

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**RETROCESO DE LA COBERTURA GLACIAR DEL NEVADO ALLINCAPAC
CORDILLERA DE CARABAYA POR LA INFLUENCIA DE LOS ELEMENTOS
CLIMÁTICOS, PERÍODO 2018 - 2023**

PRESENTADA POR:

GUIMAR ISAURO CANSAYA VARA

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/)



8.98%

SIMILARITY OVERALL

SCANNED ON: 6 JUN 2024, 8:08 PM

Similarity report

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

● IDENTICAL
1.36%

● CHANGED TEXT
7.62%

Report #21595797

GUIMAR ISAURO CANSAYA VARA RETROCESO DE LA COBERTURA GLACIAR DEL NEVADO ALLINCAPAC CORDILLERA DE CARABAYA POR LA INFLUENCIA DE LOS ELEMENTOS CLIMÁTICOS, PERÍODO 2018 - 2023 RESUMEN El retroceso glaciar es uno de los signos del cambio climático. 1 La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el retroceso de la cobertura glaciar del nevado Allincapac de la cordillera de carabaya causado por la influencia de los elementos climáticos, período 2018 - 2023, se evaluaron mediante los softwares de R-Studio (v4. 1 3.3) y QGis (v3. 34.4). 1 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, 2018). 1 Los resultados obtenidos indican un retroceso de la cobertura glaciar, en el año 2018 presentaba 16.66 km², y en el año 2023 llegó a 12.17 km², durante los 6 años de estudios el nevado Allincapac tuvo una variación de -4.50 km² y una tasa de cambio de -26.97%, mediante el análisis estadístico de Spearman, existe una correlación negativa r = -0.94 respecto a los años, correlación negativa considerable

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

**RETROCESO DE LA COBERTURA GLACIAR DEL NEVADO ALLINCAPAC
CORDILLERA DE CARABAYA POR LA INFLUENCIA DE LOS ELEMENTOS
CLIMÁTICOS, PERÍODO 2018 - 2023**

PRESENTADA POR:

GUIMAR ISAURO CANSAYA VARA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

: 
Mg. JULIO WILFREDO CANO OJEDA

PRIMER MIEMBRO

: 
Mg. KATIA ELIZABETH ANDRADE LINAREZ

SEGUNDO MIEMBRO

: 
M.Sc. FREDY APARICIO CASTILLO SUAQUITA

ASESOR DE TESIS

: 
Dr. ESTEBAN ISIDRO LEON APAZA

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub Área: Ingeniería Ambiental

Líneas de Investigación: Sensores remotos.

Puno, 17 de junio 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 mi madre Elsa Vara Pinto 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.

Guimar Isauro, Cansaya Vara

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: Dr. Esteban Isidro Leon Apaza, 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.

Guimar Isauro, Cansaya Vara

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. 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 | 29 |
| 2.4.1. Hipótesis general | 29 |
| 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 | 33 |
| 3.3.1 Métodos | 33 |

| | |
|--|-----------|
| 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 RETROCESO DE LA COBERTURA GLACIAR DEL NEVADO ALLINCAPAC CON RESPECTO A LOS PERIODOS 2018 - 2023. | 40 |
| 4.2. EXPOSICIÓN Y ANALISIS DE DETERMINACION DE LA INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL RETROCESO DE LA COBERTURA GLACIAR DEL NEVADO ALLINCAPAC ENTRE EL 2018 - 2023. | 47 |
| 4.3. EXPOSICIONES Y ANÁLISIS DE LA DETERMINACIÓN DE INFLUENCIA DE , LAS PRECIPITACIÓN EN EL RETROCESO DE LA COBERTURA GLACIAR DEL NEVADO ALLINCAPAC ENTRE EL 2018 - 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 Allincajac. | 32 |
| Tabla 02: Operacionalidad de Variables. | 37 |
| Tabla 03: Grado de correlación. | 38 |
| Tabla 04: Cambios temporales de la cobertura glaciaria del Allincajac, 2018 - 2023. | 41 |
| Tabla 05: Estadística descriptiva del área del glaciar Allincajac, periodo (2018 - 2023). | 43 |
| Tabla 06: Pruebas de normalidad para la variable cobertura glaciaria. | 46 |
| Tabla 07: Estadística descriptiva de las temperaturas, periodo (2018 - 2023). | 48 |
| Tabla 08: Pruebas de normalidad para la variable temperaturas. | 50 |
| Tabla 09: Estadística descriptiva de precipitaciones, periodo (2018 - 2023). | 52 |
| Tabla 10: Pruebas de normalidad para la variable precipitación | 55 |
| Tabla 11: Matriz de correlación de Pearson de las variables. | 58 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|-------------|
| Figura 01: Desglaciación en los Andes peruanos (Bolívar, 2018). | 22 |
| Figura 02: Elemento de un programa de detección a distancia (Vigier & Gutiérrez, 2019). | 23 |
| Figura 03: Espectro electromagnético (Rodríguez, 2021). | 24 |
| Figura 04: Niveles digitales (ND) de una sección de un Nevado (Zempoalteca et al., 2017). | 25 |
| Figura 05: Cambio Climático y los glaciares (Molano et al., 2022). | 27 |
| Figura 06: Ubicación del nevado Allincajac. | 31 |
| Figura 07: Descarga de datos climáticos del portal Power Nasa. | 36 |
| Figura 08: Cambio de la cobertura glaciar del nevado Allincajac durante el 2018 y 2023. | 42 |
| Figura 09: Cambio temporal de la cobertura glaciar durante el 2018 - 2023 | 43 |
| Figura 10: Clasificación de la cobertura glaciar/suelo durante el 2018 y 2023. | 44 |
| Figura 11: Mapa de cambio temporal de la cobertura glaciar durante el 2018 y 2023. | 45 |
| Figura 12: Regresión lineal del área de la cobertura glaciar, con respecto al tiempo. | 45 |
| Figura 13: Gráfico de normalidad para la variable cobertura glaciar. | 46 |
| Figura 14: Gráfico de temperaturas máximas y mínimas durante el 2018 - 2023. | 47 |
| Figura 15: Correlación lineal de cobertura glaciar sobre temperaturas durante el 2018 - 2023. | 49 |
| Figura 16: Gráfico de normalidad de las Tmax y Tmin. | 51 |
| Figura 17: Gráfico de precipitaciones durante el 2018 - 2023. | 52 |
| Figura 18: Boxplot de precipitaciones mensuales durante el 2018 - 2023. | 53 |
| Figura 19: Correlación lineal de cobertura glaciar sobre precipitaciones durante el 2018 - 2023. | 54 |

| | |
|--|----|
| Figura 20: Gráfico de normalidad para la precipitación. | 55 |
| Figura 21: Correlograma para las variables en símbolos y en numericos. | 59 |
| Figura 22: 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 precipitaciones del nevado Allincapac, obtenido del portal Power nasa. | 72 |
| Anexo 04: Datos de temperaturas del nevado Allincapac, obtenido del portal Power nasa. | 73 |
| Anexo 05: Análisis de datos en R studios. | 74 |
| Anexo 06: Pruebas de normalidades de las variables en R. | 75 |
| Anexo 07: Matriz de correlación de Pearson de las variables en R. | 76 |
| Anexo 08: Panel fotográfico. | 77 |

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 Allincapec de la cordillera de Carabaya causado por la influencia de los elementos climáticos, período 2018 - 2023, se evaluaron mediante los softwares de R-Studio (v4.3.3) y QGIS (v3.34.4). 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, 2018). Los resultados obtenidos indican un retroceso de la cobertura glaciar, en el año 2018 presentaba 16.66 km^2 , y en el año 2023 llegó a 12.17 km^2 , durante los 6 años de estudios el nevado Allincapec tuvo una variación de -4.50 km^2 y una tasa de cambio de -26.97% , mediante el análisis estadístico de Spearman, existe una correlación negativa $r = -0.94$ respecto a los años, correlación negativa considerable $r = -0.82$ y -0.71 ; entre las variables de temperatura máxima, mínima y una correlación moderada $r = 0,17$ 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 6 años, ha decrecido estadísticamente significativamente, debido al aumento exponencialmente de las temperaturas máximas y mínimas, por otro lado al aumento de las precipitaciones el nevado Allincapec no fue afectado en su retroceso.

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

ABSTRACT

Glacier retreat is one of the signs of climate change. The present investigation had as objective to evaluate the retreat of the glacier cover of the snowy Allincapac of the carabaya mountain range caused by the influence of the climatic elements, period 2018 - 2023, were evaluated by means of the softwares of R-Studio (v4.3.3) and QGis (v3.34.4). 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, 2018) was used to calculate the amount of snow cover. The results obtained indicate a retreat of the glacier coverage, in the year 2018 it presented 16.66 km², and in the year 2023 it reached 12.17 km², during the 6 years of studies the snow-capped Allincapac had a variation of -4.50 km² and a rate of change of -26.97%, through the statistical analysis of Spearman, there is a negative correlation $r = -0.94$ with respect to the years, considerable negative correlation $r = -0.82$ and -0.71 ; between the variables of maximum, minimum temperature and a moderate correlation $r = 0.17$ 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 6 years, has decreased statistically significantly, due to the exponential increase of the maximum and minimum temperatures, on the other hand to the increase of the precipitation the snow-capped Allincapac was not affected in its retreat.

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

INTRODUCCIÓN

En el nevado Allincapac, 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 (Molano et al., 2022).

La importancia de este estudio radica en el análisis de datos medioambientales en la plataforma Google Earth Engine, 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 (Bolívar, 2018).

La ingeniería ambiental, mediante los sensores remotos investigó de cómo los glaciares se ven afectados por el cambio de los factores abióticos (Falcó, 2017).

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 Allincapac cordillera de Carabaya es significativo por la influencia de los elementos climáticos, período 2018 - 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 glaciar.

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 Allincapac cordillera de carabaya por influencia de elementos climáticos, período 2018 - 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, las regiones con nevadas del mundo han ido perdiendo cantidades significativas de cubierta glaciaria, esto se debe a que las temperaturas globales están aumentando 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 (Dormido et al., 2022).

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 (Samaniego et al., 2019).

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 a las grandes elevaciones de 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 glaciaria, 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 glaciaria del nevado Allincapec, con las temperaturas y precipitaciones. Los glaciares del nevado Allincapec es una de las principales fuentes de agua de las cuencas; La determinación de la regresión glaciaria indicará que los glaciares más afectados por la regresión de los años o las temperaturas y precipitaciones los que se encuentran en la cordillera de Carabaya, en las regiones de Puno, y en particular esos glaciares.

1.1.1 Problema General

¿Cuál es el retroceso de la cobertura glaciaria del nevado Allincapec cordillera de Carabaya por la influencia de los elementos climáticos, período 2018 - 2023?

1.1.2 Problemas específicos

- ¿Cuanto es el retroceso de la cobertura glaciaria del nevado Allincapec con respecto a los periodos 2018 - 2023?
- ¿De qué manera la temperatura influye en el retroceso glaciaria del nevado Allincapec entre el 2018 - 2023?
- ¿De qué manera la precipitación influye en el retroceso glaciaria del nevado Allincapec entre el 2018 - 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 glaciaria 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 glaciaria". Esta metodología se basó en mediciones del balance

energético de la cubierta glaciaria 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 m sobre el nivel del mar cuando se añadió a estos datos un factor de extensión.

- Silva & David (2020), en la bahía de Larsen B, situada al noreste de la península Antártica, analizaron específicamente glaciares que desembocan sus aguas en un 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. Argentina y las demás naciones signatarias del Tratado Antártico están alarmadas por el informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, que prevé un aumento de 1,1 °C de la temperatura media mundial. 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
- Zhang 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 glaciaria 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 glaciaria, según los datos de simulación, y el balance de masa glaciaria a escala de cuenca de los 38 años anteriores mostró una tendencia negativa.

- 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 los cambios en los patrones de cobertura de nieve y las áreas nevadas en el sur de Perú hasta 2030. Sus resultados muestran un notable descenso de las áreas nevadas, especialmente entre 2002 y 2009. Utilizando información del sistema PISCO (SENAMHI), se identificaron tendencias en el aumento de las anomalías de temperatura máxima y mínima del orden de 0,5°C. Finalmente, al estimar el área nevada en 2030 mediante la técnica de Markov, se descubrió una disminución mayor a la observada durante el periodo de análisis.

- Quispe (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. Según la prueba de (Prob >F) = 0,00, se establece que el modelo es significativo y que

la variable independiente, años, influye en la variación de la superficie total del campo de nieve Chicón.

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 Allinapac cordillera de Carabaya por la influencia de los elementos climáticos, período 2018 - 2023.

1.3.2. Objetivos específicos

- Estimar el retroceso de la cobertura glaciar del nevado Allinapac con respecto a los periodos 2018 - 2023
- Determinar la influencia de la temperatura en el retroceso de la cobertura glaciar del nevado Allinapac entre el 2018 - 2023.
- Determinar la influencia de la precipitación en el retroceso de la cobertura glaciar del nevado Allinapac entre el 2018 - 2023.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. 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 deglaciación 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 (Calizaya, 2018).

La principal causa del retroceso de los glaciares o deglaciación 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 deglaciación 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 (Bolívar, 2018).



Figura 01: Desglaciación en los Andes peruanos (Bolívar, 2018).

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 (Selva, 2020).

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 (Vigier & Gutiérrez, 2019).

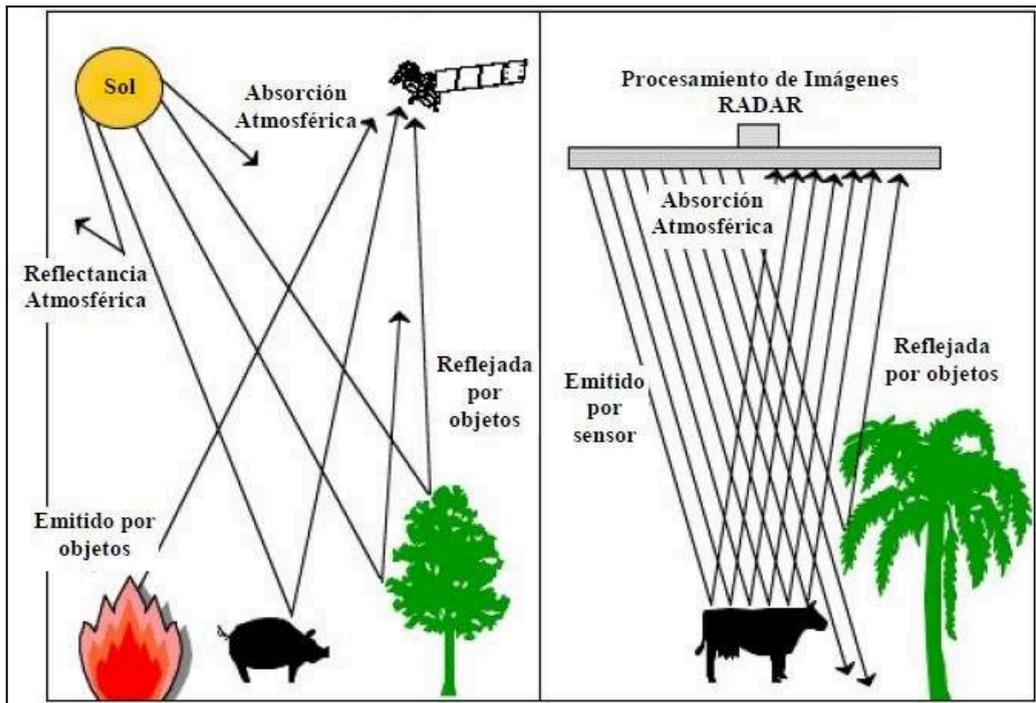


Figura 02: Elemento de un programa de detección a distancia (Vigier & Gutiérrez, 2019).

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 (Ramírez et al., 2020).

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 (Aristizabal et al., 2020).

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 (Matul & Rafael, 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 (Rodríguez, 2021)

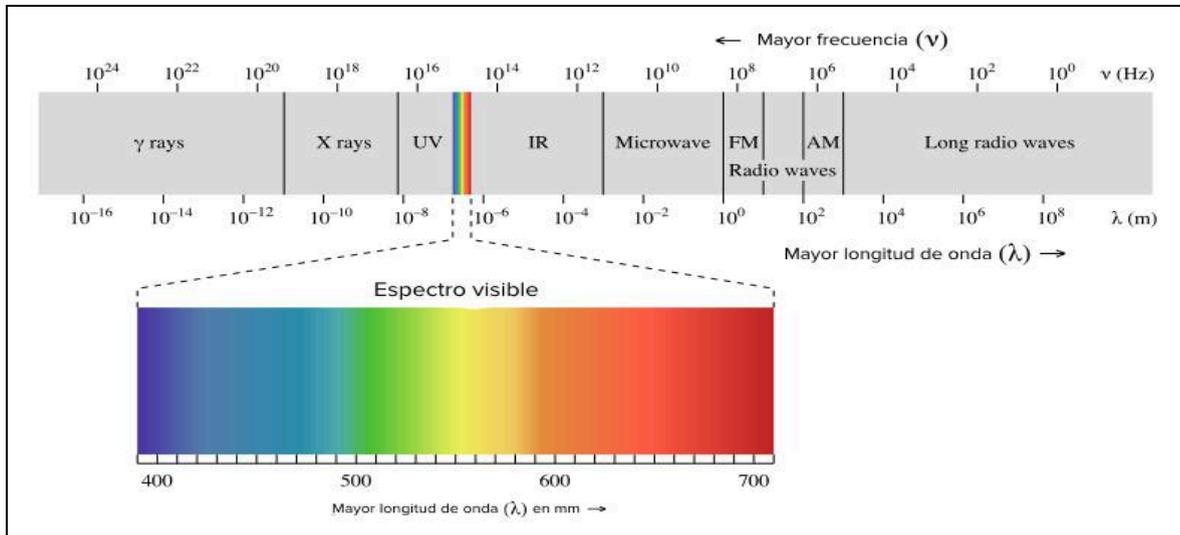


Figura 03: Espectro electromagnético (Rodríguez, 2021).

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 (Quezada et al., 2022).

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 (Baquerizo & Ventocilla, 2022).

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 (Falcó, 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 (Zempoalteca et al., 2017).

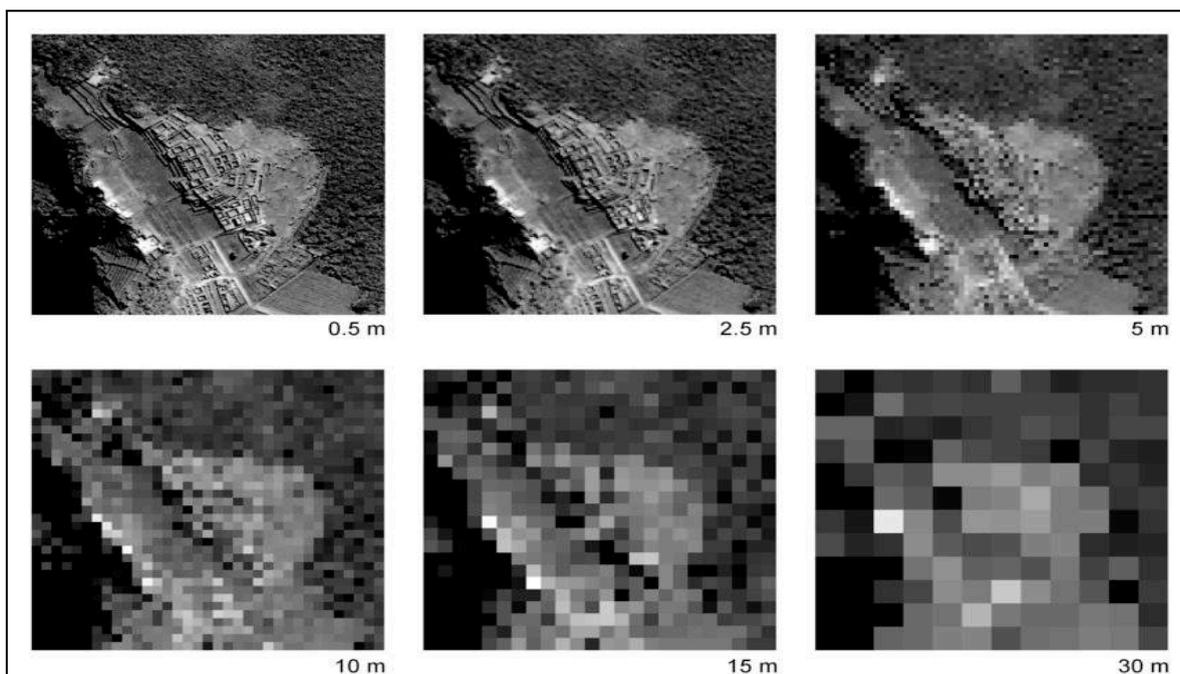


Figura 04: Niveles digitales (ND) de una sección de un Nevado (Zempoalteca et al., 2017).

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 (Gonzalez, 2000).

Asimismo en su artículo explica que, dado que 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 (Nieto & Alarcón, 2023).

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 (Camas et al., 2022).

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 (Bolaños et al., 2022).

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. Todos los elementos mencionados contribuyen al «efecto invernadero», que disminuye la cobertura de los glaciares y aumenta el calentamiento global, porque estos gases atrapan el calor del sol (Monge 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 glaciación, que tiene como consecuencia el adelgazamiento de las capas de hielo y/o la pérdida de superficie glaciaria, viene indicado por la presencia de glaciares (Molano et al., 2022).

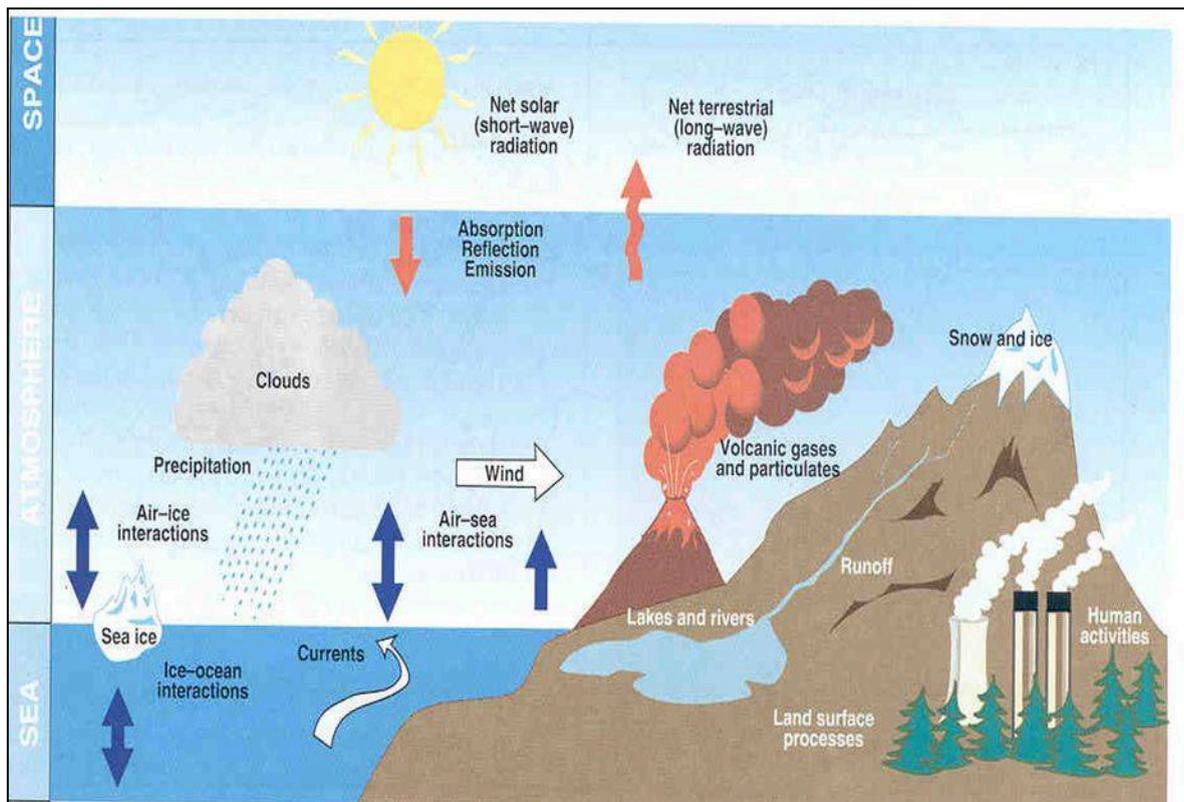


Figura 05: Cambio Climático y los glaciares (Molano et al., 2022).

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 (Alberti, 2021).
- **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 (Sánchez & Vargas, 2023).

- **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 (Ruiz et al., 2023).
- **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 (Canaza, 2019)
- **Radiación solar:** Debido a la emisión de energía solar en forma de radiación electromagnética, se trata de un fenómeno físico (H et al., 2019).
- **Calentamiento global:** Se trata de un aumento de las temperaturas medias de los océanos y la atmósfera a lo largo del tiempo (Báez et al., 2018).
- **R-Studio:** Este entorno de desarrollo integrado en el lenguaje de programación R se centra en el análisis estadístico y las instantáneas. Ofrece funciones de gestión del espacio de trabajo, una consola, gráficos y un editor de sintaxis para la ejecución sencilla de código (Santos et al., 2022).
- **QGIS:** Es un programa de código abierto que puede utilizarse con los sistemas operativos GNU/Linux, Unix, Mac OS y Microsoft Windows. Permite manejar formatos ráster y vectoriales como shp, además de bases de datos especiales (Santos et al., 2022).

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 Allincapac cordillera de Carabaya es significativo por la influencia de los elementos climáticos, período 2018 - 2023.

2.4.2. Hipótesis específicas

- La cobertura glaciar del nevado Allincajac cordillera de Carabaya ha disminuido con respecto a los periodos 2018 - 2023.
- Las altas temperaturas influyen significativamente en el retroceso glaciar del nevado Allincajac entre el 2018 - 2023.
- El aumento de las precipitaciones no influye significativamente en el retroceso glaciar del nevado Allincajac entre el 2018 - 2023.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO

Con una elevación de 5,877 metros sobre el nivel del mar y ubicándose precisamente en la provincia de Carabaya de la región Puno, el nevado Allincapac es el más imponente de los nevados que se encuentran en la cordillera de Carabaya, y en la Zona 19 Sur, con coordenadas Este: 347 312,17 metros, y Norte: 8 462,313 metros, se muestra en la Figura 06.

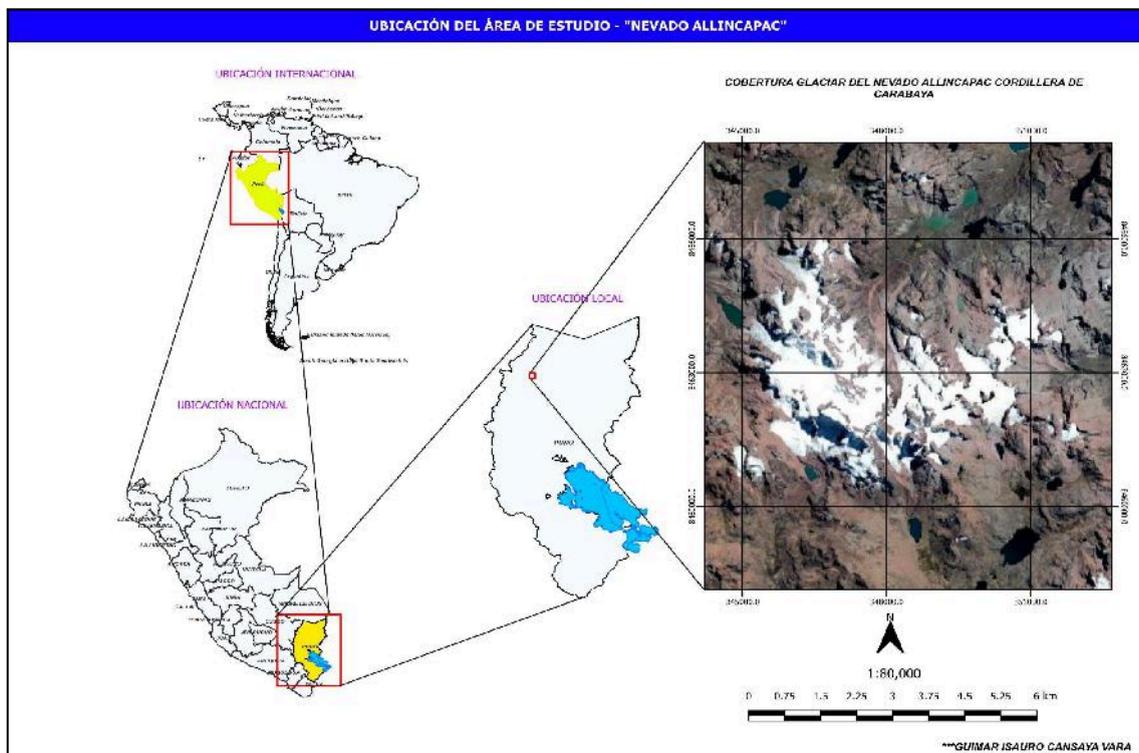


Figura 06: Ubicación del nevado Allincapac.

- Ubicación Geopolítica

Tabla 01: Ubicación geopolítica del nevado Allincajac.

| Regiones | Provincias | Distritos |
|----------|------------|------------|
| → Puno | → Carabaya | → Macusani |

3.2. TAMAÑO DE MUESTRA

3.2.1 Población

La población está conformada por las imágenes satelitales que contienen la superficie del nevado Allincajac, para el periodo del 2018 a 2023, las cuales están conformadas por las escenas digitales.

3.2.2 Muestra

En la presente investigación se tomó como muestra a una 01 imagen satelital de cada año de la superficie del nevado Allincajac de los periodos de 2018 a 2023, por lo que la muestra serán los píxeles de 30 x 30 metros de resolución espacial.

Muestreo

La presente investigación se realizó mediante el muestreo intencional, que tiene la característica de elegir elementos a propósito, es un tipo de muestreo no probabilístico (Fathi & Salehi, 2022).

Para la presente investigación se realizó en base al muestreo no probabilístico de tipo intencional, se seleccionaron de forma directa las imágenes más nítidas registradas anualmente del nevado allincajac de la cordillera de carabaya, para el periodo 2018 a 2023.

3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS

3.3.1 Métodos

Tipo de investigación

Dado que la investigación identificó 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 fue no experimental, pues no se manipularon las variables, lo que se hizo 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

- Navegador GPS
- 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 glaciar del nevado Allincajac entre el 2018 - 2023.

Se utilizaron las imágenes satelitales Landsat 8, que fueron obtenidas de la plataforma geomática Google earth engine (GEE) en función al área de estudio, para establecer los niveles de retroceso glaciar del nevado Allincajac. Las imágenes satelitales facilitaron el acceso a los datos geospaciales, los cuales fueron utilizados para determinar si existe un retroceso del nevado Allincajac.

a) Definición del área (nevado Allincajac).

Sólo fue esencial una escena de la imagen satelital proveniente del (GEE), que cubría toda el área de estudio. La coordenada UTM utilizada para mejorar la georreferenciación fue WGS84, y esto se logró utilizando el software Qgis, como se ilustra en la Figura 7.

b) Cálculo del índice diferencial de nieve normalizado (NDSI)

El NDSI (Normalized Difference Ratio) en este estudio se calculó utilizando la diferencia normalizada de dos bandas: el espectro visible y el espectro infrarrojo de onda corta o cercana. Esta información se introdujo en la Calculadora Raster/Raster, donde los cálculos se realizaron utilizando las siguientes fórmulas.

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

Donde:

- NDSI (Landsat 8) = (B3 – B6) / (B3 + B6)

c) Extracción de cobertura de nieve periodo (2018-2023)

Para la extracción de la cobertura glaciar se establecieron algunas condiciones, para esto fue ingresado al Raster/Calculator “raster”, donde se estableció el proceso de extracción de píxeles mayores a (0.4 -1) μ m umbral se establece a partir del índice NDSI, siendo que este valor menciona la cubierta de nieve.

“NDSI” > (0,4 -1) μm .

d) 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 utilizada por la (FAO, 1996) y esta sería equivalente a la tasa de interés utilizada en los cálculos financieros.

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

Donde:

Td = Tasa de desglaciación en porcentajes

S_2 = Área de nieve en el año final

S_1 = Área de nieve 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 Allincapec entre el 2018 - 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 Allincapec, 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 Allincapec entre el 2018 - 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 Allincapac, 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.

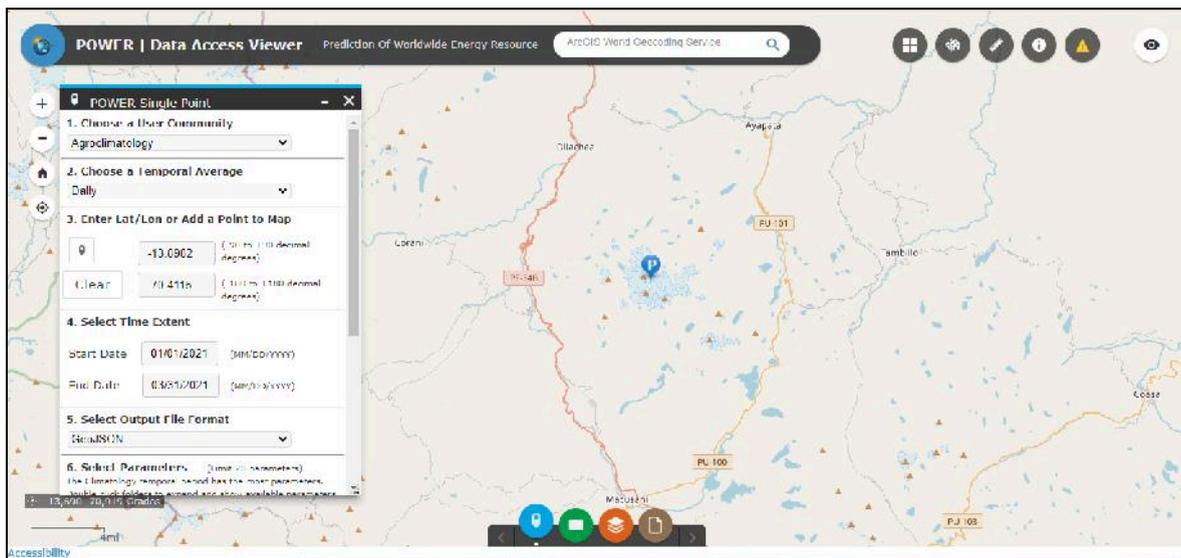


Figura 07: Descarga de datos climáticos del portal Power Nasa.

Fuente: <https://power.larc.nasa.gov/docs/services/>

3.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

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

Efecto o variable dependiente (VD): Retroceso de la cobertura glaciar del nevado Allincapac.

Tabla 02: Operacionalidad de Variables.

| Variab les | Indicadores | Unidad de Medición | Tipos de variables |
|--|----------------------|---------------------------|---------------------------|
| | Temperaturas | | |
| | Máximas | °C | |
| | Mínimas | °C | |
| (VI) | Mensual | °C | |
| Influencia de las variables climáticas. | Anual | °C | Independiente |
| | Precipitación | | |
| | Mensual | mm | |
| | Anual | mm | |
| (VD) | | | |
| Retroceso de la cobertura glaciar del nevado Allinca | Áreas | km ² | |
| pac | | % | 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

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”

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 03.

Tabla 03: 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 RETROCESO DE LA COBERTURA GLACIAR DEL NEVADO ALLINCAPAC CON RESPECTO A LOS PERIODOS 2018 - 2023.

Se estimó el área del retroceso de la cobertura glaciaria del nevado Allinca Pac durante los periodos 2018 y 2023. De acuerdo con las imágenes satelitales Landsat-8, obtenidas de la plataforma geomática Google earth engine (GEE) 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 5% 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 04: Cambios temporales de la cobertura glaciar del Allincajac, 2018 - 2023.

| Periodos | Cobertura glaciar del nevado Allincajac | | | |
|--------------|---|--|-----------------------|-----------------|
| | Área en (km ²) | Variación del área en (km ²) | Tasa de cambio en (%) | Porcentajes (%) |
| 2018 | 16.66 | 0.00 | 0.00 | 21 |
| 2019 | 13.12 | -3.55 | -21.27 | 16 |
| 2020 | 12.81 | -0.31 | -2.37 | 16 |
| 2021 | 12.32 | -0.49 | -3.80 | 15 |
| 2022 | 12.57 | 0.25 | 1.99 | 16 |
| 2023 | 12.17 | -0.40 | -3.17 | 15 |
| Total | 79.67 | -4.50 | -28.62 | 100 |

En la tabla 04, se muestra el cambio temporal de la cobertura glaciar del nevado Allincajac durante los periodos 2018 y 2023. Durante los 6 años de estudios el nevado Allincajac tuvo una variación de -4.50 km², también tuvo una tasa de cambio de -26.9 %. En el año 2019 tuvo una variación muy fuerte de -3.55 km² y una tasa de cambio de -21.27%, pero para el año 2022 tuvo un aumento de la cobertura glaciar de +0.25 km² y una tasa de cambio de +1.99%, con estos resultados obtenidos durante los 6 años podemos deducir que la cobertura glaciar del nevado Allincajac tiende a reducirse. 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 glaciaria se habría reducido en un 13% para ambos glaciares de Harlik y Tianshan.

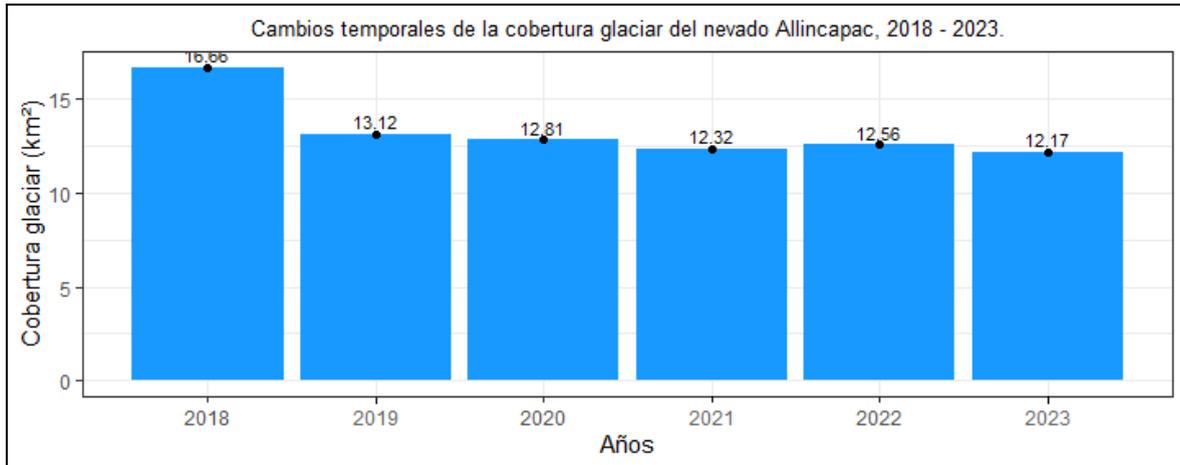


Figura 08: Cambio de la cobertura glaciaria del nevado Allincapec durante el 2018 y 2023.

En la figura 08, se muestran los resultados de la cobertura glaciaria del nevado Allincapec, durante los 6 años ya transcurridos, en el año 2018 la cobertura glaciaria fue de 16.66 km² que equivale al 21 %, mientras tanto en el año 2023 la cobertura glaciaria fue de 12.17 km² que equivale al 15 %, con estos resultados obtenidos en la presente investigación, claramente se ve el retroceso de la cobertura glaciaria del nevado Allincapec. Por otro lado **(Quispe, 2023)** en su resultados mostró tras 30 años de análisis, se estimó que la superficie glaciaria 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 glaciaria, se determinó una tasa de 0,42.

Tabla 05: Estadística descriptiva del área del glaciar Allincapac, periodo (2018 - 2023).

| Variable | Media | Mediana | Máximo | Mínimo | Desviación estándar | Curtosis |
|---|-------|---------|--------|--------|---------------------|----------|
| Cobertura glaciar (km²) | 13.27 | 12.69 | 16.66 | 12.17 | 1.69 | 5.16 |

Nivel de confianza(95.0%)

En la tabla 05, se muestra la estadística descriptiva de la cobertura glaciar del nevado Allincapac, durante los periodos 2018 y 2023, la variable cobertura glaciar presenta un promedio de 13.27 km², un máximo de 16.66 km² y un mínimo de 12.17 km², la curtosis nos muestra una distribución normal con un valor atípico de 5.16..

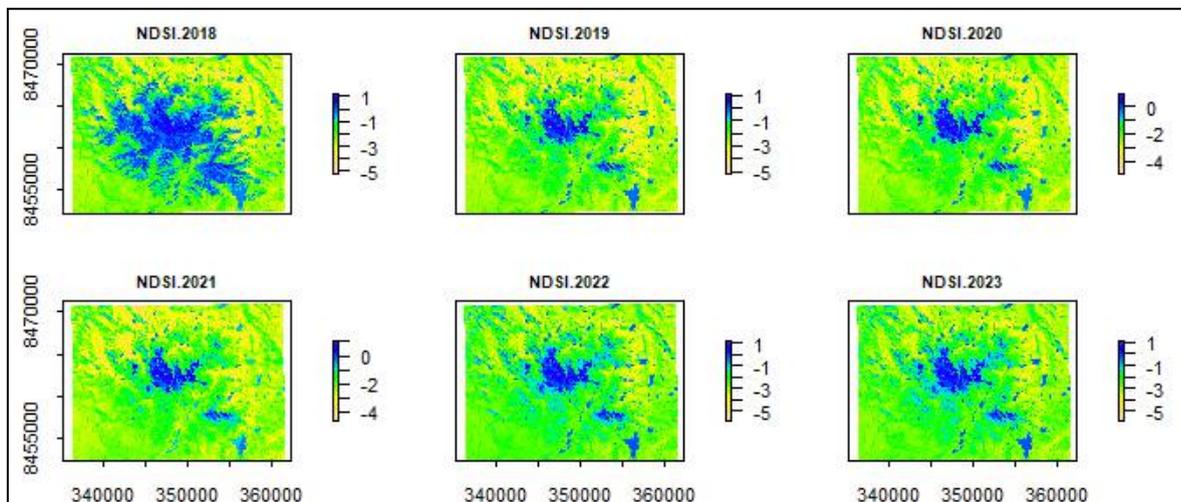


Figura 09: Cambio temporal de la cobertura glaciar durante el 2018 - 2023

En la figura 09, se muestra la variación multitemporal de la cubierta glaciar durante los años 2018 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 2018 a 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.

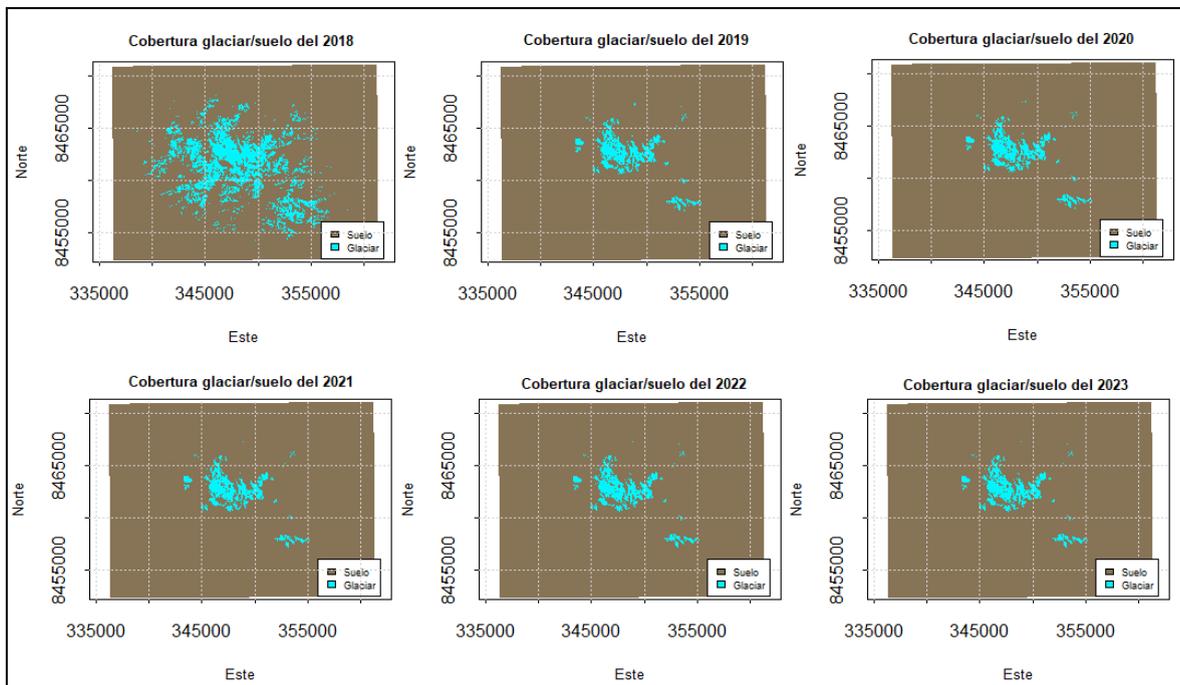


Figura 10: Clasificación de la cobertura glaciar/suelo durante el 2018 y 2023.

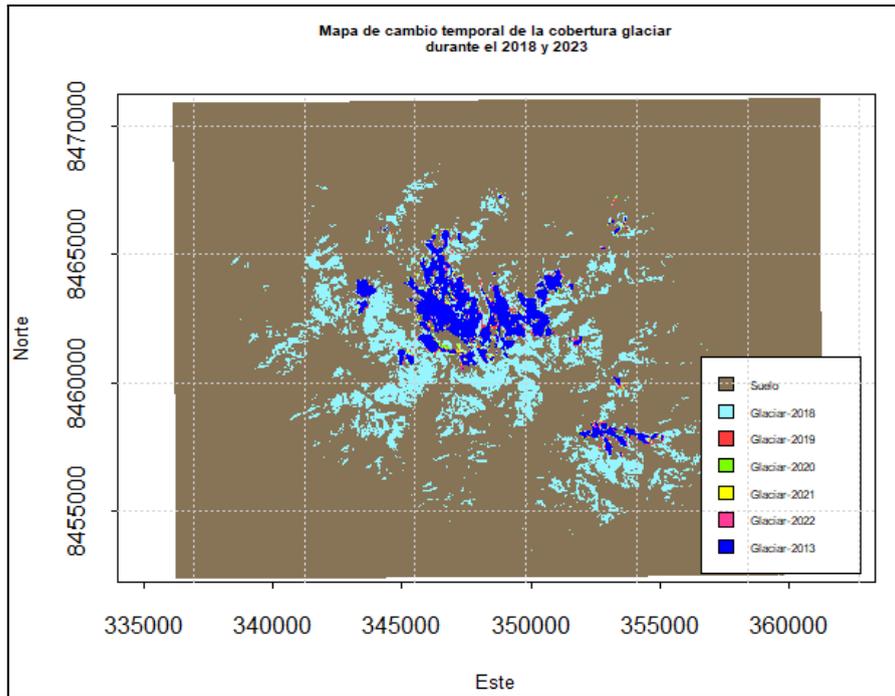


Figura 11: Mapa de cambio temporal de la cobertura glaciaria durante el 2018 y 2023.

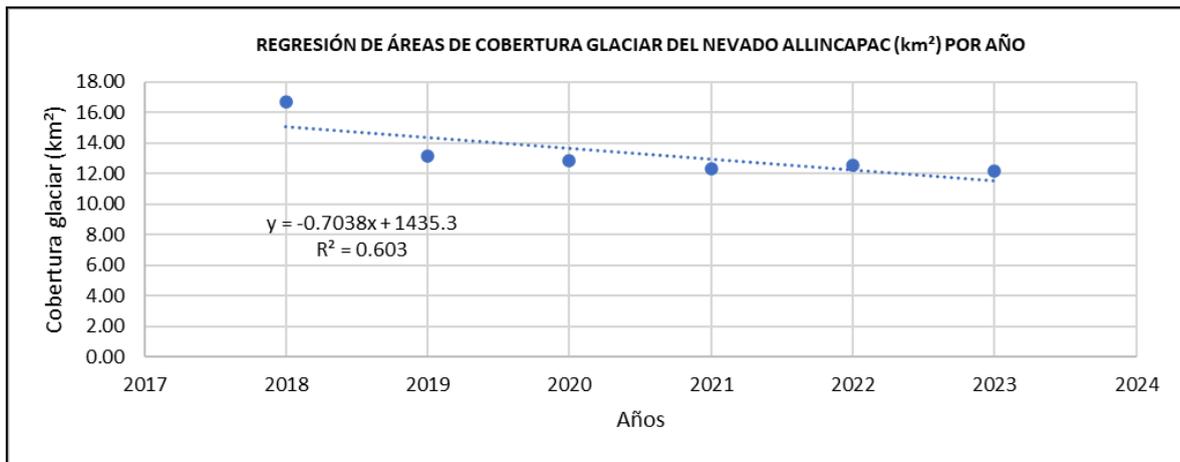


Figura 12: Regresión lineal del área de la cobertura glaciaria, con respecto al tiempo.

En la figura 12, se presenta la correlación entre las áreas de coberturas glaciares con respecto al tiempo, donde la ecuación nos muestra una tendencia negativa (-), con un coeficiente de correlación cuadrática $R^2 = 0.603$, lo que indica de la variable independiente (años), el 60.3 % de la variabilidad con respecto a la variable dependiente

cobertura glaciár km², con la presente regresión lineal mostramos una tendencia decreciente de los glaciares del nevado Allincajac y es significativa su retroceso.

Tabla 06: Pruebas de normalidad para la variable cobertura glaciár.

| Normalidad de la cobertura glaciár del nevado Allincajac mediante (Shapiro-Wilk) | | |
|--|-----------|---------|
| Variable | Statistic | p-value |
| Cobertura glaciár | 0.685 | 0.00424 |

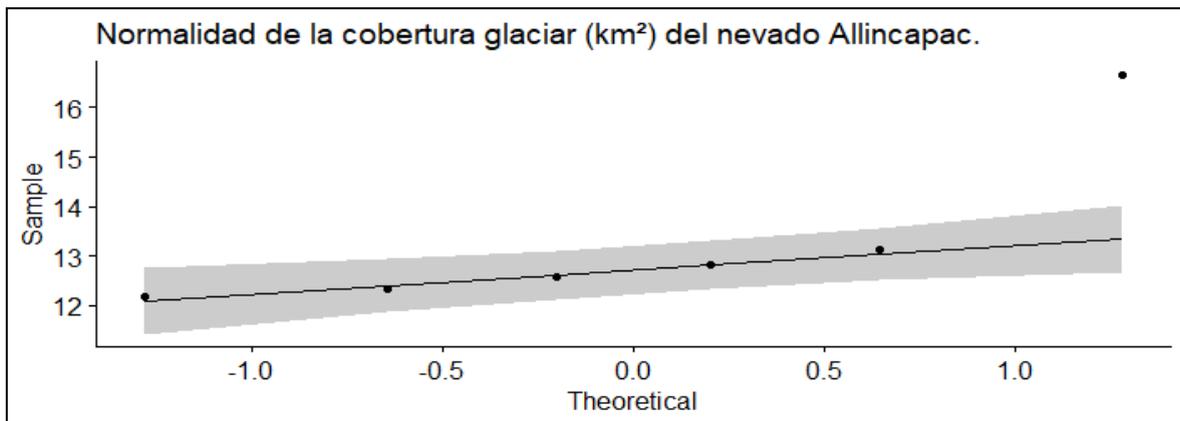


Figura 13: Gráfico de normalidad para la variable cobertura glaciár.

En la tabla 06 y figura 13 se muestra, la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, donde los datos de la cobertura glaciár tienen una distribución no normal durante el periodo 2018 - 2023, de acuerdo al p-valor 0.00424, que es menor a 0.05 (con un nivel de significancia al 95%). Por ello concluimos que, los valores de la cobertura glaciár no se distribuyen de forma normal, por lo que se puede indicar que no cumple con el supuesto de normalidad, también indicamos que los valores de la cobertura glaciár son no paramétricos.

4.2. EXPOSICIÓN Y ANALISIS DE DETERMINACION DE LA INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL RETROCESO DE LA COBERTURA GLACIAR DEL NEVADO ALLINCAPAC ENTRE EL 2018 - 2023.

Para los periodos del 2018 y 2023, se obtuvieron los registros de las temperaturas en la estación instalada, del geo porta (Power NASA), para el nevado Allinca pac, procesado a una escala mensual/anual como se puede visualizar en el (Anexo 04), para las variables de temperatura máxima y mínima (°C).



Figura 14: Gráfico de temperaturas máximas y mínimas durante el 2018 - 2023.

Analizando la figura 14, 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 10.87 °C y 0.72 °C, en el año 2018 las temperaturas máximas y mínimas eran bajas con 9.57 °C y -0.00, las temperaturas máximas y mínimas durante los 6 años de estudios tuvieron un incrementarse de +1.12 °C y +0.72, con estos resultados obtenidos podemos demostrar que el cambio climático se está viviendo y se evidencian los impactos de las sequías, por el aumento de las temperaturas en el nevado Allinca pac. 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 07: Estadística descriptiva de las temperaturas, periodo (2018 - 2023).

| Variables | Media | Mediana | Máximo | Mínimo | Desviación estándar | Curtosis |
|-------------------------|-------|---------|--------|--------|---------------------|----------|
| Temperatura máxima (°C) | 10.51 | 10.66 | 10.9 | 9.74 | 0.45 | 0.31 |
| Temperatura mínima (°C) | 0.33 | 0.34 | 0.71 | -0.001 | 0.24 | 0.54 |

***Nivel de confianza(95.0%)

En la tabla 07, 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 10.51°C y una desviación estándar de 0.45 °C, esta interrogante nos afirma que la temperatura máxima de la muestra se desvía en promedio de 0.45 °C respecto a la media, la curtosis nos muestra una distribución normal con un valor atípico de 0.31 °C. En cuanto para la temperatura mínima se obtuvo para su muestra una media (promedio) de 0.33 °C y una desviación estándar de 0.24 °C, esta interrogante nos afirma que la temperatura mínima de la muestra se desvía en promedio de 0.24 °C respecto a la media, la curtosis nos muestra una distribución normal con un valor atípico de 0.54 °C. 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.

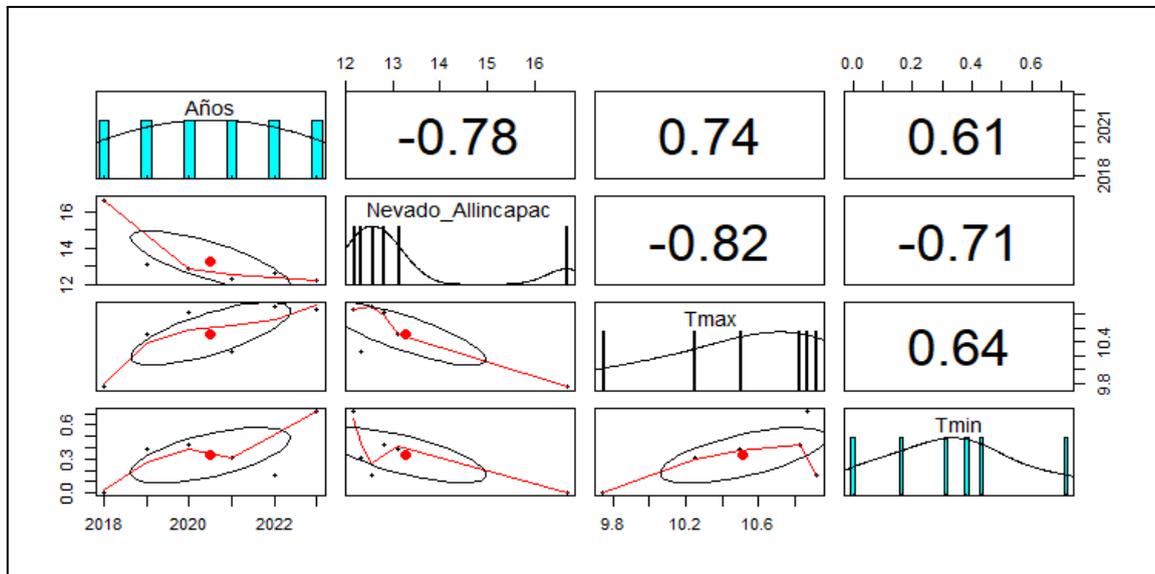


Figura 15: Correlación lineal de cobertura glaciar sobre temperaturas durante el 2018 - 2023.

En la figura 15, nos muestra los años con respecto a la cobertura glaciar, donde presentan una correlación negativa y significativa de -0.78, interpretando; durante el transcurso de los 6 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 -0.82, 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 -0.71, 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 08: Pruebas de normalidad para la variable temperaturas.

| Normalidad de las temperaturas mediante (Shapiro-Wilk) | | |
|--|-----------|---------|
| Variable | Statistic | p-value |
| Temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$) | 0.875 | 0.246 |
| Temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$) | 0.981 | 0.957 |

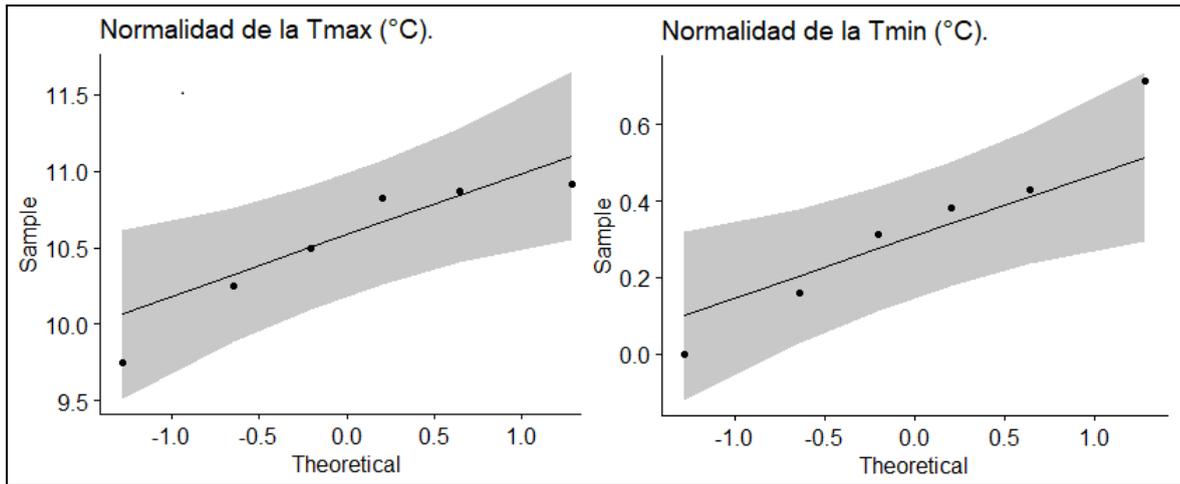


Figura 16: Gráfico de normalidad de las Tmax y Tmin.

En la tabla 08 y en las figuras 16 , se muestran la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, donde los datos de las temperaturas, tienen una distribución normal durante el periodo 2018 - 2023, de acuerdo al p-valor = 0.246 y p-valor = 0.957, 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. EXPOSICIONES Y ANÁLISIS DE LA DETERMINACIÓN DE INFLUENCIA DE LAS PRECIPITACIÓN EN EL RETROCESO DE LA COBERTURA GLACIAR DEL NEVADO ALLINCAPAC ENTRE EL 2018 - 2023.

Para los periodos del 2018 y 2023, se obtuvieron los registros de las precipitaciones en la estación instalada, del geo porta (Power NASA), para el nevado Allinca pac, procesado a una escala mensual/anual como se puede visualizar en el (Anexo 03), para la variable de precipitaciones en (mm).

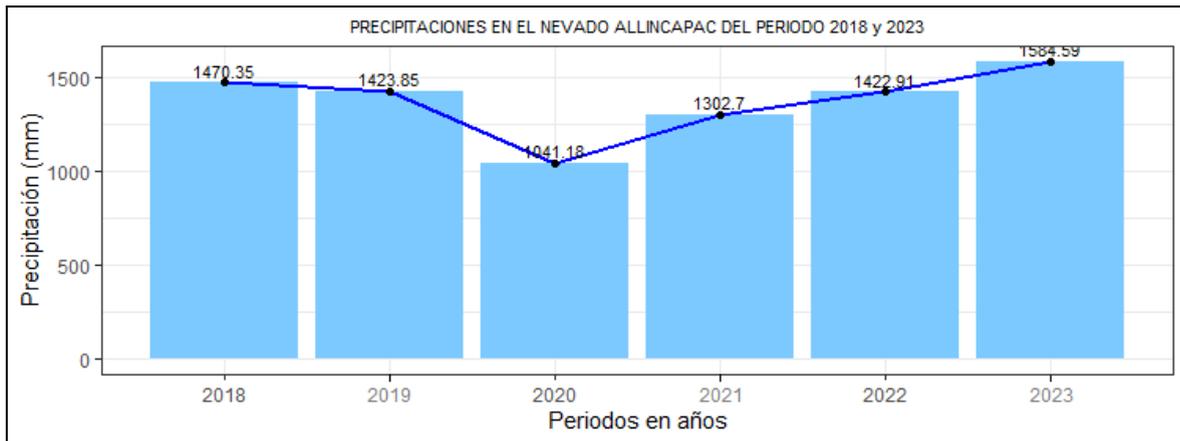


Figura 17: Gráfico de precipitaciones durante el 2018 - 2023.

Analizando la figura 17, podemos afirmar que las precipitaciones durante el periodo de estudio, tuvo un aumento con el paso del tiempo, como por ejemplo en el año 2018, las precipitaciones fueron de 1470.35 mm, en el año 2020 las precipitaciones fueron muy bajas con 1041.18 mm, las precipitaciones durante los 6 años de estudios tuvieron un aumento de +114.24 mm, con estos resultados obtenidos podemos demostrar que en los últimos años las precipitaciones aumentaron en el nevado Allinca Pac. Por otra parte (*Molano et al., 2022*) en sus resultados reportaron que en el transcurso de 34 años (1987 al 2021). Según el análisis discrepan con las precipitaciones y coinciden con la temperaturas, 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 09: Estadística descriptiva de precipitaciones, periodo (2018 - 2023).

| Variables | Media | Mediana | Máximo | Mínimo | Desviación estándar | Curtosis |
|--------------------|---------|---------|---------|---------|---------------------|----------|
| Precipitación (mm) | 1374.26 | 1423.38 | 1584.59 | 1041.18 | 186.74 | 2.03 |

***Nivel de confianza(95.0%)

Analizando la tabla 09, 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 1374.26 mm y una desviación estándar de 186.74, esta interrogante nos afirma que la precipitación de la muestra se desvía en promedio de 186.74 mm respecto a la media, la curtosis nos muestra una distribución normal con un valor atípico de 2.03 mm. También nos muestran durante los 6 años transcurridos, un máximo de precipitaciones de 1584.59 mm y un mínimo de 1041.18 mm en el nevado Allincapac, claramente con estos resultados obtenidos podemos demostrar que si existe una variación de las precipitaciones y concluimos que las precipitaciones han aumentado.

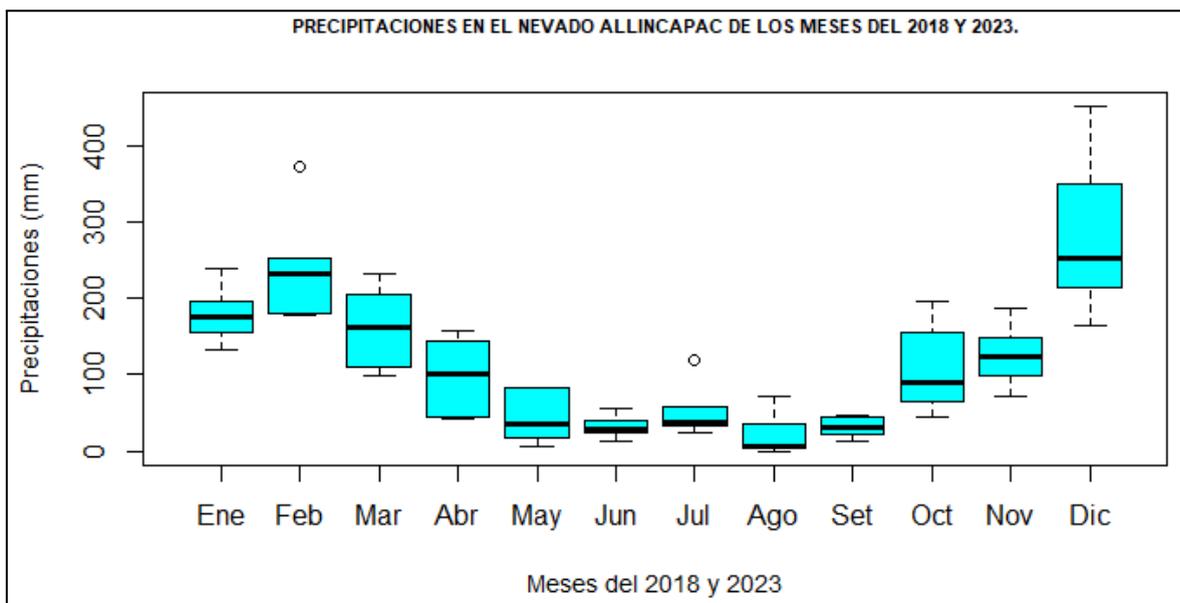


Figura 18: Boxplot de precipitaciones mensuales durante el 2018 - 2023.

En la figura 18, nos muestran las precipitaciones mensuales, analizando vemos los meses de febrero, marzo, abril, octubre y diciembre con mayores presencias de precipitaciones, mientras tanto los meses de junio, julio, agosto y septiembre presentan mayores ausencias de las precipitaciones.

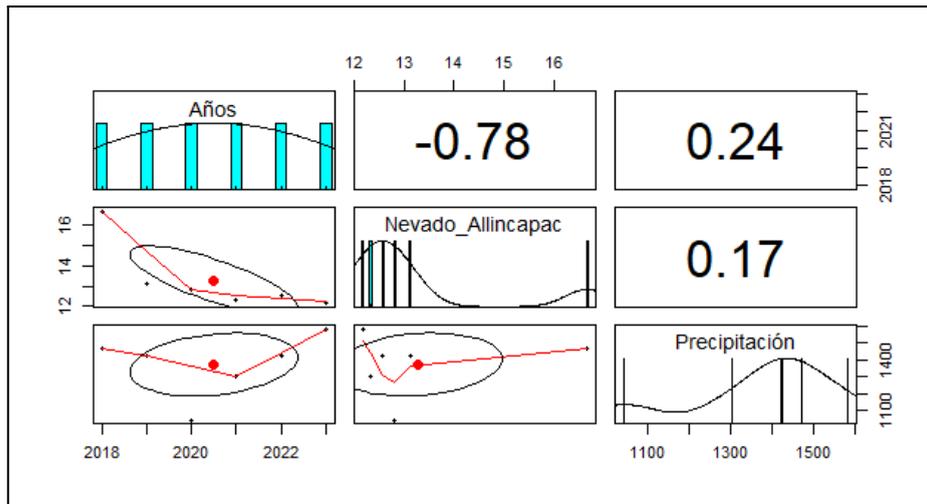


Figura 19: Correlación lineal de cobertura glaciar sobre precipitaciones durante el 2018 - 2023.

En la figura 19, nos muestra los años con respecto a la cobertura glaciar, donde presentan una correlación negativa y significativa de -0.78 , interpretando; durante el transcurso de los 6 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 de 0.17 , interpretando; mientras tanto que las precipitaciones va aumentando la cobertura glaciar va manteniéndose y posteriormente recuperando su área perdida. Por otro lado coincide con **(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 10: Pruebas de normalidad para la variable precipitación

| Normalidad de las precipitaciones mediante (Shapiro-Wilk) | | |
|---|-----------|---------|
| Variable | Statistic | p-value |
| Precipitación (mm) | 0.902 | 0.385 |

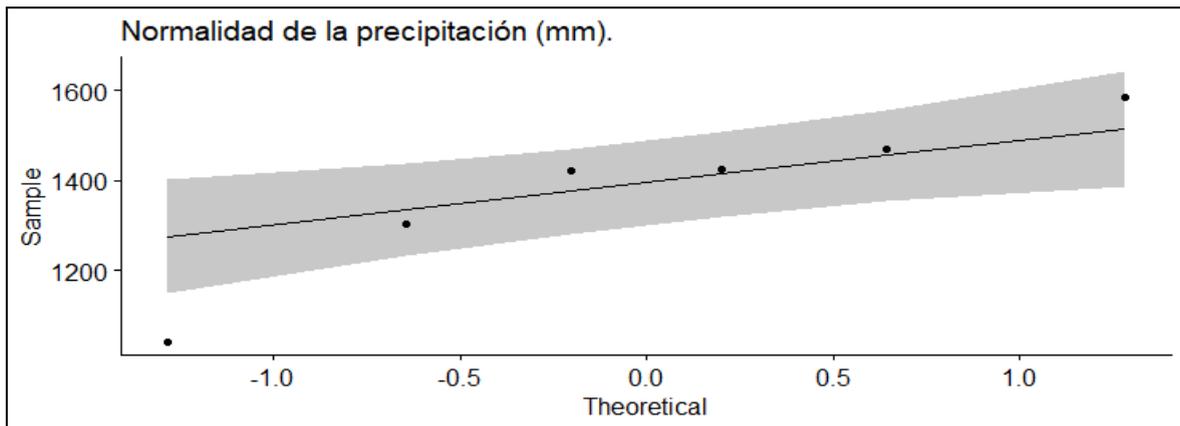


Figura 20: Gráfico de normalidad para la precipitación.

En la tabla 10 y en las figuras 20, se muestran la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, donde los datos de las precipitaciones, tienen una distribución normal durante el periodo 2018 - 2023, de acuerdo al p-valor = 0.385, 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 HN (Se acepta la HA).

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

Indicando que la hipótesis nula está indicada con (HN) y la hipótesis alterna está indicada con (HA), 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:

HA = La cobertura glaciar del nevado Allincapec cordillera de Carabaya ha disminuido con respecto a los periodos 2018 - 2023.

HN = La cobertura glaciar del nevado Allincapec cordillera de Carabaya no ha disminuido con respecto a los periodos 2018 - 2023.

Resultado de la prueba de hipótesis

En la figuras 22, se aprecia la prueba estadística de correlación y regresión lineal de la cobertura glaciar del nevado Allincapec con respecto a los años; indicando que de acuerdo a la prueba estadística se han obtenido un valor de significancia de p-valor 0.017, 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 Allincapec cordillera de Carabaya ha disminuido con respecto a los periodos 2018 - 2023.

4.4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 2.

Formulación de la hipótesis estadística:

HA = Las altas temperaturas influyen significativamente en el retroceso glaciar del nevado Allincapec entre el 2018 - 2023.

HN = Las altas temperaturas no influyen significativamente en el retroceso glaciar del nevado Allincapec entre el 2018 - 2023.

Resultado de la prueba de hipótesis

En la tabla 11 y en las figuras 21, se aprecia la prueba estadística de correlación y regresión lineal de la cobertura glaciar del nevado Allincapec con respecto a las temperaturas; indicando que de acuerdo a la prueba estadística se han obtenido un valor de significancia de p-valor 0.046, para la cobertura glaciar con respecto a las temperaturas máximas, también se han obtenido un valor de significancia de p-valor 0.12, para la cobertura glaciar con respecto a las temperaturas mínimas, comparado con el valor alfa 0.05 es mayor. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la:

Hipótesis Alternativa = Las altas temperaturas influyen significativamente en el retroceso glaciar del nevado Allincapec entre el 2018 - 2023.

4.4.3. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 3.

Formulación de la hipótesis estadística:

HA = El aumento de las precipitaciones no influyen significativamente en el retroceso glaciar del nevado Allincapec entre el 2018 - 2023.

HN = El aumento de las precipitaciones si influyen significativamente en el retroceso glaciar del nevado Allincapec entre el 2018 - 2023.

Resultado de la prueba de hipótesis

En la tabla 11 y en las figuras 21, se aprecia la prueba estadística de correlación y regresión lineal de la cobertura glaciar del nevado Allincapec con respecto a las precipitaciones acumulada; indicando que de acuerdo a la prueba estadística se han obtenido un valor de p-valor 0.74, para la cobertura glaciar con respecto a las precipitaciones, comparado con el valor alfa 0.05 es mayor. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la:

Hipótesis Alternativa = El aumento de las precipitaciones no influyen significativamente en el retroceso glaciar del nevado Allincajac entre el 2018 - 2023.

Tabla 11: Matriz de correlación de Pearson de las variables.

| | | Correlaciones de las variables independientes y dependientes mediante "pearson" | | | |
|-------------------|----------------|---|----------|----------|---------------|
| | | Cobertura glaciar | Tmax | Tmin | Precipitación |
| Cobertura glaciar | Method Pearson | 1 | -0.82 | -0.71 | 0.17 |
| | p-value | <2.2e-16 | 0.046 | 0.12 | 0.74 |
| Tmax | Method Pearson | -0.82 | 1 | 0.64 | -0.15 |
| | p-value | 0.046 | <2.2e-16 | 0.17 | 0.77 |
| Tmin | Method Pearson | -0.71 | 0.64 | 1 | 0.052 |
| | p-value | 0.12 | 0.17 | <2.2e-16 | 0.92 |
| Precipitación | Method Pearson | 0.17 | -0.15 | 0.052 | 1 |
| | p-value | 0.74 | 0.77 | 0.92 | <2.2e-16 |

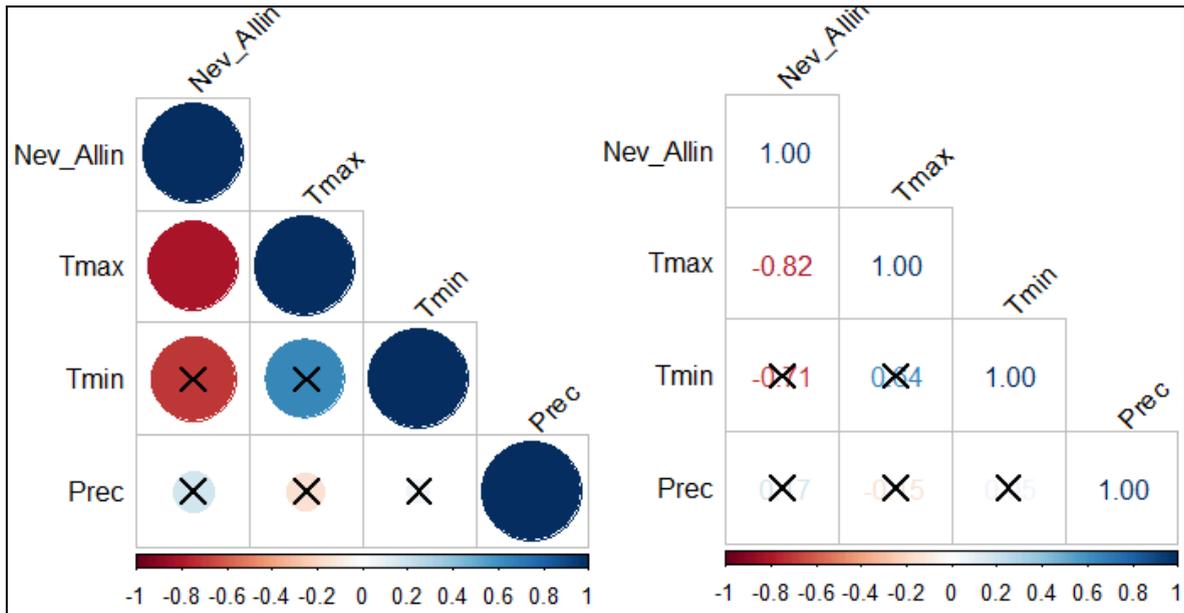


Figura 21: Correlograma para las variables en símbolos y en numericos.

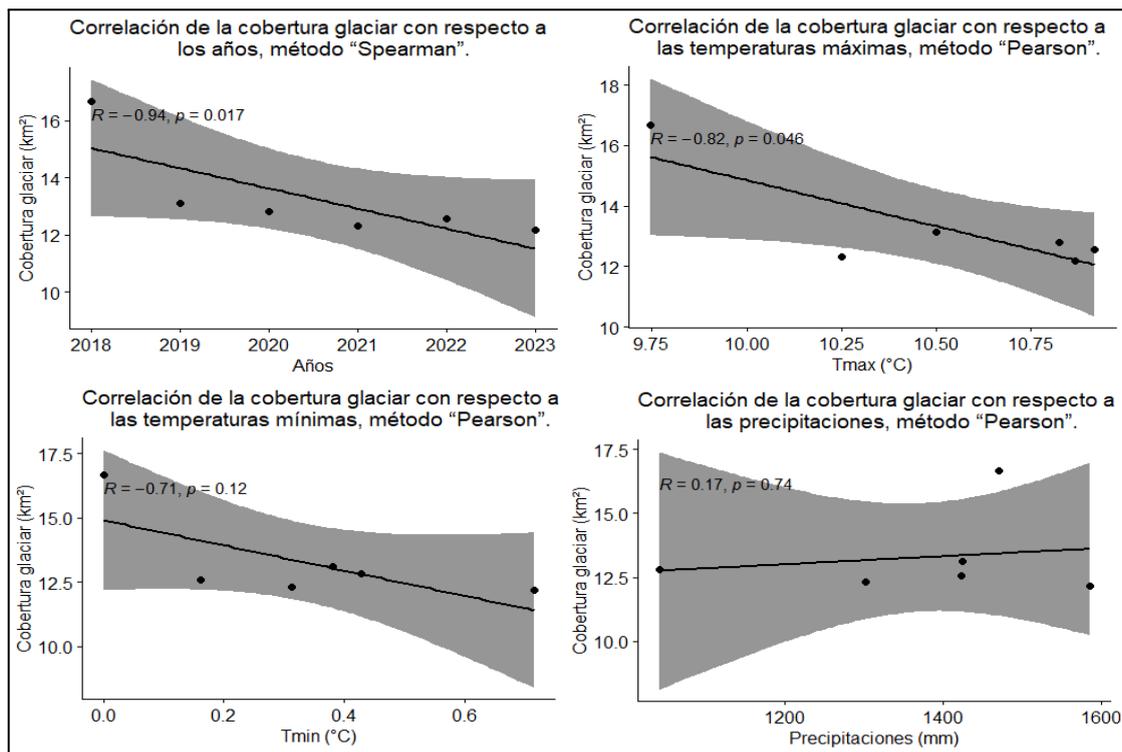


Figura 22. Correlación de la variable independiente con respecto a la variable dependiente.

CONCLUSIONES

PRIMERA: Al evaluar el retroceso de la cobertura glaciar del nevado nevado Allincapec de la cordillera de Carabaya causado por la influencia de los elementos climáticos, período 2018 - 2023. Se concluye que las coberturas glaciares durante los últimos 6 años, ha decrecido estadísticamente significativamente, debido al aumento exponencialmente de las temperaturas máximas y mínimas, por otro lado al aumento de las precipitaciones el nevado Allincapec no fue afectado en su retroceso.

SEGUNDA: Al estimar el área del retroceso de la cobertura glaciar del nevado Allincapec entre el 2018 - 2023. Se concluye que la cobertura glaciar con respecto a los años de estudio, presenta una correlación negativa y significativa de -0.94, interpretando; durante el transcurso de los 6 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 Allincapec entre el 2018 - 2023. Se concluye que la cobertura glaciar con respecto a la temperatura máxima, tiene una correlación negativa y significativa de -0.82, 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 0.12, interpretando; mientras tanto que las temperaturas mínimas va aumentando la cobertura glaciar va decreciendo moderadamente.

CUARTA: Al determinar la influencia de la precipitación en el retroceso de la cobertura glaciaria del nevado Allincapec entre el 2018 - 2023. Se concluye que la cobertura glaciaria con respecto a las precipitaciones, tiene una correlación moderada de 0.17, interpretando; mientras tanto el nevado Allincapec presenta un aumento de las precipitaciones, la cobertura glaciaria se estabiliza su retroceso con el aumento de las precipitaciones..

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 Carabaya, 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 Carabaya, 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>
- Alberti, A. P. (2021). El patrimonio glaciar y periglaciar del Geoparque Mundial UNESCO Montañas do Courel (Galicia). *Cuaternario y Geomorfología*, 35(1-2), Article 1-2.
<https://doi.org/10.17735/cyg.v35i1-2.89295>
- Aristizabal, E., López-Castro, S., Gómez-Gómez, J. C., & López, L. F. (2020). Definición de áreas con condición de amenaza y áreas con condición de riesgo en los planes de ordenamiento territorial de los municipios en Colombia. *Gestión y Ambiente*, 23(2), Article 2. <https://doi.org/10.15446/ga.v23n2.87129>
- Báez, J. C., Pascual-Alayón, P., Ramos, M. L., Abascal, F. J., Báez, J. C., Pascual-Alayón, P., Ramos, M. L., & Abascal, F. J. (2018). Túnidos tropicales: Calentamiento global y seguridad alimentaria, una visión global. *Revista de biología marina y oceanografía*, 53(1), 1-8.
<https://doi.org/10.4067/S0718-19572018000100001>
- Baquerizo, N. C., & Ventocilla, E. J. V. (2022). Evaluación de algoritmos de machine learning en la clasificación de imágenes satelitales multiespectrales, caso: Amazonia Peruana. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(1), 4946-4963. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i1.1843
- 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*, XXXVI(59).
<https://www.redalyc.org/journal/721/72166221002/html/>
- Bolaños, E., Montalvo, D., & Velasteguí, B. (2022). HERRAMIENTAS DE MERCADO

- PARA ESTIMAR LOS BENEFICIOS ECONÓMICOS DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN LA RESERVA TAPICHALACA. *Revista Geoespacial*, 19(2), Article 2. <https://doi.org/10.24133/geoespacial.v19i2.2943>
- Bolívar Yapura, E. (2018). *Evaluación de la deglaciación del nevado Ausangate y su influencia en la disponibilidad de recursos hídricos en la cuenca alta del río Pitumarca—Cusco*. <https://repositorio.uap.edu.pe/xmlui/handle/20.500.12990/2855>
- 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>
- Calizaya Llatasi, E. E. (2018). Modelamiento de la desglaciación de los nevados de la Cuenca del Río Santa y su impacto en los recursos hídricos. *Universidad Nacional Agraria La Molina*. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3793>
- Camas-Guardamino, D. J., Mamani-Sinche, M. S., Camas-Guardamino, D. J., & Mamani-Sinche, M. S. (2022). Evaluación de la vegetación y saturación del suelo en el Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla mediante teledetección en Perú, 2006-2021. *Revista de Ciencias Ambientales*, 56(1), 54-74. <https://doi.org/10.15359/rca.56/1.3>
- Canaza-Choque, F. A. (2019). De la educación ambiental al desarrollo sostenible: Desafíos y tensiones en los tiempos del cambio climático. *Revista de Ciencias Sociales*, 165, 155-172.
- 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>
- Dormido, L., Garrido, I., L'Hotellerie-Fallois, P., & Santillán Fraile, J. (2022). *El cambio*

- climático y la sostenibilidad del crecimiento: Iniciativas internacionales y políticas europeas.* <https://repositorio.bde.es/handle/123456789/22528>
- Eugenio Gonzalez, F. (2000). *Procesado, modelado y georreferenciación de imágenes de teledetección: Metodología, automática para la obtención de parámetros oceanográficos* [Http://purl.org/dc/dcmitype/Text, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=233974>
- Falcó Boudet, J. M. (2017). Evaluación de la competencia digital docente en la Comunidad Autónoma de Aragón. *Revista electrónica de investigación educativa*, 19(4), 73-83. <https://doi.org/10.24320/redie.2017.19.4.1359>
- Follanos Molero, A., & Sarmientos Fuentes, J. A. (2020). Evaluación de la regresión glaciaria 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>
- H, L. Q., G, M. B., A, W. G., L, R. S., & P, M. M. (2019). Estimación de la radiación solar diaria para la ciudad de Bagua, región Amazonas, Perú. *Selecciones Matemáticas*, 6(02), Article 02. <https://doi.org/10.17268/sel.mat.2019.02.18>
- Matul, P., & Rafael, J. (2021). *Comportamiento de la reflectancia en el cultivo de sorgo de acuerdo con la fenología y la ubicación geográfica.* <https://repositorio.uaaan.mx/xmlui/handle/123456789/47997>
- 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 glaciario 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>
- 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>
- Monge-Rodríguez, F. S., Huggel, C., & Vicuna, L. (2022). Percepción del deshielo glaciar y el cambio climático en pobladores andinos de Perú: Abordaje interdisciplinario. *Ambiente & Sociedad*, 25, e02272. <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20200227r2vu2022L3AO>
- Nieto Santos, J. F., & Alarcón Alvarez, J. D. (2023). *Análisis multiespectral y multitemporal para la valoración multidimensional del impacto de los metales pesados en el lago Junín en el periodo 2015 – 2020*. <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/7721>
- Pacompia Vilca, S. E. (2022). Nivel de desglaciación del nevado Allinpacac entre los años 2000 y 2020 ubicado en el Distrito de Macusani. *Universidad Privada San Carlos*. <http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/437>
- Quezada, A. S., Tapia, J. D. S., Sacoto, E. C. A., Quezada, A. S., Tapia, J. D. S., & Sacoto, E. C. A. (2022). Estimación de la tasa de deforestación en Pastaza y Orellana- Ecuador mediante el análisis multitemporal de imágenes satelitales durante el período 2000-2020. *Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*, 6(17), 282-299. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v6i17.168>
- Ramírez, M., Martínez, L., Montilla, M., Sarmiento, O., Lasso, J., & Díaz, S. (2020). Obtención de coberturas del suelo agropecuarias en imágenes satelitales Sentinel-2 con la inyección de imágenes de dron usando Random Forest en Google Earth Engine. *Revista de Teledetección*, 0(56), 49-68. <https://doi.org/10.4995/raet.2020.14102>

- Rodríguez Pascual, A. F. (2021). Aspectos legales de los datos y servicios geoespaciales y su incidencia en la privacidad. *Revista cartográfica*, 102, 141-144. <https://doi.org/10.35424/rcarto.i102.880>
- Ruiz, L. (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.*
- Ruiz-Ochoa, M. A., Torres-Corredor, J. S., Vargas-Corredor, Y. A., Orduz-Amaya, L. P., Ruiz-Ochoa, M. A., Torres-Corredor, J. S., Vargas-Corredor, Y. A., & Orduz-Amaya, L. P. (2023). Variabilidad climática (precipitación, temperatura y humedad relativa) para la gestión hídrica del departamento del Casanare, Colombia. *Información tecnológica*, 34(5), 47-60. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642023000500047>
- Samaniego, J., Alatorre, J. E., Reyes, O., Ferrer, J., Muñoz, L., & Arpaia, L. (2019). *Panorama de las contribuciones determinadas a nivel nacional en América Latina y el Caribe, 2019: Avances para el cumplimiento del Acuerdo de París.* <https://hdl.handle.net/11362/44974>
- Sánchez, E. R., & Vargas, D. J. C. (2023). Extracción y cuantificación de Antocianinas de maíz morado (zea mays l.) utilizando dos solventes a diferentes temperaturas y tiempos de extracción. *Revista Latinoamericana de Difusión Científica*, 5(8), Article 8. <https://doi.org/10.38186/difcie.58.04>
- Santos, A. J. F. dos, Ferreira, J. M., Baptista, F., Alexandrino, B., Silva, M. A. G. da, Gomes, J. E. C., Júnior, J. P. V., Tavares, R. M., & Almeida, K. de S. (2022). Statistical analysis between 2006 and 2019 and forecast of rabies in cattle from 2020 to 2022 in Tocantins State (Brazil), by using the R Studio software. *Epidemiology & Infection*, 150, e82. <https://doi.org/10.1017/S0950268822000553>
- Selva-Royo, J. R. (2020). La cuantificación metropolitana en España. Hacia una definición

- homogénea de los espacios de gobernanza supramunicipal. *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales*, 52(204), Article 204. <https://doi.org/10.37230/CyTET.2020.204.02>
- Silva, H. D., & David, C. (2020). *El Océano Glaciar Ártico como zona de navegación*. <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/21670>
- 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>
- Vigier-Moreno, F. J., & Gutiérrez, R. L. (2019). La formación en interpretación remota: Una experiencia docente interuniversitaria. *Innovación educativa*, 29, Article 29. <https://doi.org/10.15304/ie.29.6271>
- Zempoalteca Durán, B., Barragán López, J. F., González Martínez, J., Guzmán Flores, T., Zempoalteca Durán, B., Barragán López, J. F., González Martínez, J., & Guzmán Flores, T. (2017). Formación en TIC y competencia digital en la docencia en instituciones públicas de educación superior. *Apertura (Guadalajara, Jal.)*, 9(1), 80-96. <https://doi.org/10.32870/ap.v9n1.922>
- Zhang, H., Wang, F.-T., & Zhou, P. (2022). Changes in climate extremes in a typical glacierized region in central Eastern Tianshan Mountains and their relationship with observed glacier mass balance. *Advances in Climate Change Research*, 13(6), 909-922. <https://doi.org/10.1016/j.accre.2022.10.006>

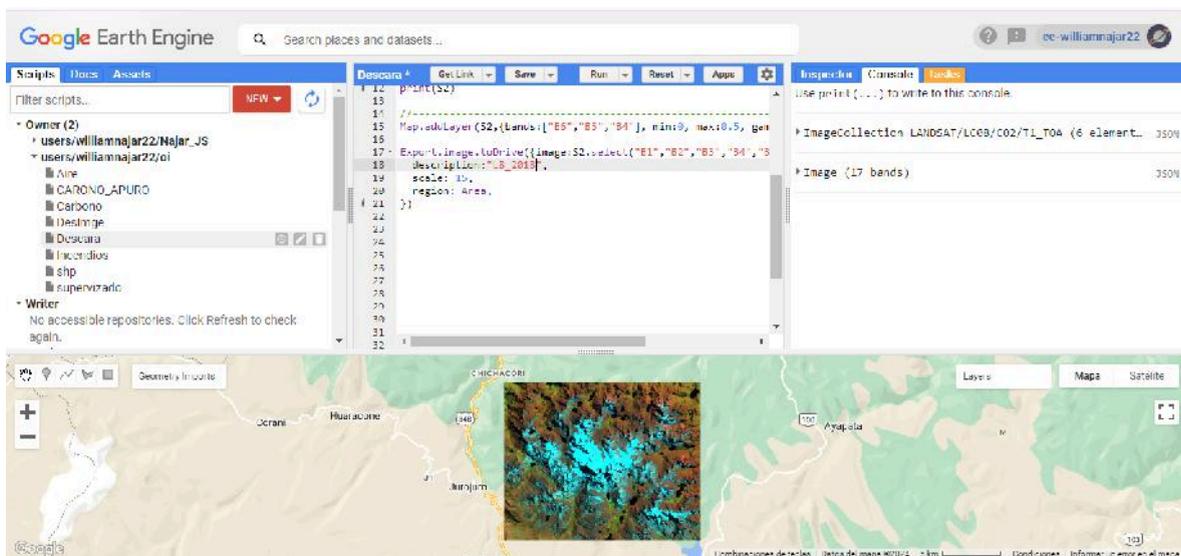
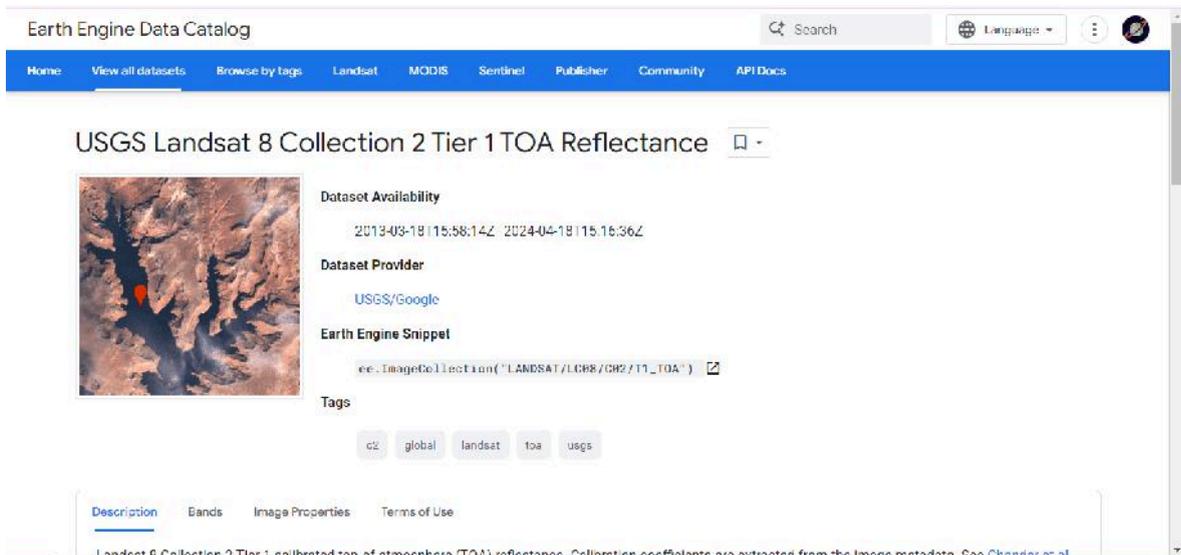
ANEXOS

Anexo 01: Matriz de consistencia.

“Retroceso de la cobertura glaciar del nevado Allincapac cordillera de Carabaya por la influencia de los elementos climáticos, período 2018 - 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 Allincapac cordillera de Carabaya por la influencia de los elementos climáticos, período 2018 - 2023?.</p> <p>ESPECÍFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> ¿Cuanto es el retroceso de la cobertura glaciar del nevado Allincapac con respecto a los períodos 2018 - 2023? ¿De qué manera la temperatura influye en el retroceso glaciar del nevado Allincapac entre el 2018 - 2023? ¿De qué manera la precipitación influye en el retroceso glaciar del nevado Allincapac entre el 2018 - 2023? | <p>GENERAL</p> <p>Evaluar el retroceso de la cobertura glaciar del nevado Allincapac cordillera de Carabaya por la influencia de los elementos climáticos, período 2018 - 2023.</p> <p>ESPECÍFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> Estimar el retroceso de la cobertura glaciar del nevado Allincapac con respecto a los períodos 2018 - 2023. Determinar la influencia de la temperatura en el retroceso de la cobertura glaciar del nevado Allincapac entre el 2018 - 2023. Determinar la influencia de la precipitación en el retroceso de la cobertura glaciar del nevado Allincapac entre el 2018 - 2023. | <p>GENERAL</p> <p>El retroceso de la cobertura glaciar del nevado Allincapac cordillera de Carabaya es significativo por la influencia de los elementos climáticos, período 2018 - 2023.</p> <p>ESPECÍFICAS</p> <ul style="list-style-type: none"> La cobertura glaciar del nevado Allincapac cordillera de Carabaya ha disminuido con respecto a los períodos 2018 - 2023. Las altas temperaturas influyen significativamente en el retroceso glaciar del nevado Allincapac entre el 2018 - 2023. El aumento de las precipitaciones no influye significativamente en el retroceso glaciar del nevado Allincapac entre el 2018 - 2023. | <p>Variable Independiente:</p> <p>Influencia de los elementos climáticos.</p> <p>Variable Dependiente:</p> <p>Retroceso de la cobertura glaciar del nevado Allincapac.</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>Programas computacionales</p> <p>R-Studio (v4.3.1)</p> <p>Software QGis (v3.26.17)</p> <p>Portal (Power nasa)</p> <p>Información meteorológica desde el año 2018 y 2023</p> | <p>Imágenes Aéreas LANDSAT 8</p> <p>Tipo de Investigación</p> <ul style="list-style-type: none"> Descriptivo y correlacional 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 Allincapac |

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



Anexo 03: Datos de precipitaciones del nevado Allincapac, obtenido del portal Power nasa.

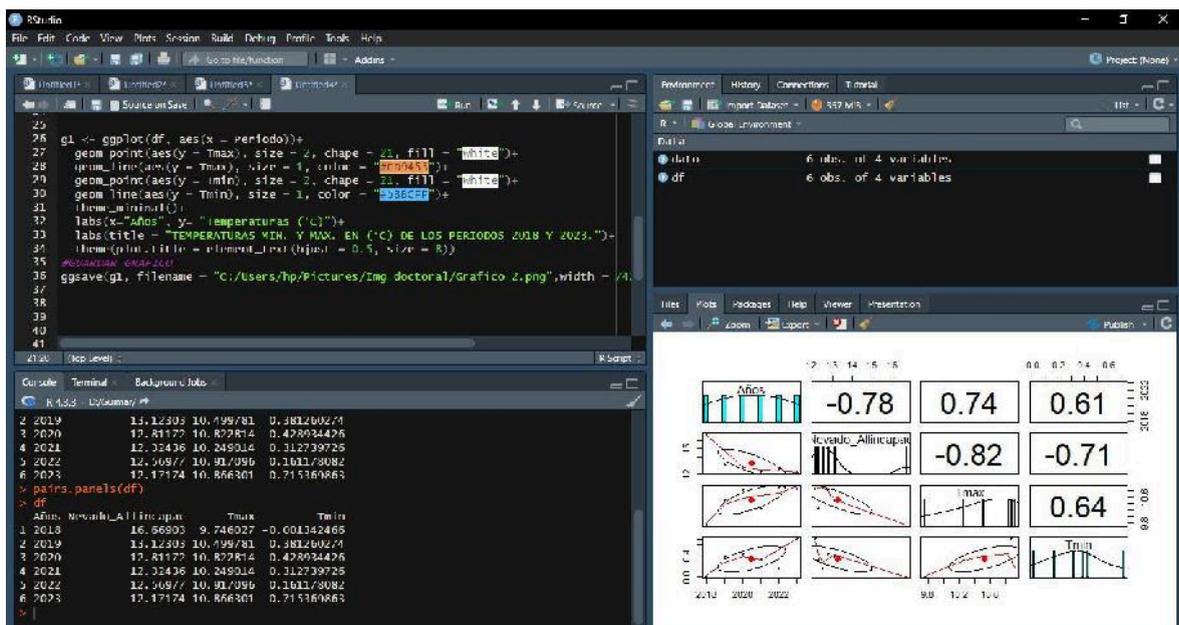
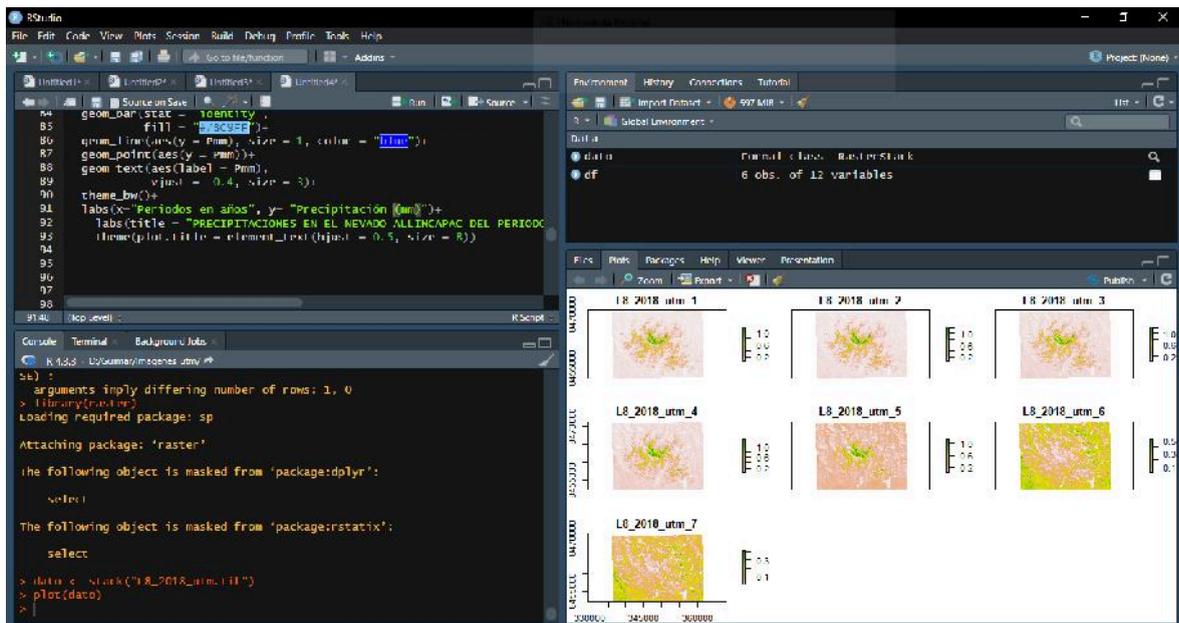
| Condenadas de la estación en UTM | | Precipitación en el nevado Allincapac | | | | | | | | | | | | -70.4098 | |
|----------------------------------|----------------|---------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------|--|
| Suma de Precipitaciones (mm) | | Latitud | | | | | | Escala anual y mensual | | | | | | Longitud | |
| Periodos | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Set | Oct | Nov | Dic | Total general | | |
| 2018 | 191.73 | 252.09 | 205.16 | 84.22 | 53.13 | 40.39 | 40.27 | 71.35 | 22.75 | 195.23 | 148.62 | 165.41 | 1470.35 | | |
| 2019 | 158.22 | 178.44 | 98.05 | 119.16 | 82.01 | 25.03 | 33.27 | 0 | 24.66 | 65.87 | 187.02 | 452.12 | 1423.85 | | |
| 2020 | 155.81 | 247.67 | 141.02 | 43.3 | 6.03 | 25.39 | 58.13 | 6.82 | 12.82 | 45.34 | 72.71 | 226.14 | 1041.18 | | |
| 2021 | 197.3 | 219.63 | 110.54 | 156.72 | 16.58 | 31.38 | 22.93 | 3.96 | 36.66 | 156.63 | 134.74 | 215.63 | 1302.7 | | |
| 2022 | 132.93 | 373.14 | 183.59 | 43.9 | 16.45 | 13.26 | 33.64 | 35.89 | 47.26 | 93.65 | 97.98 | 351.22 | 1422.91 | | |
| 2023 | 239.02 | 180.02 | 232.55 | 144.32 | 82.26 | 55.34 | 119.44 | 3.07 | 44.8 | 87.31 | 115.09 | 281.37 | 1584.59 | | |
| Total general | 1075.01 | 1450.99 | 970.91 | 591.62 | 256.46 | 190.79 | 307.68 | 121.09 | 188.95 | 644.03 | 756.16 | 1691.89 | 8245.58 | | |

Anexo 04: Datos de temperaturas del nevado Allincapac, obtenido del portal Power nasa.

| Condenadas de la estación en UTM | | Tmax en el nevado Allincapac | | | | | | | | | | | | -70.4098 | | | | | |
|----------------------------------|--------------|------------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|----------|--|--|--|--|--|
| Promedio de Tmax | | Latitud | | | | | | Escala anual y mensual | | | | | | Longitud | | | | | |
| Períodos | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Set | Oct | Nov | Dic | Total general | | | | | | |
| 2018 | 9.67 | 9.71 | 9.68 | 9.74 | 10.21 | 8.83 | 9.21 | 8.07 | 10.20 | 9.94 | 11.33 | 10.40 | 9.75 | | | | | | |
| 2019 | 10.29 | 9.87 | 10.53 | 10.64 | 10.62 | 10.50 | 9.63 | 10.89 | 10.63 | 10.85 | 11.17 | 10.34 | 10.50 | | | | | | |
| 2020 | 10.43 | 10.07 | 10.75 | 10.74 | 10.46 | 10.01 | 10.38 | 11.16 | 10.35 | 11.42 | 13.33 | 10.76 | 10.82 | | | | | | |
| 2021 | 9.72 | 10.02 | 9.97 | 10.21 | 9.96 | 9.33 | 9.77 | 10.50 | 10.63 | 11.85 | 10.53 | 10.48 | 10.25 | | | | | | |
| 2022 | 10.47 | 10.01 | 10.40 | 11.35 | 10.60 | 9.67 | 10.63 | 10.75 | 11.18 | 12.31 | 12.89 | 10.71 | 10.92 | | | | | | |
| 2023 | 10.43 | 10.22 | 10.04 | 10.37 | 10.01 | 10.27 | 11.37 | 10.85 | 10.59 | 12.46 | 12.15 | 11.58 | 10.87 | | | | | | |
| Total general | 10.17 | 9.98 | 10.23 | 10.51 | 10.31 | 9.76 | 10.16 | 10.37 | 10.60 | 11.47 | 11.90 | 10.71 | 10.52 | | | | | | |

| Condenadas de la estación en UTM | | Tmin en el nevado Allincapac | | | | | | | | | | | | -70.4098 | | | | | |
|----------------------------------|-------------|------------------------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|---------------|----------|--|--|--|--|--|
| Promedio de Tmin | | Latitud | | | | | | Escala anual y mensual | | | | | | Longitud | | | | | |
| Períodos | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Set | Oct | Nov | Dic | Total general | | | | | | |
| 2018 | 0.73 | 0.94 | 1.19 | 0.43 | -0.59 | -1.58 | -1.97 | -1.27 | -0.94 | 0.57 | 1.47 | 1.08 | 0.00 | | | | | | |
| 2019 | 1.44 | 1.09 | 1.61 | 1.34 | -0.18 | -1.08 | -1.17 | -1.82 | 0.20 | 0.26 | 1.16 | 1.80 | 0.38 | | | | | | |
| 2020 | 1.73 | 1.83 | 1.81 | 0.85 | -0.63 | -0.35 | -0.94 | -1.45 | -0.59 | 0.17 | 1.02 | 1.77 | 0.43 | | | | | | |
| 2021 | 1.18 | 0.81 | 1.04 | 0.39 | -0.30 | -0.75 | -1.52 | -1.21 | 0.79 | 0.79 | 1.26 | 1.33 | 0.31 | | | | | | |
| 2022 | 1.01 | 1.04 | 0.93 | 0.95 | -0.04 | -1.36 | -0.24 | -1.14 | -0.29 | 0.27 | 0.38 | 0.48 | 0.16 | | | | | | |
| 2023 | 1.24 | 1.27 | 1.02 | 1.03 | 0.10 | -1.16 | -0.27 | -0.34 | 0.62 | 1.05 | 1.90 | 2.17 | 0.72 | | | | | | |
| Total general | 1.22 | 1.17 | 1.26 | 0.83 | -0.27 | -1.05 | -1.02 | -1.20 | -0.04 | 0.52 | 1.20 | 1.44 | 0.33 | | | | | | |

Anexo 05: Análisis de datos en R studios.



Anexo 06: Pruebas de normalidades de las variables en R.

```
> df %>%
+ shapiro_test(Nevado_Allincapac)
# A tibble: 1 × 3
  variable      statistic      p
  <chr>         <dbl> <dbl>
1 Nevado_Allincapac 0.685 0.00424
> df %>%
+ shapiro_test(Tmax)
# A tibble: 1 × 3
  variable statistic      p
  <chr>         <dbl> <dbl>
1 Tmax          0.875 0.246
> df %>%
+ shapiro_test(Tmin)
# A tibble: 1 × 3
  variable statistic      p
  <chr>         <dbl> <dbl>
1 Tmin          0.981 0.956
> df %>%
+ shapiro_test(Precipitación)
# A tibble: 1 × 3
  variable      statistic      p
  <chr>         <dbl> <dbl>
1 Precipitación 0.902 0.385
> |
```

Anexo 07: Matriz de correlación de Pearson de las variables en R.

```
> Matriz_cor
# A tibble: 4 x 5
  rowname Nev_Allin Tmax Tmin Prec
* <chr>    <dbl> <dbl> <dbl> <dbl>
1 Nev_Allin      1 -0.82 -0.71 0.17
2 Tmax          -0.82 1 0.64 -0.15
3 Tmin          -0.71 0.64 1 0.052
4 Prec           0.17 -0.15 0.052 1
> #ver la significancia
> rstatix::cor_mark_significant(Matriz_cor)
  rowname Nev_Allin Tmax Tmin Prec
1 Nev_Allin
2 Tmax      -0.82*
3 Tmin     -0.71 0.64
4 Prec      0.17 -0.15 0.052
> |
```

Anexo 08: Panel fotográfico.



Figura 01: Nevado Allincahuasi en el año 2018.



Figura 02: Nevado Allincahuasi en el año 2023.



Figura 03: Presencia del nevado Allincapac en el año 2018.



Figura 04: Disminución del nevado Allincapac en el año 2023.