, también indicamos que los valores de la cobertura glaciar son paramétricos.

4.2. EXPOSICIÓN Y ANALISIS DE DETERMINACION DE LA INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL RETROCESO DE LA COBERTURA GLACIAR DEL NEVADO ANANEA ENTRE EL 2015 - 2023.

Para los periodos del 2015 y 2023, se obtuvieron los registros de las temperaturas en la estación instalada, del geo porta (Power NASA), para el clasiar Ananea, procesado a una escala mensual/anual como se puede visualizar en el (Anexo 03), para las variables de temperatura máxima y mínima (°C).



Figura 13: Gráfico de temperaturas máximas y mínimas durante el 2015 - 2023.

Analizando la figura 13, podemos afirmar que la temperatura máxima y mínimas durante el periodo de estudio, tuvo un incremento con el paso del tiempo, como por ejemplo en el año 2023, la temperatura maximas y minimas llegaron al pico más alto de 13.9 °C y 4.9 °C, en el año 2015 las temperaturas máximas y mínimas eran bajas con 11.9 °C y -2.6, las temperaturas máximas y mínimas durante los 9 años de estudios tuvieron un incrementarse de +1.9 °C y +7.5, Con estos resultados obtenidos podemos demostrar que el cambio climático se está viviendo y se evidencian los impactos de las sequías. Por otro lado (**Margonari et al., 2023**) en sus resultados reportaron que: el mayor recurso de agua dulce del mundo se encuentra en forma de hielo en la Antártida. Los países miembros del Tratado Antártico, entre ellos Argentina, están preocupados por el informe

del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, según el cual la temperatura media mundial aumentará 1.1 °C.

Tabla 08: Estadística descriptiva de las temperaturas, periodo (2015 - 2023)

Variable	N	Media	Mediana	Máximo	Mínimo	Desviación estándar	Curtosis
Temperatura máxima (°C)	9	12.9	12.8	13.9	11.9	0.72	-1.44
Temperatura mínima (°C)	9	0.72	0.7	4.9	-2.63	2.36	-0.39

Nivel de confianza(95.0%)

En la tabla 08, podemos apreciar la estadística descriptiva de la media y la desviación estándar, se puede interpretar como cuánto se desvía, en promedio, de la media un conjunto de puntuaciones. Se obtuvo una media (promedio) de temperatura máxima de 12.9 °C y una desviación estándar de 0.72 °C, esta interrogante nos afirma que la temperatura máxima de la muestra se desvía en promedio de 0.72 °C respecto a la media, la curtosis nos muestra una distribución relativamente plana con un valor atípico de -1.44 °C. En cuanto para la temperatura mínima se obtuvo para su muestra una media (promedio) de 0.72 °C y una desviación estándar de 2.36 °C, esta interrogante nos afirma que la temperatura mínima de la muestra se desvía en promedio de 2.36 °C respecto a la media, la curtosis nos muestra una distribución relativamente plana con un valor atípico de -0.39. También con respecto al estudio realizado por **(Follanos & Sarmientos, 2020)** en sus resultados indica que estos cambios de las temperaturas se consideraron significativos para ambas montañas. Se prevé que el retroceso de los glaciares continúe

de forma exponencial debido a los numerosos cambios climáticos de los últimos años, esto tendría efectos perjudiciales para toda la vida dentro de la esfera de influencia de las montañas nevadas.

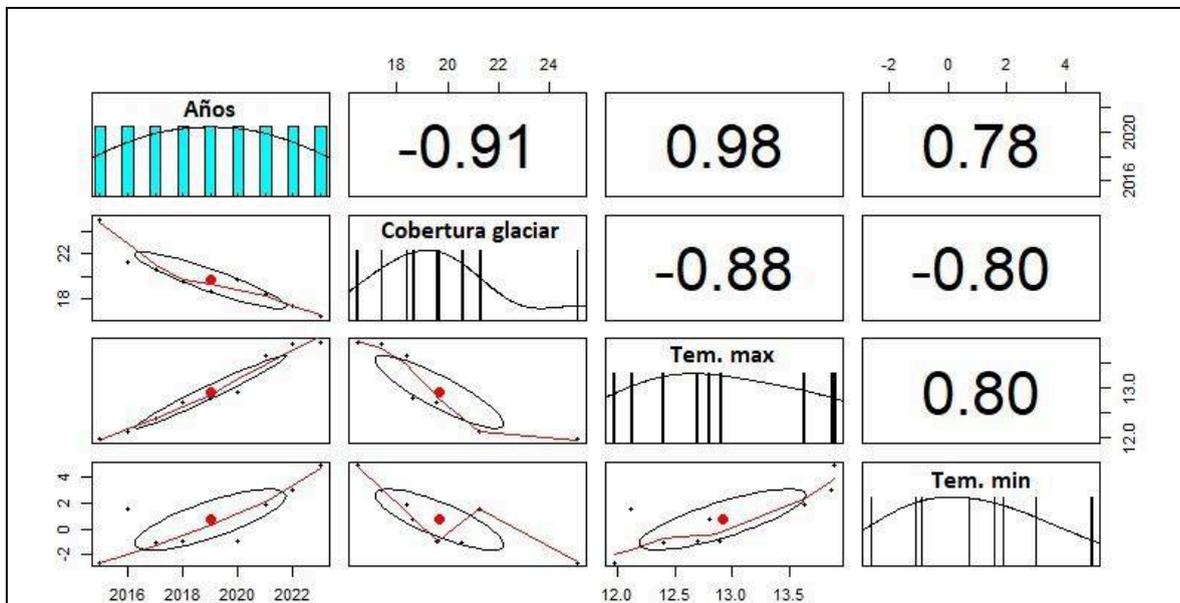


Figura 14: Correlación lineal de cobertura glaciar sobre temperaturas durante el 2015 - 2023.

En la figura 14, nos muestra los años con respecto a la cobertura glaciar, donde presentan una correlación negativa y significativa de -0.91, interpretando; durante el transcurso de los 9 años de estudios la cobertura glaciar ha disminuido su área. Por otro lado la cobertura glaciar con respecto a la temperatura máxima, tiene una correlación negativa y significativa de -0.88, interpretando; mientras tanto que las temperaturas máximas va aumentando la cobertura glaciar va decreciendo significativamente. También la cobertura glaciar con respecto a la temperatura mínima, tiene una correlación negativa y significativa de -0.80, interpretando; mientras tanto que las temperaturas mínimas va aumentando la cobertura glaciar va decreciendo significativamente. También con respecto al estudio realizado por **(Blancas et al., 2020)** en sus resultados indican una fuerte disminución de las zonas del Perú con nevadas, especialmente entre 2002 y 2009. Se

caracterizaron las tendencias en el aumento de las anomalías de temperatura máxima y mínima del orden de $0,5^{\circ}\text{C}$ utilizando datos del sistema PISCO (SENAMHI). Por último, se proyectó la superficie nevada en 2030 utilizando el enfoque de Markov, que reveló una disminución mayor que la observada durante el periodo de análisis. También **(Pacompia, 2022)** en sus resultados menciona cómo ha cambiado el clima a lo largo del tiempo es igualmente significativo. La temperatura máxima media tiende a aumentar $0,46^{\circ}\text{C}$, lo que se debe sobre todo al retroceso de los glaciares. En consecuencia, las temperaturas mínimas tienen tendencia a subir $0,23^{\circ}\text{C}$.

Tabla 09: Pruebas de normalidad para la variable temperaturas.

Pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk (Nivel de significancia al 95%)		
Variable	Statistic	p-value
Temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$)	0.911	0.325
Temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$)	0.963	0.828

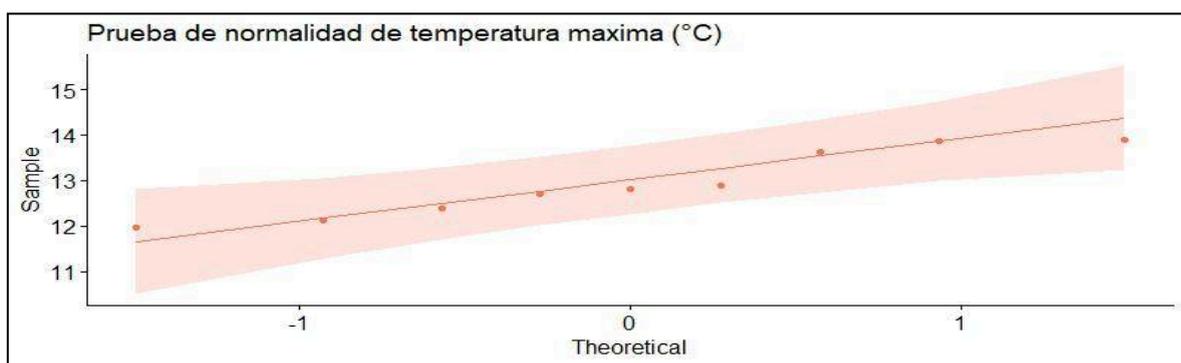


Figura 15: Gráfico de normalidad para la Tmax.

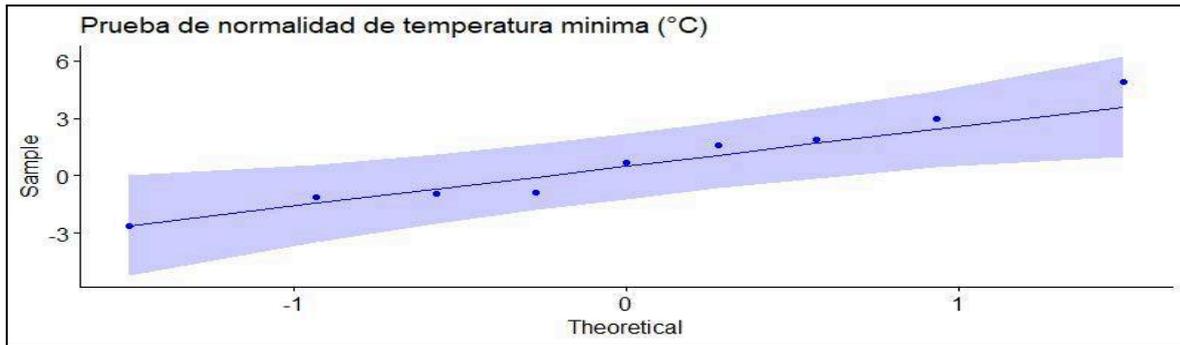


Figura 16: Gráfico de normalidad para la Tmin.

En la tabla 09 y en las figuras 15 y 16, se muestran la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, donde los datos de las temperaturas, tienen una distribución normal durante el periodo 2015 - 2023, de acuerdo al p-valor = 0.325 y p-valor = 0.828, para las temperaturas máximas y mínimas es mayor (>) a 0.05 (con un nivel de significancia al 95%). Por ello concluimos que, los valores de las temperaturas se distribuyen de forma normal, por lo que se puede indicar que cumple con el supuesto de normalidad, indicando que los valores son paramétricos.

4.3. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LA DETERMINACIÓN DE INFLUENCIA DE LAS PRECIPITACIÓN EN EL RETROCESO DE LA COBERTURA GLACIAR DEL NEVADO ANANEA ENTRE EL 2015 - 2023.

Para los periodos del 2015 y 2023, se obtuvieron los registros de las precipitaciones en la estación instalada, del geo porta (Power NASA), para el glaciar Ananea, procesado a una escala mensual/anual como se puede visualizar en el (Anexo 04), para la variable de precipitaciones (mm).



Figura 17: Gráfico de precipitaciones durante el 2015 - 2023.

Analizando la figura 17, podemos afirmar que las precipitaciones durante el periodo de estudio, tuvo un descenso con el paso del tiempo, como por ejemplo en el año 2015, las precipitaciones llegaron al pico más alto de 1908.02 mm, en el año 2022 las precipitaciones eran bajas con 899.97 mm, las precipitaciones durante los 9 años de estudios tuvieron un descenso de -972.79 mm, Con estos resultados obtenidos podemos demostrar que el cambio climático se está viviendo y se evidencian los impactos de las sequías. Por otra parte (**Molano et al., 2022**) en sus resultados reportaron que en el transcurso de 34 años (1987 al 2021). Según el análisis, la Sierra Nevada del Cocuy, Colombia, el Niño y otras variables de variabilidad climática, así como las vinculadas al calentamiento global, como el aumento de la temperatura media anual y el descenso de las precipitaciones, tienen un gran impacto en el ritmo de retroceso de los glaciares.

Tabla 10: Estadística descriptiva de precipitaciones, periodo (2015 - 2023).

Variable	N	Media	Mediana	Máximo	Mínimo	Desviación estándar	Curtosis
Precipitación (mm)	9	1414.46	1501.58	1908.02	899.97	345.53	-0.67
Nivel de confianza(95.0%)							

Analizando la tabla 10, la estadística descriptiva de la media y la desviación estándar, se puede interpretar cuánto se desvía en promedio, de la media un conjunto de puntuaciones, se muestra una media (promedio) de precipitación de 1414.46 mm y una desviación estándar de 345.53, esta interrogante nos afirma que la precipitación de la muestra se desvía en promedio de 345.53 mm respecto a la media, la curtosis nos muestra una distribución relativamente plana con un valor atípico de -0.67. También nos muestran durante los 9 años transcurridos, un máximo de precipitaciones de 1908.02 mm y un mínimo de 899.97 mm en el nevado Ananea, claramente con estos resultados obtenidos podemos demostrar que si existe una variación de las precipitaciones y concluimos que las precipitaciones han disminuido.

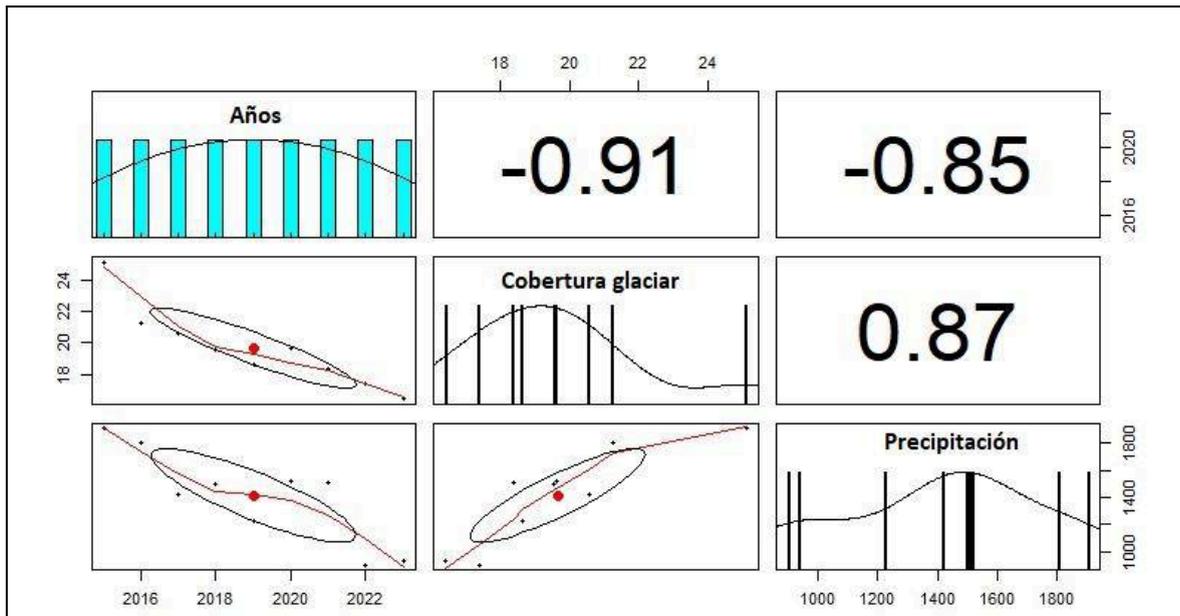


Figura 18: Correlación lineal de cobertura glaciar sobre precipitaciones durante el 2015 - 2023.

En la figura 18, nos muestra los años con respecto a la cobertura glaciar, donde presentan una correlación negativa y significativa de -0.91 , interpretando; durante el transcurso de los 9 años de estudios la cobertura glaciar ha disminuido su área. Por otro lado la cobertura glaciar con respecto a las precipitaciones, tiene una correlación positiva y significativa de 0.87 , interpretando; mientras tanto que las precipitaciones va disminuyendo la cobertura glaciar va aumentando con el decreciendo significativamente. Por otro lado (**Ccallata, 2021**) en sus resultados mostró que la cobertura glaciar de Salluyo se ha reducido un $28,45\%$ en los últimos 35 años. La temperatura y las precipitaciones son dos factores que influyen en el retroceso de los glaciares. Según el análisis de tendencias, se produjo un gran aumento tanto de las temperaturas máximas como de las mínimas entre 1985 y 1999. Sin embargo, no se observó ninguna tendencia significativa en ninguna de las dos temperaturas entre 2000 y 2020. Durante todo el periodo de estudio, se produjo un descenso significativo de las precipitaciones.

Tabla 11: Pruebas de normalidad para la variable precipitación.

Pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk (Nivel de significancia al 95%)		
Variable	Statistic	p-value
Precipitación (mm)	0.930	0.483

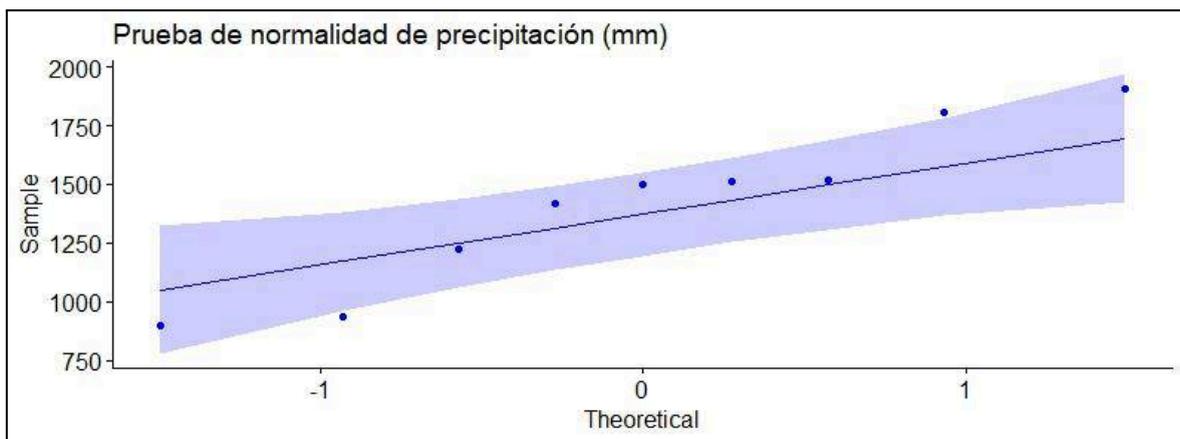


Figura 19: Gráfico de normalidad para la precipitación.

En la tabla 11 y en las figuras 19, se muestran la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, donde los datos de las precipitaciones, tienen una distribución normal durante el periodo 2015 - 2023, de acuerdo al p-valor = 0.483, para las precipitaciones es mayor (>) a 0.05 (con un nivel de significancia al 95%). Por ello concluimos que, los valores de las precipitaciones se distribuyen de forma normal, por lo que se puede indicar que cumple con el supuesto de normalidad, indicando que los valores son paramétricos.

4.4. PROCESO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS

Regla de decisiones:

P-valor = < α , se rechaza la H_N (Se acepta la H_A).

P-valor = > α , se acepta la H_N (Se rechaza la H_A).

Indicando que la hipótesis nula está indicada con (H_0) y la hipótesis alterna está indicada con (H_A), donde también se indica que el nivel de significancia es $\alpha = 0.05$, con un nivel de confianza al 95%.

4.4.1. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 1.

Formulación de la hipótesis estadística

H_A = La cobertura glaciar del nevado Ananea de la cordillera Apolobamba es de -10.0 km² durante el periodo 2015 - 2023.

H_0 = La cobertura glaciar del nevado Ananea de la cordillera Apolobamba es de +10.0 km² durante el periodo 2015 - 2023.

Resultado de la prueba de hipótesis

En la figuras 21, se aprecia la prueba estadística de correlación y regresión lineal de la cobertura glaciar del nevado Ananea con respecto a los años; indicando que de acuerdo a la prueba estadística se han obtenido un valor de significancia de p-valor $6e-04$, para la cobertura glaciar con respecto a los años, comparado con el valor alfa 0.05 es menor. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la:

Hipótesis Alterna = La cobertura glaciar del nevado Ananea de la cordillera Apolobamba es de -10.0 km² durante el periodo 2015 - 2023.

4.4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 2.

Formulación de la hipótesis estadística

H_A = La temperatura influye en el retroceso glaciar del nevado Ananea entre el 2015 - 2023.

H_0 = La temperatura no influye en el retroceso glaciar del nevado Ananea entre el 2015 - 2023.

Resultado de la prueba de hipótesis

En la tabla 12 y en las figuras 20, 21, se aprecia la prueba estadística de correlación y regresión lineal de la cobertura glaciar del nevado Ananea con respecto a las temperaturas; indicando que de acuerdo a la prueba estadística se han obtenido un valor de significancia de p-valor 0.0017, para la cobertura glaciar con respecto a las temperaturas máximas, también se han obtenido un valor de significancia de p-valor 0.0089, para la cobertura glaciar con respecto a las temperaturas mínimas, comparado con el valor alfa 0.05 es menor. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la:

Hipótesis Alterna = La temperatura influye en el retroceso glaciar del nevado Ananea entre el 2015 - 2023.

4.4.3. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 3.

Formulación de la hipótesis estadística

H_A = La precipitación influye en el retroceso glaciar del nevado Ananea entre el 2015 - 2023.

H_N = La precipitación no influye en el retroceso glaciar del nevado Ananea entre el 2015 - 2023.

Resultado de la prueba de hipótesis

En la tabla 12 y en las figuras 20, 21, se aprecia la prueba estadística de correlación y regresión lineal de la cobertura glaciar del nevado Ananea con respecto a las precipitaciones acumulada; indicando que de acuerdo a la prueba estadística se han obtenido un valor de significancia de p-valor 0.0023, para la cobertura glaciar con respecto a las precipitaciones, comparado con el valor alfa 0.05 es menor. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la:

Hipótesis Alternativa = La precipitación influye en el retroceso glaciar del nevado Ananea entre el 2015 - 2023.

Tabla 12: Matriz de correlación de Pearson de las variables.

		Correlaciones			
		Cobertura glaciar	Tmax	Tmin	Precipitación
Cobertura glaciar	Method Pearson	1	-0.88	-0.8	0.87
	p-value	<2.2e-16	0.0017	0.0089	0.0023
Tmax	Method Pearson	-0.88	1	0.8	-0.83
	p-value	0.0017	<2.2e-16	0.01	0.0054
Tmin	Method Pearson	-0.8	0.8	1	-0.72
	p-value	0.0089	0.01	<2.2e-16	0.028
Precipitación	Method Pearson	0.87	-0.83	-0.72	1
	p-value	0.0023	0.0054	0.028	<2.2e-16

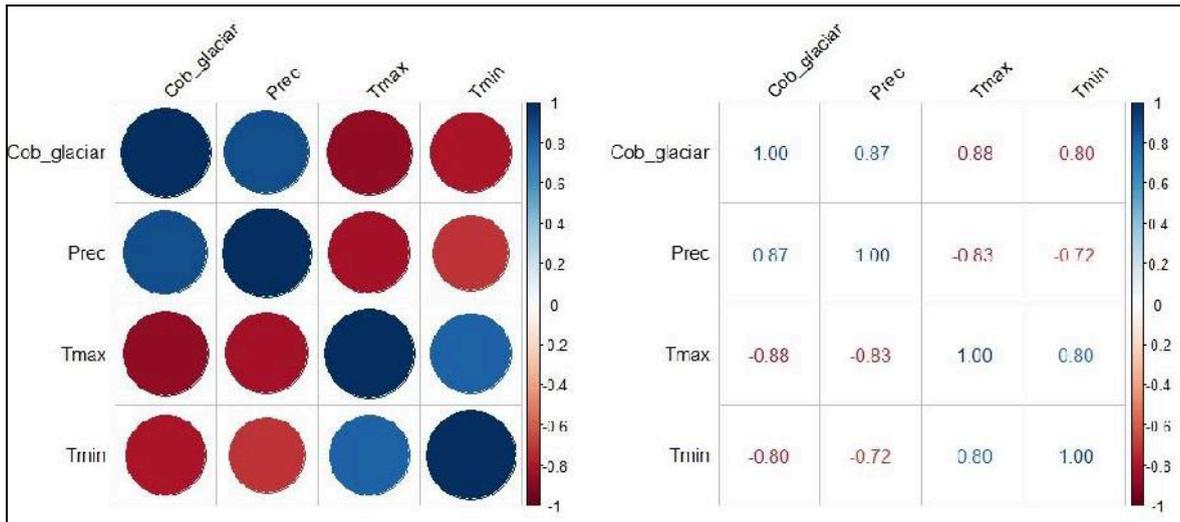


Figura 20: Correlograma para las variables en símbolos y en numericos.

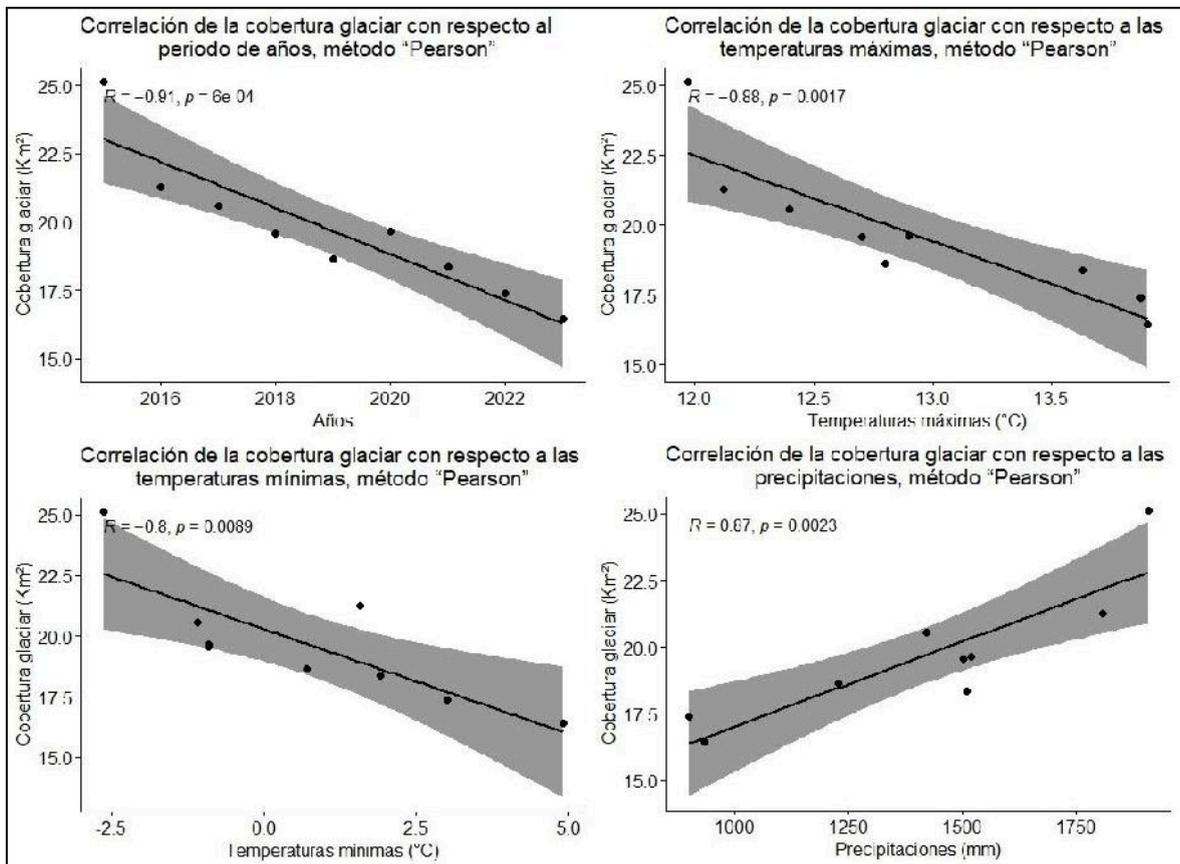


Figura 21: Correlación de la variable independiente con respecto a la variable dependiente

CONCLUSIONES

PRIMERA: Al evaluar el retroceso de la cobertura glaciar del nevado Ananea de la cordillera Apolobamba causado por la influencia de los elementos climáticos, período 2015 - 2023. Se concluye que las coberturas glaciares durante los últimos 9 años, ha decrecido estadísticamente significativamente, debido al aumento exponencialmente de las temperaturas máximas y mínimas, también por otro lado a las ausencias de las precipitaciones en el nevado Ananea.

SEGUNDA: Al estimar el área del retroceso de la cobertura glaciar del nevado Ananea entre el 2015 - 2023. Se concluye que la cobertura glaciar con respecto a los años de estudio, presenta una correlación negativa y significativa de -0.91, interpretando; durante el transcurso de los 9 años de estudios la cobertura glaciar ha disminuido significativamente su área.

TERCERA: Al determinar la influencia de la temperatura en el retroceso de la cobertura glaciar del nevado Ananea entre el 2015 - 2023. Se concluye que la cobertura glaciar con respecto a la temperatura máxima, tiene una correlación negativa y significativa de -0.88, interpretando; mientras tanto que las temperaturas máximas va aumentando la cobertura glaciar va decreciendo significativamente. También la cobertura glaciar con respecto a la temperatura mínima, tiene una correlación negativa y significativa de -0.80, interpretando; mientras tanto que las temperaturas mínimas va aumentando la cobertura glaciar va decreciendo significativamente.

CUARTA: Al determinar la influencia de la precipitación en el retroceso de la cobertura glaciar del nevado Ananea entre el 2015 - 2023. Se concluye que la cobertura glaciar con respecto a las precipitaciones, tiene una correlación positiva y significativa de 0.87, interpretando; mientras tanto el nevado Ananea presenta ausencias de las precipitaciones, la cobertura glaciar va aumentando con el decreciendo significativamente.

RECOMENDACIONES

PRIMERA: Se recomienda a los investigadores realizar mayores investigaciones respecto a los cambios o retrocesos de la cobertura glaciar, encontrados en alta montaña en la zona sur del Perú, donde se han encontrado pocas investigaciones realizadas en este ámbito.

SEGUNDA: Al distrito de Ananea, fortalecer las capacidades de gestión pública de los responsables involucrados para establecer y ejecutar programas para la sostenibilidad de los ecosistemas e implementar programas de educación ambiental.

TERCERA: A los pobladores del distrito de Ananea, tomar más conciencia ambiental, para evitar la errada costumbre de contaminar las aguas y los suelos por la minería, las mismas que generan los cambios del clima, el retroceso glaciar, sequías y escasez del recurso hídrico haciendo más vulnerable a los ecosistemas.

CUARTA: Al Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM), de acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación, tomen las medidas correctivas para aminorar los cambios de las coberturas glaciares y así no poder concebir cambio del clima como se suscita en el presente.

BIBLIOGRAFÍA

- Aedo Tapia, J. D., & Quispe Curasco, W. (2022). Estimación del retroceso y predicción del tiempo de permanencia del Nevado Chicón mediante el análisis multitemporal entre los años 1985-2021, Cusco. *Repositorio Institucional - UCV*.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/91586>
- Apaza Panca, C. Z. (2021). *Análisis comparativo de la evaluación del espectro electromagnético Wi-Fi e impacto ambiental en colegios de la ciudad de Puno y Juliaca – 2019*.
- Blancas, A. N. I., Corzo, A. X. M., & Sánchez, E. Á. (2020). Cambios en las áreas nevadas y tendencias en la cobertura de nieve para el 2030 en el sur del Perú. *Terra. Nueva Etapa*, 36(59), Article 59.
http://saber.ucv.pe/ojs/index.php/rev_terr/article/view/22110
- Cabrera-Tenecela, P. (2023). Nueva organización de los diseños de investigación. *South American Research Journal*, 3(1), Article 1.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.8050508>
- Calderon Hernandez, J. J., & Mora Pérez, W. (2022). Modelado por teledetección entre 2013 y 2021 del retroceso glaciar como consecuencia del cambio climático en la Cordillera Vilcabamba. *Repositorio Institucional - UCV*.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/100467>
- Ccallata Taype, I. 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 Institucional - UCV*.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/60169>
- Chávez, L. S. A., & Moreano, R. (2013). Sistema de Información para la Interpolación de Datos de Temperatura y Precipitación del Ecuador. *Revista Politécnica*, 32.
https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view

w/52

- Concha Niño de Guzmán, R. F., Úbeda Palenque, J., Iparraguirre Ayala, J. E. A., Granados Alegre, H., Vásquez Choque, E. P., & Gómez Cahuaya, E. W. (2022). El registro geomorfológico glacial de los cambios climáticos en la Cordillera Blanca. *Repositorio Institucional INGEMMET*.
<https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/4395>
- Delgado Adriano, E. C., & Limas Cerna, J. L. (2021). Centro de investigación glacial para contrarrestar la desglaciación en el Nevado Pastoruri, Parque Nacional Huascarán, 2019. *Repositorio Institucional - UCV*.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/71906>
- Fathi, A., & Salehi, A. (2022). Antimicrobial resistance properties of *Helicobacter pylori* strains isolated from dental plaque and saliva samples. *Academic Journal of Health Sciences: Medicina Balear*, 37(1), 29-33.
- Fernández, L. T. L., & Rincón, L. N. G. (2020). Procesamiento de imágenes satelitales. *L'esprit Ingénieur*, 11(1), Article 1.
- Figueredo Fernández, J. L., Ramón Puebla, A. M., Barrero Medel, H., Figueredo Fernández, J. L., Ramón Puebla, A. M., & Barrero Medel, H. (2020). Análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal en el área de manejo «Los Números» Guisa, Granma. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 8(1), 1-15.
- Follanos Molero, A., & Sarmientos Fuentes, J. A. (2020). Evaluación de la regresión glacial de los nevados Salkantay y Veronica mediante el análisis multi-temporal entre los años 1990-2020, Cusco. *Repositorio Institucional - UCV*.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/60800>
- Grémillet, D., Fort, J., Amélineau, F., Zakharova, E., Le Bot, T., Sala, E., & Gavriilo, M. (2015). Arctic warming: Nonlinear impacts of sea-ice and glacier melt on seabird foraging. *Global Change Biology*, 21(3), 1116-1123.

<https://doi.org/10.1111/gcb.12811>

- Haut Hurtado, J. M. (2019). *Nuevas técnicas para el procesamiento masivo de datos de observación remota de la Tierra* [Http://purl.org/dc/dcmitype/Text, Universidad de Extremadura]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=247437>
- Hernández-Camacho, M. A. (2018). *Análisis de la demanda hídrica de los cultivos de caña de azúcar, arroz, sandía y melón en la cuenca media y baja de Río Tempisque, mediante el tratamiento e imágenes satelitales en el periodo 1990-2017*. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/9887>
- Infante Betancourt, P., & Martínez Mora, J. P. (2017). *Análisis multitemporal de las coberturas vegetales en la cuenca del rio pauto, departamento del Casanare*. <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/5383>
- Iparraguirre, J., Úbeda Palenque, J., Navarro Frutos, Á., Dávila Roller, L., Concha Niño de Guzmán, R. F., Pellitero Ondicol, R., Luna Guillén, G., & Vásquez Choque, E. P. (2019). Modelo hipsométrico de la deglaciación futura de la Cuenca Paltay (Cordillera Blanca, Perú). *Repositorio Institucional INGEMMET*. <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/3770>
- Jiménez Tejeda, L. A., & Tecse López, C. A. (2021). Revisión sistemática de deglaciación, extensión superficial y formación de lagos en la cordillera de los Andes-Perú mediante métodos de teledetección, 2020. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/60526>
- Kania, N., & Kusumah, Y. S. (2023). Bibliometric analysis using R studio: Twenty-Eight years of virtual reality research in math teaching. *AIP Conference Proceedings*, 2909(1), 040001. <https://doi.org/10.1063/5.0182193>
- Liashenko, D., Belenok, V., Spitsa, R., Pavlyuk, D., & Boiko, O. (2020). *Landslide GIS modelling with QGIS software*. 2020(1), 1-5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202056069>

- Margonari, L. S., Marinsek, S., & Lirio, J. M. (2023). LARSEN B, RETRATO DEL CALENTAMIENTO: En la bahía Larsen B, noreste de la Península Antártica, desembocan numerosos glaciares de descarga, que son importantes reservas de agua dulce... ¿Cómo les está afectando el cambio climático? *Desde la patagonia. Difundiendo saberes*, 20(36), Article 36.
- Martínez, R., & Cristina, D. (2019). *Aplicación de un instrumento remoto basado en un UAV: Observación óptica y térmica de la ciudad de SLP*.
<https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/handle/i/7998>
- Martínez-Barbáchano, R. (2020). Estimación de la temperatura superficial en imágenes históricas Landsat 5 mediante corrección atmosférica monocanal en el térmico para la cuenca del río Tempisque-Bebedero (Costa Rica). *Revista Geográfica de América Central*, 65, 17-32. <https://doi.org/10.15359/rgac.65-2.1>
- Medina-García, G., Echavarría-Cháirez, F. G., Ruiz-Corral, J. A., Rodríguez-Moreno, V. M., Soria-Ruiz, J., Mora-Orozco, C. D. la, Medina-García, G., Echavarría-Cháirez, F. G., Ruiz-Corral, J. A., Rodríguez-Moreno, V. M., Soria-Ruiz, J., & Mora-Orozco, C. D. la. (2020). Efecto del calentamiento global sobre la producción de alfalfa en México. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 11, 34-48.
<https://doi.org/10.22319/rmcp.v11s2.4686>
- Meléndez Podesta, A. (2023). *La significación del conocimiento tradicional: Reflexiones y experiencias desde el método inductivo Intercultural*.
<https://hdl.handle.net/20.500.12371/18527>
- Molano, S. M., Cardenas, D. P., Snaider Gómez, H., Alvarado, D. M., Galindo, A. F., Sanabria, J. F., Gómez-Neita, J. S., Molano, S. M., Cardenas, D. P., Snaider Gómez, H., Alvarado, D. M., Galindo, A. F., Sanabria, J. F., & Gómez-Neita, J. S. (2022). Evaluación del retroceso glaciar de la Sierra Nevada del Cocuy, Colombia a partir de la clasificación de imágenes multisensor. *Boletín de Geología*, 44(1),

49-73. <https://doi.org/10.18273/revbol.v44n1-2022002>

Pacompia Vilca, S. E. (2022). Nivel de desglaciación del nevado Allinca pac entre los años 2000 y 2020 ubicado en el Distrito de Macusani. *Universidad Privada San Carlos*. <http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/437>

Panca, C. Z. A., & Cruz, R. C. (2021). Análisis comparativo de la evaluación del espectro electromagnético Wi-Fi e impacto ambiental en colegios de la ciudad de Puno y Juliaca – 2019. *Revista Científica Investigación Andina*, 20(2), Article 2. <https://doi.org/10.35306/rev>

Paz-Pellat, F., Castillo, E., Cabrera, J. C., & Medrano, E. (2018). Base de datos nacional de índices de vegetación: Resolución espacial de 250 m y resolución temporal de 10 días. *Elementos para Políticas Públicas*, 2(2), Article 2.

Reyes González, M. C. (2017). *Evaluación de la deforestación en las sabanas del Yarí a partir de un análisis multitemporal de imágenes de satélite Landsat años 2010 y 2017 por medio del procesamiento digital de imágenes*. <http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/16648>

Reyes-Palomino, S. E., Cano Ccoa, D. M., Reyes-Palomino, S. E., & Cano Ccoa, D. M. (2022). Efectos de la agricultura intensiva y el cambio climático sobre la biodiversidad. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 24(1), 53-64. <https://doi.org/10.18271/ria.2022.328>

Riu Gras, J. (2018). *Cámara lidar de escaneo mems para imagen 3d de resolución espacial variable* [Http://purl.org/dc/dcmitype/Text, Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=257461>

Ruiz, L. E. (2013). *Análisis geomorfológico, sedimentológico y crono-estratigráfico, de depósitos glaciales, periglaciales y glaciogénicos, en la Cordillera de los Andes y zonas adyacentes entre el paralelo 42° y el 43° LS, desde la última glaciación* [Tesis Doctoral, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y

Naturales].

https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/collection/tesis/document/tesis_n5311_Ruiz

Suárez, A., Llugsi, R., Lupera, P., Chango, R., Suárez, A., Llugsi, R., Lupera, P., & Chango, R. (2017). Implementación de un Sistema Aéreo de Medición y Almacenamiento de Parámetros Meteorológicos Georreferenciados para Zonas Pequeñas. *Revista Politécnica*, 39(2), 17-26.

Toribio Quispe, S. M. (2023). Análisis del efecto espacio—Temporal del retroceso glaciar del nevado Huaytapallana en los bofedales del Área de Conservación Regional Huaytapallana en el periodo de 1990-2020, Junín—2022. *Universidad Continental*. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/13020>

Ventura-Roca, J. (2020). Distribución espacial y temporal de glaciares, glaciares cubiertos y glaciares rocosos durante la última deglaciación en el valle de La Bonaigua (Pirineo Central). *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 46(2), Article 2. <https://doi.org/10.18172/cig.4395>

Yela, J. P. R. (2017). EJE 05-02 Evaluación de Método de Corrección Geométrica de Fotografía Aérea escala 1:1.000 capturada por vehículos aéreos no tripulados estableciendo una red Geodésica de cuarto orden. *Memorias y Boletines de la Universidad del Azuay*, XVI, Article XVI. <https://doi.org/10.33324/memorias.v1iXVI.64>

Zhou, P., Zhang, H., & Li, Z. (2022). Impact of Climate Change on the Glacier and Runoff of a Glacierized Basin in Harlik Mountain, Eastern Tianshan Mountains. *Remote Sensing*, 14(14), Article 14. <https://doi.org/10.3390/rs14143497>

ANEXOS

Anexo 01: Matriz de consistencia.

“Retroceso de la cobertura glaciar del nevado Ananea cordillera apolobamba por influencia de elementos climáticos, período 2015 - 2023”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	TÉCNICA DE PROCESAMIENTO DE DATOS
<p>GENERAL</p> <p>¿Cuál es el retroceso de la cobertura glaciar del nevado Ananea cordillera Apolobamba causado por la influencia de elementos climáticos, período 2015 - 2023?.</p> <p>ESPECÍFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> ¿Cuál es el área del retroceso de la cobertura glaciar del nevado Ananea entre el 2015 - 2023? ¿De qué manera la temperatura influye en el retroceso glaciar del nevado Ananea entre el 2015 - 2023? ¿De qué manera la precipitación influye en el retroceso glaciar del nevado Ananea entre el 2015 - 2023? 	<p>GENERAL</p> <p>Evaluar el retroceso de la cobertura glaciar del nevado Ananea cordillera Apolobamba causado por la influencia de elementos climáticos, período 2015 - 2023.</p> <p>ESPECÍFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> Estimar el área del retroceso de la cobertura glaciar del nevado Ananea entre el 2015 - 2023. Determinar la influencia de la temperatura en el retroceso de la cobertura glaciar del nevado Ananea entre el 2015 - 2023. Determinar la influencia de la precipitación en el retroceso de la cobertura glaciar del nevado Ananea entre el 2015 - 2023. 	<p>GENERAL</p> <p>El retroceso de la cobertura glaciar del nevado Ananea de la cordillera Apolobamba es de -9 km² por la influencia negativa de los elementos climáticos durante el período 2015 - 2023.</p> <p>ESPECÍFICAS</p> <ul style="list-style-type: none"> La cobertura glaciar del nevado Ananea de la cordillera Apolobamba es de -10,0 km² durante el período 2015 - 2023. La temperatura influye en el retroceso glaciar del nevado Ananea entre el 2015 - 2023. La precipitación influye en el retroceso glaciar del nevado Ananea entre el 2015 - 2023. 	<p>Variable Independiente:</p> <p>Influencia de elementos climáticos.</p> <p>Variable Dependiente:</p> <p>Retroceso de la cobertura glaciar.</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 (mm) Anual (mm) <p>Área</p> <ul style="list-style-type: none"> km² % 	<p>R-Studio (v4.3.1)</p> <p>Software QGis (v3.26.17)</p> <p>Power nasa: Información meteorológica desde el año 2015 al 2023</p>	<p>Imágenes Satelitales LANDSAT 8</p> <p>Tipo de Investigación</p> <ul style="list-style-type: none"> - Descriptivo. - Aplicada de 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 <p>Población y muestra:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nevado Ananea

Anexo 02: Descarga de imágenes satelitales Landsat 8, de la plataforma Google Earth Engine.

Landsat, a joint program of the USGS and NASA, has been observing the Earth continuously from 1972 through the present day. Today the Landsat satellites image the entire Earth's surface at a 30-meter resolution about once every two weeks, including multi-spectral and thermal data. The USGS produces data in 3 categories for each satellite (Tier 1, Tier 2 and RT). Read more about the different tiers:





Surface Reflectance

Landsat 8 OLI/TIRS Collection 2 atmospherically corrected surface reflectance.

Dataset Availability: April 2015–Present

Tier 1 Tier 2



Top of Atmosphere

Landsat 8 OLI/TIRS Collection 2 calibrated top-of-atmosphere (TOA) reflectance.

Dataset Availability: April 2013–Present

Tier 1 T1+ Real-Time Tier 2

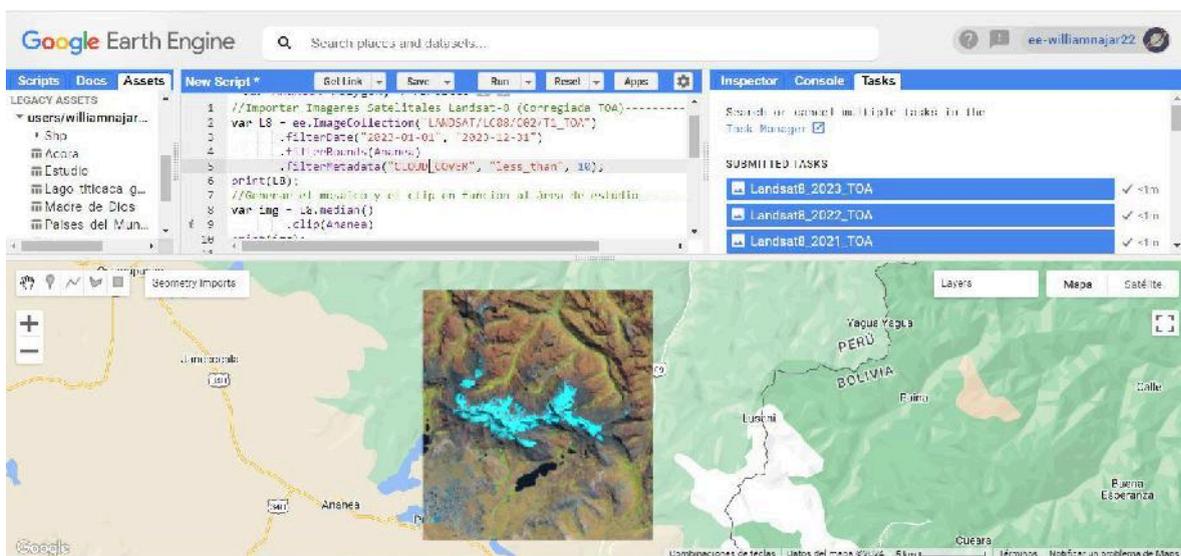


Raw Images

Landsat 8 OLI/TIRS Collection 2 DN values, representing scaled, calibrated at-sensor radiance.

Dataset Availability: April 2013–Present

Tier 1 T1+ Real-Time Tier 2



Anexo 03: Datos de temperaturas del nevado Ananea, obtenido del portal Power nasa.

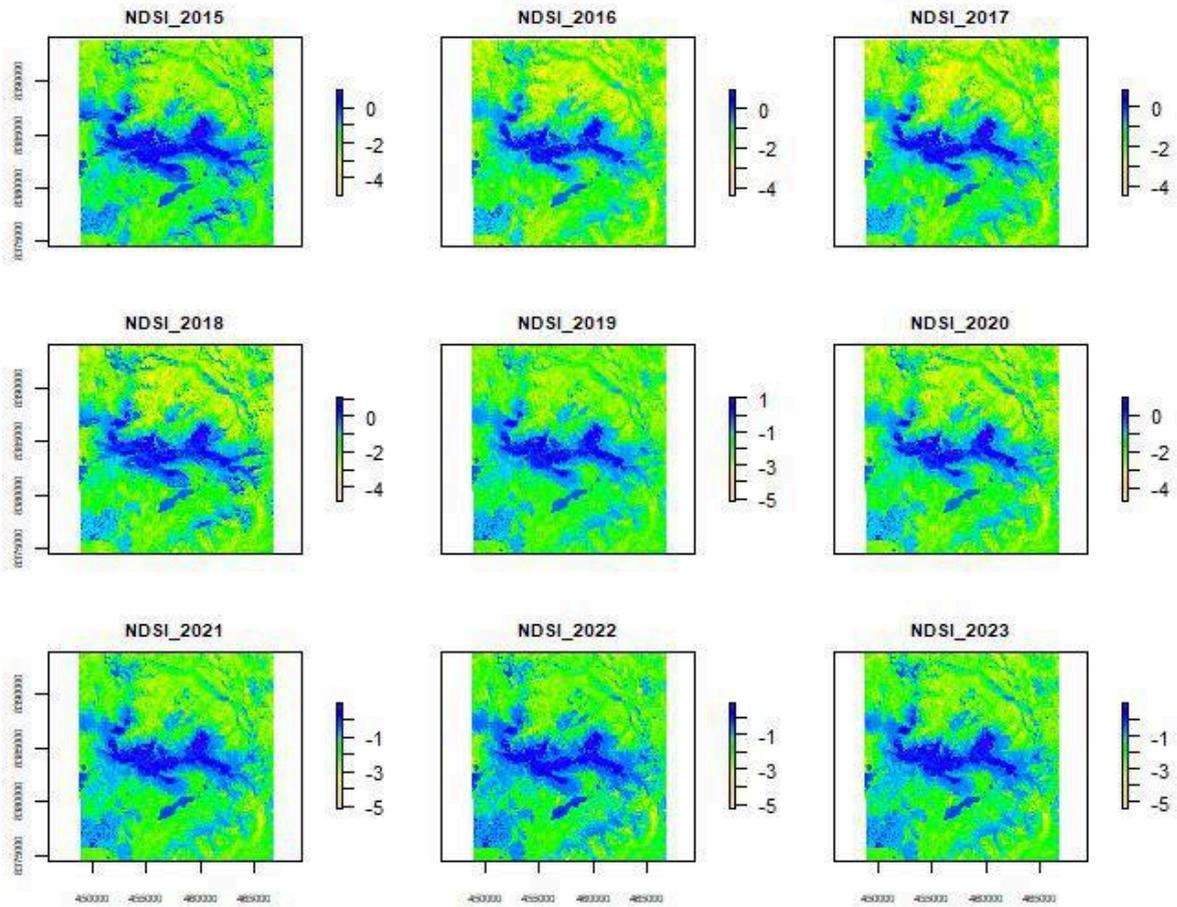
Coordenadas de la estación		Nevado Ananea												Total general	
Promedio de T _{max} (°C)		Latitude						Longitude						-69.4082	
Periodo de años		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total general	
2015	12.12	10.60	12.99	10.80	10.20	10.10	11.10	11.30	13.90	13.20	13.00	14.36	11.97		
2016	13.10	14.31	12.60	12.10	10.50	10.50	11.20	12.10	10.40	11.80	12.70	14.10	12.12		
2017	13.67	12.60	13.07	10.20	11.30	10.20	11.60	12.70	12.83	12.40	14.18	14.04	12.40		
2018	12.70	12.71	12.99	12.88	13.49	11.60	11.20	11.56	11.50	13.90	14.22	13.63	12.70		
2019	12.60	13.06	12.30	11.50	11.70	13.31	10.80	13.50	13.51	13.59	14.39	13.31	12.80		
2020	13.58	13.40	13.67	10.40	11.40	11.10	10.20	14.07	13.18	14.68	15.37	13.79	12.90		
2021	12.99	13.90	14.10	13.36	13.41	12.33	11.50	13.90	13.20	15.10	14.30	15.50	13.63		
2022	13.36	13.08	12.98	14.39	13.84	12.58	13.82	13.60	14.10	15.10	15.20	14.40	13.87		
2023	13.69	13.21	13.23	13.85	13.35	13.68	14.48	14.04	13.89	14.86	13.73	14.80	13.90		
Total general	13.09	12.99	13.10	12.16	12.13	11.71	11.77	12.98	12.95	13.85	14.12	14.22	12.92		

Coordenadas de la estación		Nevado Ananea												Total general	
Promedio de T _{min} (°C)		Latitude						Longitude						-69.4082	
Periodo de años		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total general	
2015	-0.20	0.40	0.70	-2.38	15.20	-9.30	-8.60	-4.30	-0.80	0.40	-1.00	1.90	-2.63		
2016	5.37	5.91	5.40	4.16	-0.10	-10.20	1.07	-6.70	4.61	1.80	3.99	3.90	1.57		
2017	4.53	5.34	1.80	-4.34	-6.80	-8.90	-7.90	-3.80	-2.70	7.00	0.80	1.90	-1.09		
2018	4.70	4.53	3.50	-3.83	-2.59	-11.20	-9.60	-1.86	1.99	1.60	-0.10	2.40	-0.90		
2019	4.99	5.33	5.18	4.48	3.03	-11.40	-10.80	-1.70	-2.10	1.80	4.24	5.30	0.70		
2020	5.58	5.54	5.06	4.34	-6.30	-10.60	-9.80	-2.70	-2.80	-4.40	-0.20	5.30	-0.90		
2021	5.15	4.83	4.37	4.90	-3.70	-7.90	-8.90	3.50	5.70	4.80	5.15	4.90	1.90		
2022	4.50	4.86	4.76	3.10	2.10	1.00	0.10	1.62	2.70	3.79	3.05	4.54	3.01		
2023	5.90	5.40	4.72	4.40	4.10	1.90	2.90	3.90	4.90	6.30	6.90	7.50	4.90		
Total general	4.51	4.68	3.94	1.63	-1.72	-7.50	-5.73	-1.84	1.28	2.57	2.20	4.20	0.73		

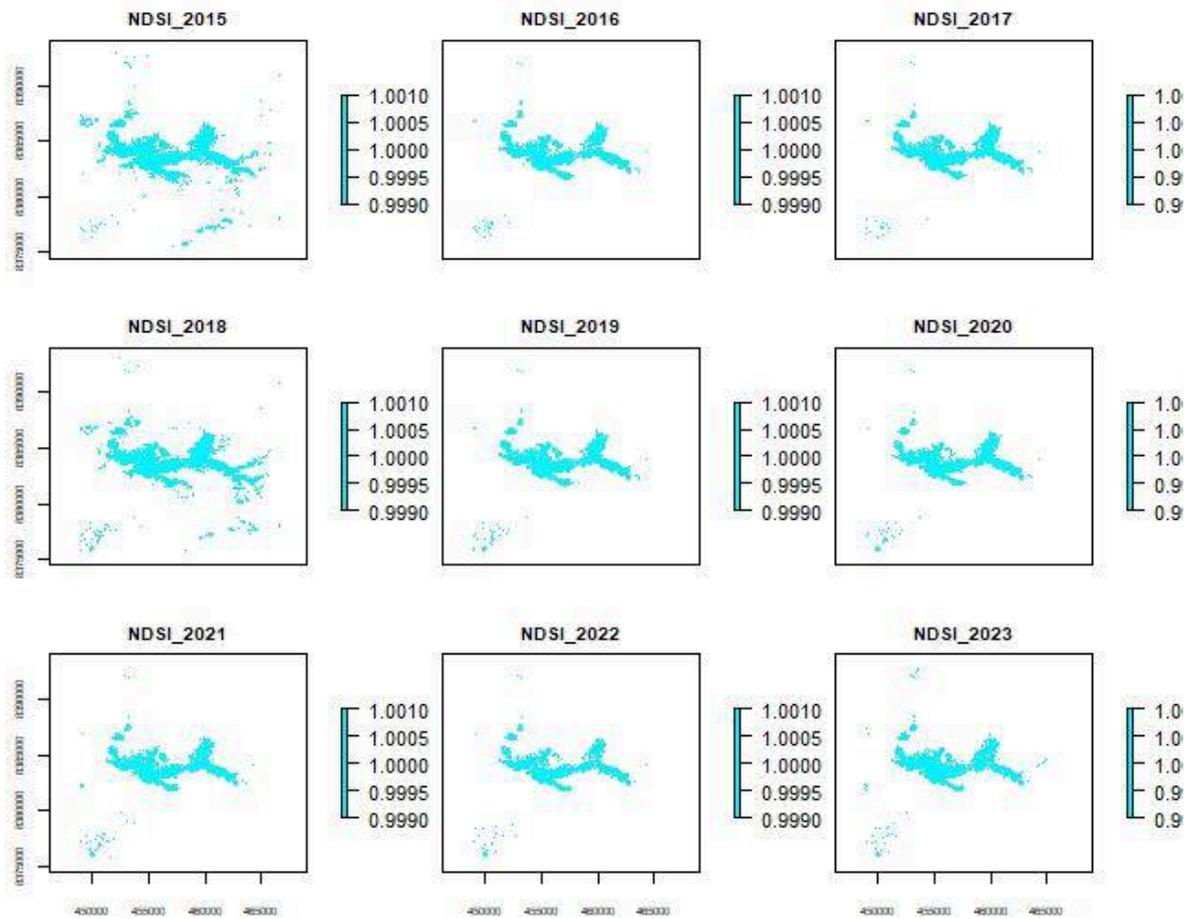
Anexo 04: Datos de precipitaciones del nevado Ananea, obtenido del portal Power nasa.

Coordenadas de la estación Suma de precipitación (mm)	Nevado Ananea												Total general
	Latitude						Longitude						
Período de años	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	-69.4082
	Escala anual/mensual												
2015	275.54	176.71	189.57	109.62	111.95	157.63	159.52	40.02	141.74	154.26	198.14	193.32	1908.02
2016	215.89	201.88	115.39	113.56	27.71	13.67	26.31	134.73	127.38	290.1	155.62	385.09	1807.33
2017	135.15	143.33	221.64	122.17	74.94	16.75	0.15	45.51	92.02	138.89	213.4	216.88	1420.83
2018	200.64	192.62	195.48	85.22	60.76	34.07	21.07	72.03	31.88	193.95	141.78	272.08	1501.58
2019	136.57	195.08	139.04	136.82	49.76	19.96	20	0.01	21.48	29.19	150.27	329.17	1227.35
2020	118.4	211.82	121.16	44.08	1.92	15.96	27.01	27.94	128.59	148.67	273.13	390.28	1508.96
2021	203.25	246.79	152.41	132.72	22.77	65.41	14.23	7.09	37.82	136.85	158.76	332.79	1510.89
2022	112.12	176.34	128.95	33.07	26.87	11.39	16.65	18.67	42.97	66.62	67.07	199.25	899.97
2023	106.29	119.82	178.55	105.01	23.12	22.93	7.63	10.58	10.29	36.32	78.31	236.38	935.23
Total general	1503.85	1664.39	1442.19	882.27	399.8	357.77	292.57	356.58	634.17	1194.85	1436.48	2555.24	12720.16

Anexo 05: Resultado del NDSI en R.



Anexo 06: Resultado del enmascaramiento de los glaciares de Ananea en R.



Anexo 07: Pruebas de normalidades de las variables en R.

```
> Est %>%
+ shapiro_test(Cob_glaciar)
# A tibble: 1 × 3
  variable statistic    p
  <chr>      <dbl> <dbl>
1 Cob_glaciar 0.925 0.437
>
```

```
> Est %>%
+ shapiro_test(Tmax)
# A tibble: 1 × 3
  variable statistic    p
  <chr>      <dbl> <dbl>
1 Tmax        0.911 0.325
> ##Supuestos
> Est %>%
+ shapiro_test(Tmin)
# A tibble: 1 × 3
  variable statistic    p
  <chr>      <dbl> <dbl>
1 Tmin        0.963 0.828
>
```

```
+ shapiro_test(Prec)
# A tibble: 1 × 3
  variable statistic    p
  <chr>      <dbl> <dbl>
1 Prec        0.930 0.483
>
```

Anexo 08: Matriz de correlación de Pearson de las variables en R.

```
> #Matriz de correlacion
> Matriz_cor <- rstatix::cor_mat(Est, method = "pearson")
> Matriz_cor
# A tibble: 4 × 5
  rowname Cob_glaciar Prec Tmax Tmin
* <chr>      <dbl> <dbl> <dbl> <dbl>
1 Cob_glaciar      1  0.87 -0.88 -0.8
2 Prec             0.87  1 -0.83 -0.72
3 Tmax            -0.88 -0.83  1  0.8
4 Tmin            -0.8 -0.72  0.8  1
> #ver la significancia
> rstatix::cor_mark_significant(Matriz_cor)
  rowname Cob_glaciar Prec Tmax Tmin
1 Cob_glaciar
2 Prec      0.87**
3 Tmax    -0.88** -0.83**
4 Tmin    -0.8** -0.72* 0.8*
```

```
> Matriz_cor
# A tibble: 5 × 6
  rowname Periodo Cob_glaciar Prec Tmax Tmin
* <chr>      <dbl> <dbl> <dbl> <dbl> <dbl>
1 Periodo      1 -0.91 -0.85  0.98  0.78
2 Cob_glaciar -0.91      1  0.87 -0.88 -0.8
3 Prec        -0.85  0.87  1 -0.83 -0.72
4 Tmax        0.98 -0.88 -0.83  1  0.8
5 Tmin        0.78 -0.8 -0.72  0.8  1
> #ver la significancia
> rstatix::cor_mark_significant(Matriz_cor)
  rowname Periodo Cob_glaciar Prec Tmax Tmin
1 Periodo
2 Cob_glaciar -0.91***
3 Prec    -0.85**      0.87**
4 Tmax    0.98***    -0.88** -0.83**
5 Tmin    0.78*      -0.8** -0.72* 0.8*
```

Anexo 09: Panel fotográfico.



Figura 02: Exploración del retroceso glaciar .



Figura 03: Visualización de la desglaciación.



Figura 04: Exploración del derretimiento glaciar.