

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA AMBIENTAL**

“ANÁLISIS DE LA DISMINUCIÓN DE GLACIARES EN LOS NEVADOS DEL ALTIPLANO DE PUNO Y SU RELACIÓN CON LOS CAMBIOS DE TEMPERATURA ENTRE 1986 Y 2022”

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autor:

Rosselyn Florinda Salinas Medina

Luis Jonnatan Valdez Terrones

Asesor:

Mg. Ing. Wilson Carlos Gómez Hurtado

<https://orcid.org/0000-0002-3434-3664>

Lima - Perú

2024

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	WILBERTO EFFIO QUEZADA
	Nombre y Apellidos

Jurado 2	WILSON CARLOS GOMEZ
	HURTADO
	Nombre y Apellidos

Jurado 3	ISELLI JOSYLIN MURGA
	GONZALEZ
	Nombre y Apellidos

INFORME DE SIMILITUD

ANÁLISIS DE LA DISMINUCIÓN DE GLACIARES EN LOS NEVADOS DEL ALTIPLANO DE PUNO Y SU RELACIÓN CON LOS CAMBIOS DE TEMPERATURA ENTRE 1986 Y 2022

INFORME DE ORIGINALIDAD

3%	%	3%	%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

- 1** "Advances in Emerging Trends and Technologies", Springer Science and Business Media LLC, 2021
Publicación **<1%**
- 2** Bijeesh Kozhikkodan Veetil, Shanshan Wang, Sergio Florêncio de Souza, Ulisses Franz Bremer, Jefferson Cardia Simões. "Glacier monitoring and glacier-climate interactions in the tropical Andes: A review", Journal of South American Earth Sciences, 2017
Publicación **<1%**
- 3** Maria Leunda, Penélope González-Sampériz, Graciela Gil-Romera, Josu Aranbarri et al. "The Late-Glacial and Holocene Marboré Lake sequence (2612 m a.s.l., Central Pyrenees, Spain): Testing high altitude sites sensitivity to millennial scale vegetation and climate variability". Global and Planetary Change. **<1%**

DEDICATORIA

Rosselyn Salinas M.

La dedicatoria de esta tesis es para:

Mis padres, Alfredo Salinas y Julia Medina, quienes me han ayudado y agasajado durante este camino de desarrollo profesional. Siempre me han apoyado y mostrado empatía y amor incondicional en los momentos difíciles.

A mis hermanos, Daniel, Fernán y Luis, que me han apoyado en mi camino hacia el éxito y han sido mis mentores. Sus sabios consejos me han ayudado en mis esfuerzos profesionales y me han servido de inspiración para terminar esta tesis.

A mi amiga Mary Luz, que es parte de mi familia y en lo que ha podido me ha apoyado, animado, acompañado y aconsejado, le doy gracias por siempre preocuparse por mi bienestar.

A mi mejor amiga Kateryn que desde el cielo me escucha y me cuida, cumplir las metas que ella no pudo ha sido mi inspiración y sé que me alienta desde lo alto.

Luis Valdez T.

A mi madre, que me ilumina desde el cielo, dándome fuerzas para seguir adelante. Ella supo inculcarme comportamientos, emociones y principios morales positivos que me han permitido superar momentos difíciles y seguir adelante.

A mi padre, por brindarme la valentía de luchar en este largo camino, llamado "vida".

A mis hermanos y cuñada, por siempre guiarme en el camino correcto y por su motivación en ayudarme a continuar en mis proyectos, cada vez que quería rendirme, especialmente Walter Valdez y Gloria Criollo, mis dos grandes e inmensos pilares en mi vida.

AGRADECIMIENTO

.Rosselyn Salinas M.

En primer lugar, agradecer a Dios por siempre escucharme en cada momento difícil.

A mi familia que me ha motivado y apoyado para el cumplimiento de mis objetivos personales y académicos

A nuestro asesor Wilson Gómez Hurtado por su dedicación y paciencia además de sus palabras y correcciones para la realización de esta investigación.

A los docentes que a lo largo de la carrera profesional siempre supieron guiar con sus conocimientos.

Luis Valdez T.

A mi familia por su comprensión y estímulo constante, por ser una gran fuente de energía en mí y poder obtener los logros en mi vida.

TABLA DE CONTENIDO

JURADO EVALUADOR.....	2
INFORME DE SIMILITUD.....	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
TABLA DE CONTENIDO.....	6
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS.....	8
ÍNDICE DE ANEXOS	9
RESUMEN	10
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	11
1.1.Realidad Problemática	11
1.2.Formulación del Problema.....	27
1.3.Objetivos.....	28
1.4.Hipótesis	28
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	30
CAPÍTULO III: RESULTADOS.....	37
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
ANEXO.....	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	38
Tabla 2	39
Tabla 3	40
Tabla 4	40
Tabla 5	44
Tabla 8	46
Tabla 1	80
Tabla 8	81
Tabla 9	82
Tabla 10	82
Tabla 11	83
Tabla 12	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	37
Figura 2	42
Figura 3	43
Figura 4	45

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1	80
Anexo 2	81
Anexo 3	82
Anexo 4	83

RESUMEN

En este estudio, se examinó la relación entre las temperaturas y la pérdida de glaciares en los nevados del altiplano de Puno durante el período de 1986 a 2022. Se empleó un diseño longitudinal no experimental y un enfoque explicativo. Para identificar los glaciares, se utilizó la técnica de teledetección, específicamente el Índice Diferencial Normalizado de Nieve (NDSI), y se recopilaron datos climáticos del producto PISCO-SENAMHI. Los resultados revelaron que los glaciares en los nevados del altiplano de Puno retrocedieron a una tasa promedio anual de 4,14 km², destacando el nevado Qhuchi como el más impactado. Además, se observaron incrementos en la cobertura glaciar en los años 1994, 2002 y 2014 debido a los fenómenos de La Niña.

Palabras clave: teledetección, imágenes satelitales, cobertura glaciar, y temperatura.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

La amenaza territorial generado por la disminución de masas glaciares tanto en espesor, extensión y volumen de hielo, tiene como gran amenaza al calentamiento global. Todos los glaciares se ven afectados por este proceso, aunque los glaciares tropicales corren especial peligro. El suministro de agua en las cuencas hidrográficas que dependen del deshielo de estos glaciares se ve significativamente afectado por su declive. El nivel del mar aumentará como consecuencia del deshielo de los glaciares debido a la actividad humana, en particular el cambio climático y las emisiones gaseosas de alto impacto que provocan el efecto invernadero, las cuales aceleran este retroceso y afectan a las personas vulnerables que dependen principalmente de las zonas costeras y la agricultura (El Grupo Intergubernamental de Cambio Climático-IPCC, 2018).

Los glaciares tropicales de los Andes, que se extienden desde el norte de Chile hasta Venezuela, son especialmente vulnerables al cambio climático. Algunos glaciares famosos ya han desaparecido, como el Chacaltaya de Bolivia. En lo que respecta a los glaciares de los trópicos exteriores de Perú, los Andes se dividen en dos estaciones bien diferenciadas: época con alta concentración de lluvia que abarca de diciembre hasta el próximo año de marzo, y la estación con época seca, abarca desde el mes de abril hasta noviembre del mismo año. Dependiendo del clima, estas dos estaciones tienen efectos variables sobre la acumulación de hielo durante la estación lluviosa y el deshielo a lo largo del año (Kaser y Osmaston, 2002).

Los glaciares almacenan agua durante la estación lluviosa, que se libera progresivamente durante la estación seca. Tres sectores -norte, centro y sur- de las 19 cordilleras de Perú contienen aproximadamente el 71% de superficie en glaciares de tipo tropical en toda la parte continental.

Por otra parte, entre 1962 y 1970 se identificaron 3044 glaciares con un total de 2041,82 km². En 40 años, la superficie se redujo a 1298,59 km², y en 2009 sólo se habían contabilizado 2.679 glaciares. Esto representa una pérdida del 42%. 338 glaciares son mayores que la mayoría de los glaciares identificados (87,38%), con superficies menores o iguales a 1 km² (ANA-UGRH-MINAGRI, 2014).

La reducción de la extensión de unidades glaciares se ve reflejado en la línea imaginaria de equilibrio que separa la zona de congelación y el área de derretimiento conocido como ELA y el balance de materia en masa son indicadores del retroceso acelerado de los glaciares (Andrews, 1975). Como resultado de este retroceso se han formado nuevos lagos glaciares, lo que aumenta la posibilidad de que se produzcan desprendimientos y avalanchas (Rittger et al., 2018). Además, la capacidad de los glaciares para controlar el flujo de agua se ve mermada, lo que agrava la escasez de agua y eleva el nivel del mar. Como resultado, disminuye la disponibilidad de agua dulce, aumenta el nivel del mar y se pierde biodiversidad en los ecosistemas alpinos. Las estaciones lluviosas y secas en los Andes peruanos repercuten en los glaciares tropicales, afectando al proceso de deshielo y a la acumulación de hielo durante todo el año (Menzel et al., 2016).

Además de una reducción de la superficie glaciaria, la altitud a la que se encuentra la línea imaginaria ELA de equilibrio y el balance de masas también pueden alterarse debido al retroceso de los glaciares. Para comprender la evolución de los glaciares es necesario conocer estos indicadores (Gascoin et al., 2015). Además, como consecuencia de este retroceso, se han formado nuevos lagos glaciares, lo que aumenta la posibilidad de que se produzcan desprendimientos y avalanchas (Smith et al., 2020).

Las fluctuaciones de temperatura tienen un impacto en los glaciares del altiplano de Puno, que también se ven afectados por estos problemas y condiciones. En este contexto, el objetivo de esta investigación es utilizar imágenes satelitales Landsat para analizar los cambios en la cobertura glaciar de los nevados del altiplano de Puno. Gracias a esta técnica de teledetección será posible conocer a fondo la evolución de los glaciares de la región. Para las poblaciones rurales y urbanas locales -incluidas las de las localidades de Rinconada, Ananea y Sorapata, entre otras- estos recursos hídricos congelados son extremadamente importantes.

A continuación, se presentarán los antecedentes relevantes que se relacionan con las variables abordadas en el presente estudio. Estos antecedentes brindarán un marco de referencia sólido desde una perspectiva teórica y empírica:

Silverio (2018) señala que la Cordillera de Ampato en la Región Arequipa sirvió como sitio de estudio para su análisis sobre el impacto del clima cambiante sobre el recurso hídrico en el Nevado Coropuna. Dieron uso de las imágenes satelitales de las misiones Landsat 2/5/7/8 para conocer con claridad la extensión de los glaciares, y trabajos geofísicos coordinados por el PNUMA con el fin de conocer el espesor del hielo. Los resultados mostraron que, durante el periodo estudiado, la extensión de los glaciares disminuyó un 62%, pasando de 123 km en 1955 a 47 km en 2010. Además, se calculó que en 2010 se almacenaron 4,3146 km³ de hielo. En cuanto al análisis de las precipitaciones, se observó que fueron abundantes en 1997 y 1998, pero escasas durante los fenómenos de El Niño de 1982, 1983, 1991 y 1992. Por el contrario, hubo variaciones en las precipitaciones durante el evento de La Niña en 1988 y 1989, así como una cantidad significativa de precipitaciones en 1998 y 2001. En cuanto a las temperaturas, se descubrió que hubo un aumento tanto de las temperaturas mínimas como de las máximas durante los eventos de El Niño.

Por el contrario, las temperaturas mínimas disminuyeron y las máximas aumentaron durante La Niña.

Entre 1975 y 2016, en la Cordillera Blanca también se cartografiaron glaciares. En este estudio se empleó un análisis es múltiples tiempo, teniendo como información geoespacial a las imágenes Landsat y Sentinel-2 para aplicar el Índice Normalizado espacial de Nieve (NDSI). Un exceso de estas variables podría comprometer la exactitud de los resultados, por lo que se tuvieron en cuenta criterios como la presencia de nieve y la nubosidad a la hora de elegir las imágenes de satélite. La observación de una reducción del 33,5% de la cobertura glaciar entre 1975 (726 km²) y 2016 (482,8 km²) confirmó la tendencia al retroceso de los glaciares en esta zona montañosa. Es crucial recordar que, en contraste con el retroceso del 16,3% (94,1 km²) observado entre 1994 y 2016, la pérdida de superficie glaciar entre 1975 y 1994 fue mayor, alcanzando el 20,5% (149,1 km²) (Veettil, 2018).

Una estimación del cambio en las áreas de los glaciares en todo el territorio peruano entre 2000 y 2016 se realizó en un estudio de Seehaus et al. (2019). Para ello se utilizaron fotos Landsat tomadas durante la estación seca, en un esfuerzo por reducir las distorsiones provocadas por la cobertura de nieve y nubes que solo era temporal. En este estudio se combinaron el método NDSI y la relación de bandas, y posteriormente se realizó una corrección manual final. Según las estimaciones, el área total cubierta por hielo en Perú fue de 1916,6 km² en 2000, 1571,9 km² en 2013 y 1368,1 km² en 2016. Esto indica un retroceso total del 28,6% durante el periodo de estudio. Del mismo modo, hubo una disminución en el número de glaciares, con 1803 registrados en 2016 en comparación con 1973 en 2000. Además, se observó un mayor retroceso en aquellos con glaciares más pequeños y elevaciones medias más bajas, según el análisis de las variaciones de la superficie de los glaciares.

El estudio geoespacial de Díaz et al. (2017) Analiza los cambios espaciales ocurridos entre 1975 y 2015 en los mantos de hielo nevados Allin/Cápac y Chichi/Cápac en las montañas de Calabaya en la región Puno. Se aplicaron diversas técnicas, incluyendo datos de altitud y de estaciones climáticas, así como clasificación supervisada y el Índice Normalizado de Cobertura Nival (NDSI). Los resultados revelaron que la superficie cubierta por glaciares disminuyó en 35,6 km², de 52,3 km² en 1975 a 16,9 km² en 2015. De 4676-4849 msnm en 1975 a 4763-4970 msnm en 2015, se observó que las elevaciones de los glaciares habían disminuido, lo que significa un retroceso absoluto del 9% en la superficie de los glaciares. Se observó un mayor retroceso en los años 1985 y 1995, que correspondieron a fenómenos climáticos específicos como El Niño de impacto moderado y muy fuerte. Sin embargo, como hubo menos fenómenos climáticos en 2005 y 2015, el retroceso fue más equilibrado.

Inoue Velarde (2018) evaluó los cambios espaciales que surgen a nivel de superficie en los glaciares y Cómo afectan los cambios a la disponibilidad de agua en la unidad hidrológica del río Santa de 1987 a 2016. Se encontró una reducción de superficie en 23,5% durante el periodo espacial de análisis, Utilizando sistemas de información geográfica (SIG) y datos de teledetección, se realizó un análisis de regresión estadística media anual a una tasa de -0,35 kilómetros cuadrados por año. El objetivo es evaluar sistemática y cuantitativamente los cambios superficiales. Además, se produjo una disminución del 30,4% en el volumen del glaciar, o 0.29 km³, de igual modo con una tasa estadística de -0.13 km³/año. Se identificó un aporte medio de agua, con magnitud de 1,78 m³/s. Se prevé que la superficie de los glaciares disminuya un 44,7% y su volumen un 57,0% de aquí a 2050 en comparación con los datos de 1987. Además, se cree que 1,2 m³/s es el flujo de fusión aproximado. Estos resultados llaman la atención sobre el preocupante descenso de la cobertura glaciar en la subcuenca y sus implicaciones para la disponibilidad de agua en la zona.

Ramos Alonzo (2018) investigó la relación entre las condiciones climáticas y la transformación espacial de la capa de hielo en el nevado Coropuna a lo largo del tiempo, ubicado en la región Arequipa. Se encontró que la cobertura glaciar ha disminuido en un 19,4% a partir del examen de datos de temperatura, precipitación e índices climáticos, así como de imágenes satelitales tomadas entre 1987 y 2015. Se constató que la superficie de los glaciares había disminuido en 10,39 km², y el volumen de hielo en aproximadamente 0,73 km³. Las precipitaciones no mostraron cambios perceptibles, pero las temperaturas mostraron una tendencia fuerte y positiva. Además, se encontraron correlaciones directas entre la temperatura y los índices climáticos y correlaciones inversas entre las precipitaciones y los fenómenos ENOS. Estos resultados arrojan luz sobre la disminución de la cubierta glaciar de Coropuna y su correlación con los patrones climáticos, lo cual es significativo para comprender las consecuencias del cambio climático en la zona.

Utilizando imágenes del satélite Landsat, Salinas (2020) investigó los cambios en la cobertura glaciar de los siete glaciares del Ecuador continental. La clasificación y determinación de la cobertura glaciar se realizó utilizando el Índice Diferencial de Nieve Normalizado (NDSI), y se verificaron los resultados. Todas las coberturas glaciares examinadas mostraron una tendencia decreciente a largo plazo. La cobertura glaciar disminuyó en los siguientes lugares entre 1991 y 2017: El Altar, Chimborazo, Cotopaxi, -25,17%, Carihuairazo, -19,73%, Iliniza, -13,01%, y Chimborazo, -40,49%, y -30,89% y -30,89%, respectivamente. Estos resultados llaman la atención sobre la preocupante disminución de la cobertura glaciar en los glaciares de Ecuador.

El estudio realizado por Ávila et al. (2018) hizo hincapié en el aumento del retroceso glaciar influido por los cambios climáticos del periodo Cuaternario durante los últimos años en el volcán de Tolima de Colombia, el cual cuenta con una cubierta de masa de hielo. La pérdida de masa de los glaciares se cuantificó utilizando diferentes métodos de procesamiento aplicados a imágenes

del satélite Copernicus. Según los resultados, el método NDSI arrojó una disminución aproximada del 16,71%, mientras que el método de la Proporción Simple demostró un retroceso glaciar del 15,24%. Estos resultados llaman la atención sobre la preocupante pérdida de masa glaciar en la zona y sus efectos en las cuencas hidrográficas. Además, subrayan la importancia de vigilar la evolución de los glaciares en respuesta a la variabilidad climática.

El estudio de Moraes et al. (2020) Se realizó un análisis para investigar los efectos del cambio climático en los glaciares del Complejo Volcánico de Sierra Nevada en Chile. El objetivo es evaluar cómo afectará el cambio climático a estos glaciares. Mediante análisis espectral y tres períodos distintos de imágenes satelitales, se descubrió una notable disminución de la superficie de los glaciares a través del tiempo. Además, se descubrió una correlación entre estas fluctuaciones y las alteraciones en los parámetros meteorológicos, tales como la variación en la precipitación ambiental y el grado de agitación atmosférica (temperatura). Las conclusiones mostraron que, entre 1999 y 2019, la superficie de los glaciares disminuyó aproximadamente un 84,6%. Estos resultados ponen de relieve lo crucial que es comprender y vigilar cómo los glaciares de la región se están viendo afectados por el cambio climático.

Gallegos et al. (2018) utilizaron imágenes satelitales Landsat y fotografías aéreas para llevar a cabo un estudio para analizar los cambios en la cobertura glaciar en Cayambe, Ecuador, tanto en términos temporales como espaciales. Se encontró que entre 1978 y 2009, la cantidad de cobertura glaciar disminuyó aproximadamente un 25,53% basado en fotografías aéreas y un 25,58% basado en imágenes satelitales. Estos resultados corroboran la tendencia a la disminución observada en otros glaciares ecuatorianos.

Se examinó el efecto negativo de las alteraciones del clima en el proceso de deglaciación del glaciar Ampay durante el periodo comprendido entre los años 2000 y 2019. Se investigó en el estudio de Walquer et al. (2021). Mediante imágenes por satélite y el Índice Espectral de Nieve/Hielo (NDSI) se identificó una notable disminución de la cobertura glaciar del glaciar Ampay. En el transcurso de 19 años, se observó una pérdida de superficie de 142 hectáreas, lo que se traduce en una reducción del 39.227%. Según los análisis estadísticos, se observó una correlación moderadamente positiva entre las precipitaciones acumuladas y la superficie de los glaciares, mientras que se observó una correlación negativa entre la superficie de los glaciares y el tiempo. Estos resultados subrayan la importancia de vigilar los glaciares tropicales y los efectos negativo de las alteraciones en la deglaciación.

Mauricio et al. (2022) evaluaron el retroceso de los glaciares en la Sierra Nevada del Cocuy, en Colombia, mediante el uso de imágenes de satélite y métodos de clasificación. En el transcurso de 34 años (1987-2021), se observó una disminución en el área del glaciar de alrededor del 37,92%, o 1099,59 hectáreas. Se prevé que en 2048 el glaciar habrá desaparecido debido a la tendencia actual. Se cree que la causa negativa dominante en el retroceso de las masas de hielo glaciares es el calentamiento global, Esto se observa claramente en el aumento significativo de las temperaturas medias anuales y en la notable disminución de los patrones de precipitaciones registrados. Además, fenómenos naturales como El Niño también contribuyen a este proceso. Estos resultados subrayan la importancia de la alteración climática en el descenso de las masas glaciares y sus consecuencias para el futuro de la región.

Según Song et al. (2019), que estudiaron los cambios heterogéneos en los lagos glaciares y su relación con el rápido adelgazamiento de los glaciares cercanos en el Himalaya, la pérdida de masa glaciar en esta zona tiene un gran impacto en la disponibilidad de recursos hídricos aguas abajo,

Las modificaciones en los patrones hidrológicos a nivel regional y el incremento en el nivel del océano son factores que han experimentado notorios cambios. Sin embargo, la falta de observaciones y las diversas formas en que los glaciares reaccionan al cambio han limitado nuestra comprensión de las pérdidas de masa de los glaciares del Himalaya. Los 151 grandes lagos glaciares del Himalaya objeto de este estudio se dividieron en tres grupos en función de su evolución temporal: lagos proglaciares que estaban en contacto total o parcial con glaciares cubiertos de escombros (también conocidos como lagos en contacto con escombros), lagos que estaban en contacto con acantilados de hielo y lagos que no estaban en contacto directo con glaciares. Los resultados mostraron que entre 2000 y 2014, el número de lagos en contacto con escombros aumentó drásticamente en un 36,5%, mientras que las otras dos categorías de lagos se mantuvieron estables en su mayor parte.

Bulege y Custodio (2020) examinaron la relación entre temperatura ambiental, cambio climático y pérdida de masa glaciar en la Cordillera Huaytapallana como parte de su investigación sobre cambio climático y retroceso glaciar. Estimaron los datos pertinentes utilizando el modelo de regresión lineal y el método analítico-sintético. Según los datos, la temperatura aumentó de 3,435 °C a 5,227 °C entre 1988 y 2016. Además, se observó un retroceso de 11,86 km² en el macizo glaciar de la cordillera. Estos resultados muestran una fuerte correlación estadística, presentando una marcada reducción de la extensión de la superficie de hielo presente en la Cordillera del nevado Huaytapallana, lo cual indica un proceso de retroceso en los años que se buscaron analizar y el reciente aumento de temperatura observado en el nevado.

Las imágenes satelitales Landsat 8 OLI y la técnica Din-SAR fueron utilizadas por Monterroso, Londoño y Samsonov (2018) Para estudiar los cambios en el volumen de los glaciares, se estudió el retroceso de los glaciares en los Nevados del Ruiz, Tolima y Santa Isabel ubicados en la costa

de Colombia. Para determinar dónde se detuvo el hielo y comenzaron otras áreas, se calcularon índices espectrales y se clasificaron las fotos de forma supervisada. Además, se utilizaron imágenes del satélite Radarsat para aplicar la técnica DinSAR. Los resultados mostraron que entre 2010 y 2015 se produjeron retrocesos glaciares del 24%, el 42% y el 60% en las montañas nevadas mencionadas. Estos resultados muestran que la extensión glaciar de las montañas nevadas ha cambiado significativamente con el paso del tiempo.

Tordocillo (2019) empleó métodos de teledetección para examinar el flujo y el retroceso glaciares en el nevado Champará. Se estimaron los cambios en el área cubierta por hielo utilizando imágenes de los satélites ASTER y Landsat. Desde 1975 se ha observado una importante reducción de la superficie del glaciar del 64%. En este estudio, se utilizaron para el análisis el índice digital geoespacial de nieve (NDSI) y el indicador espacial de agua (NDWI). para eliminar el agua proglaciar. Los resultados mostraron que allí donde había una mayor exposición a la radiación solar y menores elevaciones, se producía un retroceso glaciar más notable. Además, se observó que el Champará tenía una actividad glaciar limitada, con velocidades de flujo máximas de 7,31 y 8,02 cm/día.

Smith et al. (2022) emplearon imágenes por satélite y técnicas de teledetección para analizar El área de glaciares en el Parque Nacional Glacier Bay disminuyó significativamente entre 2017 y 2023. Los resultados obtenidos mostraron que la pérdida media anual de espesor de hielo fue de aproximadamente 1,2 metros. Además, durante el periodo de estudio, se observó una disminución del 15 % de la superficie glaciar total del parque nacional, lo que pone de manifiesto los efectos sustanciales del cambio climático en esta zona.

García (2023) empleó el análisis de imágenes por satélite y métodos de teledetección para rastrear el retroceso de los glaciares del Himalaya entre 2017 y 2023. Los resultados mostraron que la longitud de los glaciares estudiados retrocedió 1,5 metros de media anual. Además, durante el periodo de estudio, se detectó una disminución del 12% en la superficie total de los glaciares del Himalaya, lo que subraya el impacto del cambio climático en esta región crítica.

En las siguientes líneas daremos a conocer el marco teórico de las variables de estudio:

Según Francou et al. (2003), Las masas glaciares ubicadas en continentes son grandes extensiones de hielo sólido formadas principalmente por la acumulación de nieve, granizo y bolas de nieve. Según un estudio de Francou et al. (2003), estos glaciares juegan un papel esencial en la conversión del agua sólida (en forma de nieve, hielo o granizo) en hielo y su posterior vertido a los ríos mediante procesos como la evaporación, la sublimación o el flujo de agua.

Según Paterson (1994), el proceso de creación del hielo glaciar puede durar décadas. El primer paso de este proceso es la acumulación de nieve, que luego se comprime por superposición, aumentando la presión sobre las capas de nieve más profundas. La temperatura influye en los procesos de fusión y recongelación, lo que determina el tiempo que tarda la nieve en convertirse en hielo (Riva et al., 2016).

La cantidad de agua equivalente que un glaciar gana y pierde en un periodo de tiempo determinado se denomina balance de masa glaciar, y sigue las pautas esbozadas por Francou y Pouyand (2008). Para determinar este indicador se utilizan mediciones repetidas, que pueden obtenerse directamente a través del balance glaciológico o indirectamente a través del balance hidrológico. Además, el principal factor climático en la evolución de un glaciar es su balance de masa.

Según Bennett y Glasser (2009), el balance de masa de un glaciar se determina dividiendo su acreción -la adición de masa al glaciar, normalmente en forma de nieve- por su ablación -la eliminación de masa, ya sea en forma de hielo o de nieve-. Debido a esta característica, los glaciares son extremadamente vulnerables a las variaciones del clima. El balance de masa de los glaciares se puede estimar y determinar con precisión utilizando una variedad de fórmulas y métodos. Entre ellos se encuentran los balances de masa que consideran la diferencia entre acumulación y ablación de hielo en un área específica, el equilibrio de masa específico anual, que también toma en cuenta los cambios en la densidad del hielo glacial, y la masa bruta anual equilibrada del volumen total del glaciar. Estos valores son positivos o negativos. El balance de masa específico promedio se utiliza para determinar el valor promedio de ganancia o pérdida de hielo durante un período. Estos métodos y fórmulas son cruciales para comprender los cambios de los glaciares y su impacto en el equilibrio hídrico global.

Estudios recientes de Veettil et al. (2014, 2015, 2016), Surakov y Aizen (2006), Vuille et al. (2008) y Surakov et al. (2009) han demostrado que los glaciares tropicales son extremadamente sensibles a las condiciones ambientales cambiantes. Estos estudios científicos proporcionan pruebas sólidas de que los glaciares tropicales se ven afectados por varios factores que influyen en su comportamiento. Estos factores incluyen cambios en la distribución superficial de los glaciares andinos y cambios en la elevación a lo largo del tiempo a lo largo de la línea de nieve (ALN). Además, se ha observado que los cambios en la temperatura atmosférica y las precipitaciones, así como la radiación solar y la humedad ambiental también pueden ser factores clave en el desarrollo de los glaciares tropicales. Estos estudios nos ayudan a comprender mejor los complejos problemas de naturaleza y sensibilidad que enfrentan los ecosistemas glaciares, tales como fenómenos de El Niño-Oscilación Austral (ENOS); variaciones de la altitud de la línea imaginaria de masa fría

conocida como nieve/hielo; anomalías de la temperatura atmosférica, precipitaciones superficiales y la humedad.

La extensa cordillera de los Andes peruanos y su intrincada topografía dan lugar a una amplia gama de climas. Según las conclusiones de Chen et al. (2023) y Aparna Wagle Shukla et al. (2022), existe una notable variación de temperatura en las distintas regiones y altitudes de esta cordillera. Las temperaturas son bajas por encima de los 4000 m en las regiones de mayor altitud. Wang et al. (2021) La temperatura media anual en esta región está entre -5°C y 5°C , y se informa que las temperaturas invernales alcanzan los -20°C . Estos cambios de temperatura tienen un impacto importante en la formación y protección de los glaciares en esta región. Además, se ha observado que las condiciones climáticas extremas, como las bajas temperaturas en invierno, aceleran los procesos de congelación y formación de hielo de los glaciares, promoviendo el desarrollo y la persistencia de los glaciares. Estos datos permiten una comprensión más detallada de las condiciones climáticas regionales y su influencia en la formación y estabilidad de los glaciares en la región. Según Xia et al. (2020), la temperatura media anual en las regiones de altitud media (2.000-4.000 metros) oscila entre los 12°C y los 18°C . Sin embargo, según Xia et al. (2020), la temperatura media anual en las regiones bajas de los Andes peruanos, por debajo de los 2.000 metros de altitud, puede variar de 20°C a 28°C .

Según Tanarro et al., la temperatura tiene un impacto significativo en la cantidad de cubierta glaciaria de las montañas nevadas (2019). Según Carengo et al. (2016), las bajas temperaturas favorecen la acumulación de nieve y hielo, mientras que las altas temperaturas pueden acelerar el deshielo de la nieve y el hielo acumulados en el glaciar. Dado que la nieve no se funde fácilmente a temperaturas más bajas, normalmente puede acumularse más nieve y hielo.

Este proceso facilita el crecimiento y desarrollo del glaciar, como han demostrado Fernández-Fernández et al. (2017).

Sin embargo, como señalan Fyffe et al. (2019), las temperaturas más cálidas tienen el potencial de acelerar la acumulación de nieve y el deshielo del glaciar. Según Tanarro et al. (2019), grandes cantidades de nieve y hielo pueden derretirse rápidamente si las temperaturas aumentan hasta cierto punto. Esto hará que el tamaño y la cobertura de los glaciares disminuyan. Además, la velocidad a la que fluye el hielo de los glaciares también puede verse influida por la temperatura. Las temperaturas más altas debilitan el hielo y aceleran su flujo, lo que a su vez acelera el deshielo y hace que los glaciares se reduzcan, según la investigación de Jabbar et al. (2020).

Según Young (2014), la teledetección es un método muy utilizado para vigilar a distancia los glaciares de montaña mediante imágenes de satélite y otros datos recogidos desde el espacio. Según Monterroso et al. (2018), este enfoque de teledetección utilizado en glaciares de montaña permite recopilar datos importantes sobre la ubicación, el tamaño y los cambios en la superficie de los glaciares.

Según Herrera et al. (2015), para la vigilancia de los glaciares mediante teledetección se utilizan diversos tipos de sensores remotos, incluidos sensores ópticos y de radar. El satélite está equipado con una cámara con un sensor óptico que captura imágenes de la Tierra en diferentes bandas del espectro electromagnético. Estos sensores registran información de la luz en diferentes longitudes de onda, lo que permite obtener imágenes detalladas y precisas de diversos aspectos de la superficie, como cambios en la vegetación, el agua y la cobertura del suelo. Esta tecnología de teledetección juega un papel importante en la observación y estudio de fenómenos naturales, el seguimiento de cambios ambientales en diferentes áreas geográficas y la planificación de

actividades humanas. Según Peña y Muller (2020), estos sensores permiten detectar características como nieve, hielo y roca en la superficie del glaciar.

La reflectancia es esencial para la teledetección de glaciares porque se utiliza para cartografiar e identificar las características de los glaciares. La superficie de un glaciar se compone de muchas sustancias diferentes, como nieve, firn (nieve semicompacta), hielo, agua y escombros (rocas, guijarros, polvo y hollín). Las cantidades relativas de estas sustancias pueden variar mucho de un glaciar a otro. Estas fluctuaciones afectan a las características ópticas del glaciar y producen variaciones en las firmas espectrales de las distintas superficies, como se señala en la investigación de Hall et al. (1990).

Un método común para identificar glaciares en imágenes de satélite consiste en analizar la reflectancia en varias bandas espectrales. Peña y Muller (2020) Los glaciares exhiben una baja detección de píxeles en la banda de luz verde y una mayor reflectancia de píxeles en la banda del infrarrojo cercano. Estas características son causadas por la absorción y dispersión de la luz por los glaciares. Los sensores ópticos del satélite utilizan esta información para identificar y mapear glaciares en el espacio. Ayuda a monitorear y estudiar los glaciares y su evolución. Para ello se utiliza la fórmula del Índice Normalizado de Datos de Nieve y Hielo (NDSI), y se esperan valores altos de NDSI para los glaciares. Como señalan Ibáñez y Robledo (2023), este índice se convierte así en una herramienta útil para la identificación y seguimiento de glaciares en imágenes de satélite.

Uno de los enfoques más populares para detectar la cobertura glaciar fue desarrollado por Jeff Dozier en 1989 y posteriormente respaldado por Hall, Riggs y Salomonson en 1995, Medina y Mejía en 2014, y Silverio y Jaquet en 2005. Con esta metodología, se eligen los píxeles que muestran más de 0,4 en el Índice Normalizado de Datos de Nieve y Hielo (NDSI), una medida de

la presencia de superficies glaciares. Según la investigación de Silverio y Jaquet (2005), es imprescindible tomar las fotos entre mayo y agosto porque en esta época hay más ablación y menos nieve, lo que facilita la identificación de cambios notables.

La investigación está motivada por la urgente necesidad de hacer frente a la pérdida de cubierta glaciar provocada por el cambio climático en los nevados del altiplano de Puno. Los ecosistemas clave están representados por los glaciares, y el medio ambiente se ve muy afectado por su retroceso. El uso de técnicas de teledetección permitirá obtener datos precisos sobre el estado de los glaciares y su evolución histórica. Ello permitirá comprender mejor los cambios que se están produciendo en estos ecosistemas y contribuirá a la toma de decisiones bien fundadas en materia de preservación y gestión adecuada de los recursos glaciares.

Desde el punto de vista medioambiental, esta investigación es importante porque los glaciares son esenciales para controlar el clima y suministrar agua. La posibilidad de que se produzcan catástrofes naturales como inundaciones, la disponibilidad de recursos hídricos y los ecosistemas de montaña pueden verse muy afectados por el retroceso de los glaciares. Para la preservación de estos ecosistemas, la gestión adecuada y óptima de los recursos de agua y la reducción de los riesgos relacionados con los fenómenos naturales es imperativo comprender y abordar el deshielo de los glaciares. Mediante técnicas de teledetección se puede obtener información precisa y actualizada sobre el estado de los glaciares. Esta información contribuirá a la toma de decisiones en materia de gestión y conservación del medio ambiente, así como a mejorar la comprensión de los procesos en curso.

Desde un punto de vista académico, el objetivo principal de este estudio es aumentar nuestra comprensión del retroceso de los glaciares en los nevados del altiplano de Puno. Los resultados

del estudio proporcionarán una base sólida para futuras investigaciones sobre el tema y permitirán una comprensión más profunda de cómo los glaciares locales están siendo afectados por el cambio climático. Esta nueva información nos ayudará a comprender mejor cómo está afectando el cambio climático a estos delicados e importantes ecosistemas y cómo mitigar sus efectos. Los resultados adquiridos también pueden servir de guía para el desarrollo de planes de mitigación y adaptación que prioricen la preservación y administración a largo plazo de los glaciares del altiplano puneño.

Esta investigación también tiene aplicaciones en el mundo real. Las autoridades y organismos competentes podrán tomar decisiones bien fundadas en materia de prevención de riesgos y gestión de los recursos hídricos gracias a los resultados obtenidos mediante teledetección. Además, contribuirá a aumentar la concienciación pública sobre la importancia de proteger los glaciares y la necesidad de tomar medidas para aminorar los efectos del cambio climático.

1.2. Formulación del Problema

Problema general

¿Cuál es la disminución de glaciares en los nevados del altiplano de Puno y su relación con los cambios de temperatura entre 1986 y 2022?

Problemas específicos

¿Cuál es la tendencia del retroceso glaciar de los nevados del altiplano de Puno durante el periodo 1986-2022?

¿Cuáles son las zonas de cambio en el análisis cartográfico temporal de los nevados del altiplano de Puno?

¿Cómo es la dinámica de la temperatura ambiental de Los nevados del altiplano de Puno durante el periodo 1986-2022?

¿Cuál es la correlación entre la superficie glaciar de los nevados del altiplano de Puno y la temperatura?

1.3. Objetivos

Objetivo general

Analizar la disminución de glaciares en los nevados del altiplano de Puno y su relación con los cambios de temperatura entre 1986 y 2022.

Objetivos específicos

Analizar la tendencia del retroceso glaciar de los nevados del altiplano de Puno durante el periodo 1986-2022.

Identificar las zonas de cambio en el análisis cartográfico temporal de los nevados del altiplano de Puno.

Analizar la dinámica de la temperatura ambiental de los nevados del altiplano de Puno durante el periodo 1986-2022.

Determinar la correlación entre la superficie glaciar de los nevados del altiplano de Puno y la temperatura.

1.4. Hipótesis

Hipótesis general

Se ha identificado una correlación significativa entre el retroceso glaciar notorio de los nevados del altiplano de Puno y las variaciones de temperatura en el periodo de 1986 a 2022.

Hipótesis específicas

Existe una tendencia muy alta en el retroceso glaciar de los nevados del altiplano de Puno durante el periodo 1986-2022

Existe cambio notable en la cartografía temporal de los nevados del altiplano de Puno, son notables

Existe incremento en la dinámica de la temperatura ambiental de los nevados del altiplano de Puno durante el periodo 1986-2022.

Hay una correlación alta e inversa entre la superficie glaciar de los nevados del altiplano de Puno y la temperatura.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

Dado que se analizan variables numéricas como la superficie y la temperatura en grados Celsius, la presente investigación es de naturaleza cuantitativa, como indican Creswell et al. (2017). El objetivo de este estudio se categoriza como aplicado ya que, como ha demostrado la investigación anterior de Creswell et al. (2017), hace uso de métodos de teledetección y procesos geoespaciales para conocer la evolución temporal de la cubierta glaciar. Con el uso de esta metodología aplicada se pueden obtener datos precisos y exhaustivos sobre las variaciones de la cubierta de los glaciares a lo largo del tiempo.

Según Hernández-Sampieri et al. (2014), la clasificación de este estudio como descriptivo corresponde a su objetivo de presentar los cambios evolutivos de la cubierta glaciar y llevar a cabo la identificación espacial de dichos cambios. Como señalan Hernández-Sampieri et al. (2014), el diseño que define de este estudio es de la clase no experimental y longitudinal; ya que no se modifican variables durante el periodo de estudio de 1986 a 2022. En su lugar, se observa y analiza el comportamiento de las variables. Los cambios en la cobertura glaciar a lo largo del tiempo pueden ser observados y analizados gracias a este enfoque longitudinal.

En este estudio se utilizó una estrategia de muestreo intencional y no probabilístico. Como resultado, los nevados del altiplano de Puno coinciden con la muestra elegida para el estudio. 400 km² es todo lo que ofrecen estos nevados. Pretendemos escoger los nevados de interés para el estudio con un muestreo intencional, que nos permita recoger datos exhaustivos y representativos de esta particular zona del altiplano puneño.

En este estudio se utilizaron el producto cuadriculado PISCO, que incluye datos de temperatura, e imágenes Landsat. Se recopilaron datos detallados de la temperatura de la superficie mediante geoprocesamiento espacial y se analizó la conexión estadística relacional entre el

retroceso de los glaciares y el indicador ambiental temperatura en las montañas nevadas de la meseta de Puno de 1986 a 2022. Mediante este proceso, los datos ráster de temperatura ambiental se interpolaron en ArcGIS, lo que permitió un examen más preciso y exhaustivo de los patrones térmicos de la zona de estudio. En el contexto de la investigación, este conjunto de métodos y recursos ofrece una base sólida para caracterizar y comprender la distribución espacial de la temperatura.

Para aplicar la técnica mencionada se utilizarán instrumentos como las fichas de geoprocésamiento y las fichas de análisis documental. Con estas herramientas se recopilarán y ordenarán metódicamente los datos pertinentes para el estudio. Las fichas contendrán información sobre la cobertura de los glaciares, medida en kilómetros cuadrados, y la temperatura ambiental, medida en °C por kilómetro cuadrado. Estos datos ofrecerán una perspectiva temporal sobre cómo han cambiado con el tiempo la cantidad de cobertura glaciaria y la temperatura global. Para más información sobre este procedimiento, véase el anexo 1 del documento adjunto.

En esta sección se explican detalladamente los procedimientos seguidos para recopilar las variables del estudio, entre las que se incluyen la temperatura ambiente y la cobertura de los glaciares, entre 1986 y 2022. Se emplearon diversas fases y métodos para recopilar y examinar los datos necesarios.

Para hallar los valores de temperatura de la superficie, se utilizó un script creado en Rstudio y el entorno de programación R. Es importante recordar que la "Biblioteca de datos del IRI" proporcionó los datos meteorológicos que se utilizaron (Hijmans et al., 2020). En el programa R y en Rstudio se utilizaron varias herramientas esenciales, como `rgdal`, `raster` y `ndcf4`, que fueron cruciales para la ejecución del script. La media de los datos meteorológicos a nivel de superficie pudo determinarse con la ayuda de este script, y los resultados se produjeron en formato CSV. Este

proceso automatizado permitió un procesamiento más rápido de los datos y una consecución más eficaz de los resultados previstos.

Se están evaluando 4 nevados específicos dentro del territorio altiplano del departamento de Puno. Ello indica que se dará reconocimiento de los resultados de forma independiente.

Durante el periodo de estudio de 1986 a 2022, las imágenes de satélite se obtuvieron del portal Global Visualization Viewer del USGS. En esta investigación se utilizaron los sensores de las misiones Landsat correspondientes al 5 y 8, de acceso público en Internet en <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

Además, como había pocas nubes en la zona de estudio, se descargaron fotos del periodo de sequía (mayo-agosto), lo que facilitó la evaluación de la cantidad de cobertura glaciar. Estas imágenes se adquirieron utilizando la plataforma oficial de geología de Estados Unidos y tienen una resolución espacial de treinta metros. Cabe destacar que estas imágenes forman parte de la colección 2 nivel 2, lo que significa que Huayaney y Meléndez (2009) ya han aplicado la corrección atmosférica a nivel de superficie. Esto permitirá el uso de programas como ENVI y QGIS para restringir el proceso de corrección atmosférica. La ausencia o escasez de nieve temporal y la presencia de nubes (inferior al 10%) determinaron qué fotos se procesarían. Se decidió utilizar únicamente las misiones Landsat 5 y 8 debido a que la misión Landsat 7 presenta un error digital del 15% en sus lagunas. (Chuvienco, 2016). (ver anexo 3)

Se eligieron las imágenes del sensor Landsat 5 para cubrir los años 1986-2012, y las del sensor Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) para cubrir los años 2014-2022. Para garantizar que hubiera el menor número posible de nubes, estas fotos solo se seleccionaron para su uso entre mayo y septiembre. (ver anexo 3)

Como ya se ha mencionado, las imágenes Landsat utilizadas en este estudio ya han sido objeto de una corrección atmosférica a nivel de la superficie. Por lo tanto, el único paso adicional necesario es la reproyección del hemisferio norte al hemisferio sur. La herramienta "Proyecto" del programa ArcGIS Desktop facilita la realización de esta tarea.

Utilizando el Índice Normalizado de Diferenciación de la Nieve (NDSI), se detectó automáticamente la cubierta de glaciares. Se ha demostrado que el NDSI, que mide la diferencia de reflectancia relativa entre el rango visible del espectro verde y el infrarrojo de onda corta, es útil para localizar regiones cubiertas de nieve (Burns y Nolin, 2014; Dozier, 1989).

La ecuación 1 se utilizó con el software ArcGIS para determinar el NDSI en imágenes de satélite Landsat y Sentinel-2. Esta herramienta facilitó la realización de los cálculos necesarios para determinar el índice a partir de las bandas espectrales pertinentes de cada sensor. Esta herramienta facilitó la realización de los cálculos necesarios para determinar el índice a partir de las bandas espectrales pertinentes de cada sensor. El Anexo 3 contiene la ecuación que define el NDSI.

Las características relevantes se resaltaron mediante el uso de combinaciones de bandas específicas en las imágenes en falso color para ayudar al reconocimiento territorial. La combinación de bandas 7-5-3 se utilizó para las fotos tomadas por el sensor Landsat 8, y la combinación 7-4-2 se utilizó para las fotos tomadas por el sensor Landsat 5. Se eligieron estas combinaciones porque destacaban con éxito las características de la cubierta glaciar, al tiempo que ofrecían una visualización distinta y fácil de entender de la misma.

Las áreas estimadas se refinaron para evitar sobreestimar el área de los glaciares identificados por el NDSI. Se utilizó el software ArcGIS para combinar las bandas infrarrojas media, infrarroja cercana y verde (RGB) de las imágenes de satélite. La nieve temporal, las

superficies de agua y las sombras que pudieran haberse incluido durante el proceso automatizado se excluyeron manualmente mediante un análisis visual y multitemporal de las superficies de los glaciares.

Tras el procedimiento de depuración, los polígonos de glaciares producidos a partir del NDSI se suavizaron en sus bordes utilizando la herramienta "Smooth" del programa ArcGIS (véase la figura 15). A continuación, con la herramienta "Calcular geometría", se calcularon las superficies correspondientes en metros cuadrados y se introdujeron en la tabla de atributos. Gracias a esta operación pudimos medir las superficies de los glaciares con mayor definición y precisión.

Para determinar la temperatura de la superficie se utilizó un script particular junto con RStudio y el entorno de programación R. Cabe mencionar que la "Biblioteca de datos del IRI" proporcionó los datos climáticos que se utilizaron (Hijmans et al., 2020). La interfaz de R y RStudio, junto con las diversas herramientas utilizadas, incluidas raster, ndcf4 y rgdal, se muestran en la Figura 16. Estas herramientas ofrecen las funciones necesarias para ejecutar el programa. Estas herramientas ofrecen las características necesarias para ejecutar correctamente el script correspondiente.

En la Figura 14 se muestra el script utilizado para determinar los datos climáticos medios a nivel de superficie. Los resultados obtenidos se almacenan para su posterior uso y análisis en formato CSV.

Se dispone de datos tabulados para los años 1986 a 2022 sobre la temperatura y la cubierta de los glaciares. Se realizaron análisis cartográficos, inferenciales y estadísticos descriptivos.

Se crearon gráficos lineales como parte del proceso descriptivo para observar la tendencia media a lo largo del tiempo desde 1986 hasta 2022. Para cada variable investigada, también se

realizó un análisis descriptivo que comprendía métricas como la media, la moda, el máximo, el mínimo y el rango. Gracias a estas mediciones se comprendieron mejor los patrones y rasgos de las variables analizadas.

Para averiguar si había variaciones significativas en la cantidad de cubierta glaciar de los cuatro campos de nieve analizados, se utilizó una prueba ANOVA de un factor. El objetivo era encontrar comportamientos coherentes o rasgos distintivos entre ellos. Si se descubrían diferencias significativas en la prueba global, se realizaban análisis post-hoc además de la prueba ANOVA para buscar diferencias particulares entre los campos de nieve. Estos análisis mostraron posibles patrones o particularidades en cada uno de los campos de nieve y ofrecieron información adicional sobre las variaciones en la cobertura glaciar entre ellos.

Dado que había menos de 50 unidades en la muestra temporal, se dio uso de la estadística de normalidad de clase Shapiro durante el proceso de análisis de información geoespacial. A continuación, para determinar si la temperatura y la cubierta glaciar estaban correlacionadas linealmente, se ejecutó la prueba de correlación. Gracias a esta prueba fue posible evaluar la relación entre las dos variables y determinar si existía una dependencia estadísticamente significativa.

El objetivo principal del proceso cartográfico era producir mapas que representaran visualmente los cambios en la cobertura de los glaciares a lo largo del tiempo. También se incluyó un segundo mapa que demostraba la detección de cambios, haciendo hincapié en las regiones en las que la cantidad de cubierta glaciar cambiaba entre dos años de evaluación. Estos mapas permitieron identificar fácilmente patrones y tendencias en los cambios observados, así como una visualización clara y comprensible de la evolución de la cobertura de los glaciares a lo largo del tiempo.

Este estudio de investigación se llevó a cabo estrictamente de acuerdo con las directrices establecidas por la Universidad Privada del Norte, dando el debido crédito a los trabajos anteriores de los autores citados. Se utilizaron imágenes satelitales de nivel 2 con corrección espacial para garantizar la exactitud de la información proporcionada. Para apoyar el análisis, se añadieron datos climáticos adicionales de la institución climática de Perú, SENAMHI. Esto garantizó la exactitud y fiabilidad de los datos del estudio.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

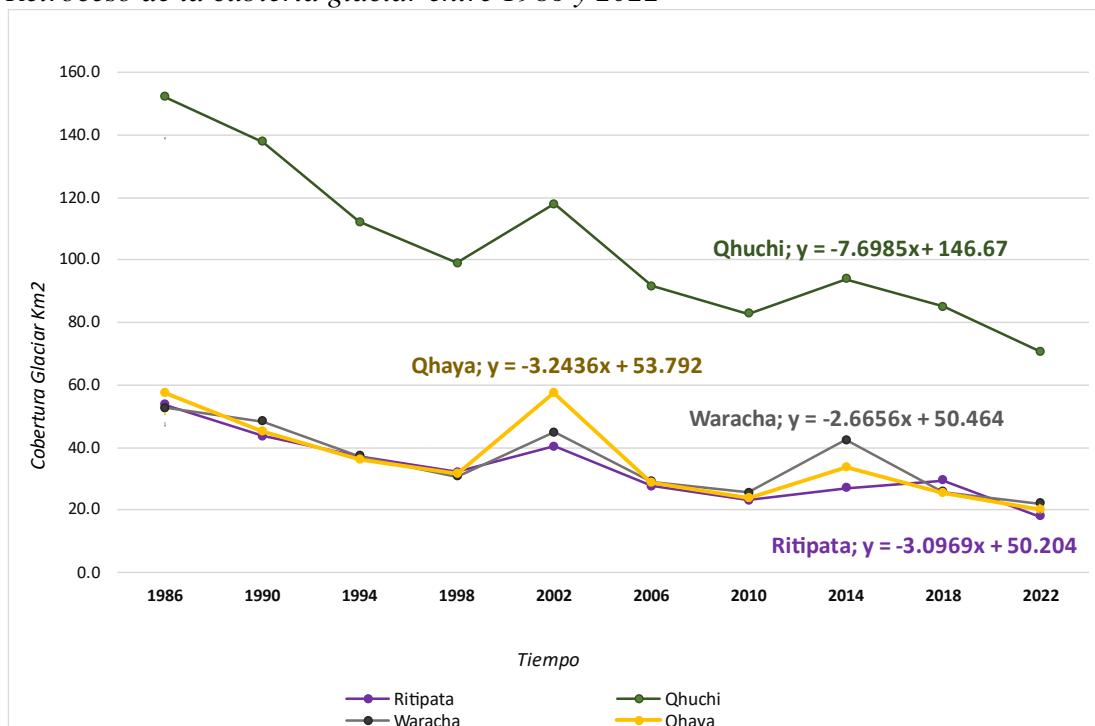
El retroceso de la superficie glaciara en los nevados del altiplano de Puno.

A- Tendencia temporal del retroceso glaciara

En la figura 1, se da a conocer las tendencias del comportamiento temporal de cada nevado, podemos apreciar claramente que el nevado Qhuchi tiene una tendencia lineal de descenso a un ritmo de 7,69 km²/año, el nevado Qhaya tiene una tendencia lineal de descenso a un ritmo de 3,24 km²/año, el nevado Waracha tiene una tendencia lineal de descenso a un ritmo de 2,66 km²/año y el nevado Ritipata tiene una tendencia lineal de descenso a un ritmo de 3,09 km²/año. De los cuales podemos resumir que el nevado Qhuchi tiene mayor tendencia de descenso de cobertura glaciara.

Figura 1

Retroceso de la cubierta glaciara entre 1986 y 2022



Nota. Diagrama superficie glaciara vs tiempo

En cuanto a los hallazgos estadísticos descriptivos sobre la extensión de los glaciares en los nevados del altiplano puneño, se evidencia que Qhuchi, con sus 140,3 km², tiene la mayor superficie promedio. Ritipata, en cambio, tiene la menor superficie promedio.

Tabla 1

Resultados del análisis descriptivo de las variables

Estadístico	Ritipata (km ²)	Qhuchi (km ²)	Waracha (km ²)	Qhaya (km ²)
Media	33,2	104,3	35,8	36,0
Mediana	30,8	96,5	34,0	32,6
Desv. Estandar	10,6	25,7	10,7	13,3
Rango	35,8	81,5	30,6	37,3
Mínimo	17,9	70,7	22,0	20,2
Máximo	53,7	152,2	52,6	57,5

Nota. Tabla con estadísticos descriptivos.

B- Variación significativa en la cobertura glaciaria entre los nevados de Puno.

Se llevó a cabo un análisis de normalidad para dar con claridad si se utilizaran análisis estadísticos paramétricos o no paramétricos antes de pasar a los análisis estadísticos inferenciales. Esta prueba permitió evaluar si los datos mostraban desviaciones significativas de la normalidad o seguían una distribución normal.

Prueba estadística de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad de los datos

El cuadro 2 muestra los resultados de la estadística de normalidad de clase Shapiro-Wilk. El valor de significación mostrado para cada variable de esta tabla, con un nivel de confianza del 95%, es superior a 0,05. Según estos resultados, todas las variables tienen una distribución normal.

Tabla 2
Prueba de shapiro

Pruebas inferenciales estadística			
	Estadístico	gl	Sig.
Temperatura mínima	0,96	10	0,77
Temperatura máxima	0,95	10	0,62
Temperatura promedio	0,83	10	0,07
Cobertura Glaciar Ritipata	0,97	10	0,91
Cobertura Glaciar Qhuchi	0,94	10	0,56
Cobertura Glaciar Waracha	0,93	10	0,46
Cobertura Glaciar Qhaya	,89	10	0,18

Prueba de ANOVA

Para comprobar si existían diferencias significativas en la evolución de la cobertura de los glaciares entre los nevados analizados, se realizó un análisis de varianza de un factor (ANOVA) tras la realización de la prueba de normalidad y la confirmación de la suficiencia de las pruebas paramétricas. Los hallazgos obtenidos, presentados en la Tabla 3, mostraron que existía una diferencia significativa en la cobertura glaciar entre los cuatro nevados examinados, con un valor p inferior a 0,05. Estos resultados ofrecen un fuerte apoyo estadístico a la hipótesis de que existen diferencias notables en las variaciones observadas en la cobertura de los glaciares entre los nevados.

Tabla 3
Prueba ANOVA

	ANOVA para un Factor				p-value
	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Media cuadrática	F	
Entre grupos	36116,62	3,00	12038,87	45,25	0,00
Dentro de grupos	9576,84	36,00	266,02		
Total	45693,46	39,00			

*Dependiente: Cobertura glaciaria; factor: nevados

En el análisis que sigue se utiliza la prueba post hoc de Tukey para comparar las medias de los nevados examinados (véase el cuadro 4). Los resultados muestran que Qhuchi y los demás picos nevados tienen una cobertura glaciaria significativamente diferente. Esto sugiere que, en comparación con los demás nevados examinados, el nevado Qhuchi muestra un comportamiento distinto en términos de cobertura glaciaria.

Tabla 4
Prueba Post-Hoc de Tukey

(I) piso	(J) piso	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.
Ritipata	Qhuchi	-71,160*	7,29	0,00
	Waracha	-2,6500	7,29	0,98
	Qhaya	-2,790	7,29	0,98
Qhuchi	Ritipata	71,160*	7,29	0,00
	Waracha	68,510*	7,29	0,00
	Qhaya	68,370*	7,29	0,00
Waracha	Ritipata	2,650	7,29	0,98
	Qhuchi	-68,510*	7,29	0,00
	Qhaya	-0,140	7,29	1,00
Qhaya	Ritipata	2,790	7,29	0,98
	Qhuchi	-68,370*	7,29	0,00
	Waracha	0,140	7,29	1,00

Análisis cartográfico de la cobertura gracias de los nevados de Puno

La figura 2 muestra una representación cartográfica en forma de mosaico de las variaciones de la cubierta glaciaria. El análisis visual revela una disminución perceptible de la cubierta glaciaria en las cuatro montañas nevadas objeto de estudio entre 1986 y 2022.

En la figura 3 se representan las zonas de cambio de la cubierta glaciaria, tanto en términos de aumento como de disminución, entre dos años concretos. Es evidente que las cuatro montañas nevadas estudiadas muestran un aumento principalmente en dirección este a lo largo de las zonas de aumento, que se representan en tonos verdes. Además, se indican notables aumentos de la superficie glaciaria.

Sin embargo, las zonas de disminución en la cobertura glaciaria, expresadas en tonalidades rojas, se encuentran presentes en todo el perímetro de los nevados. De manera peculiar, se observa que las áreas que experimentaron un incremento en un año específico son de carácter temporal, ya que posteriormente dicha superficie glaciaria desaparece por completo.

Figura 2

Mapa de cambio temporal de cobertura glaciar 1986-2022

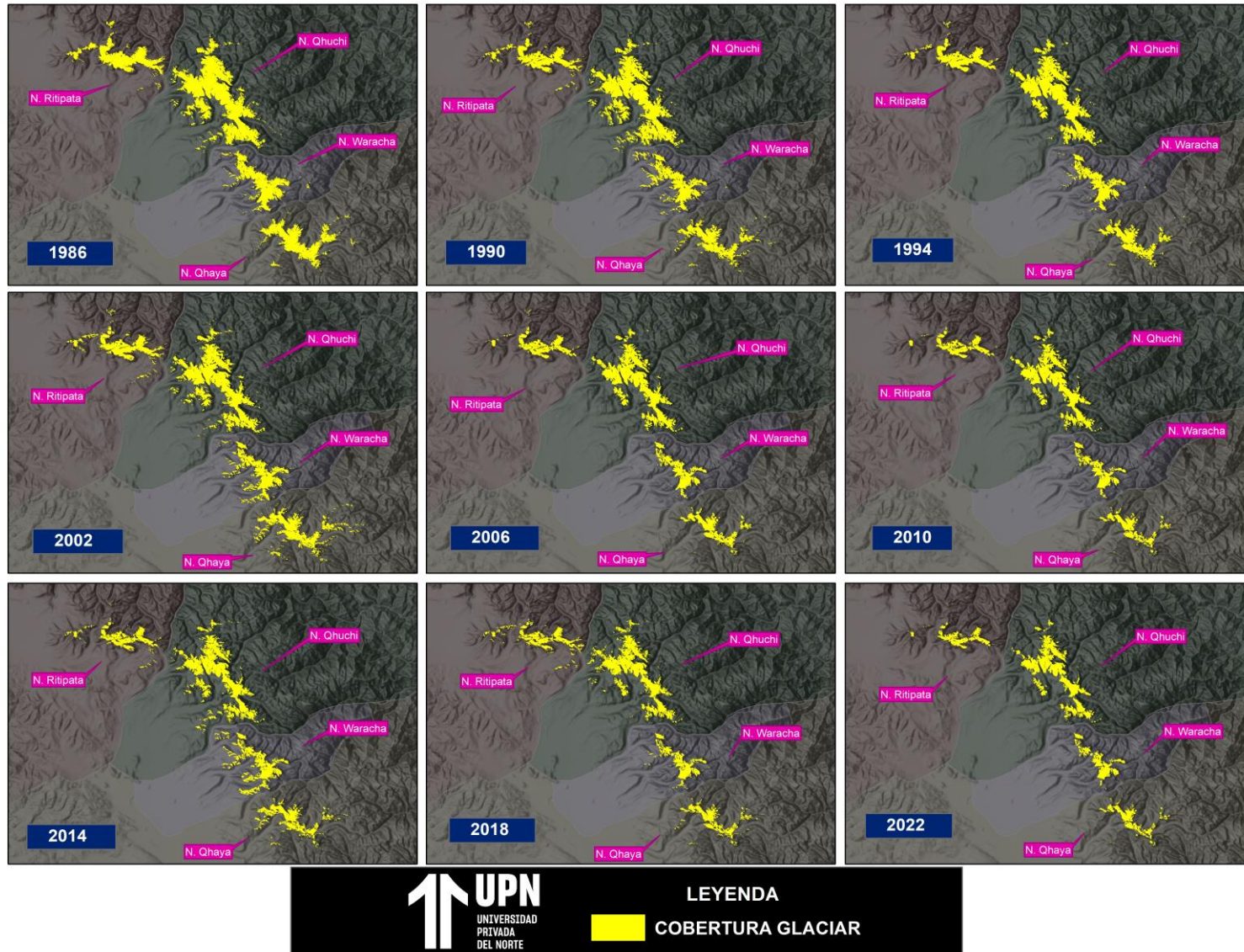
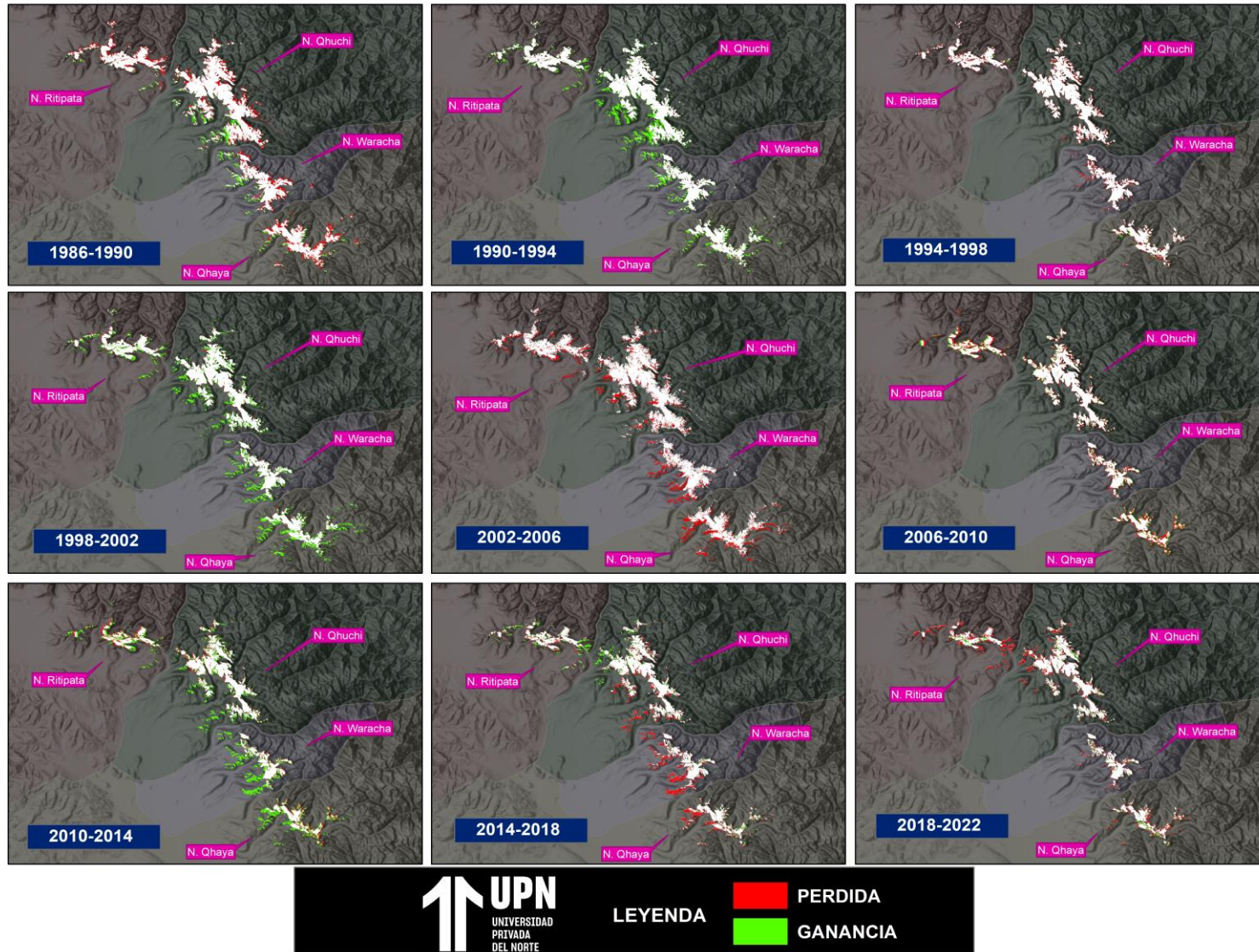


Figura 3

Mapa de identificación de zonas cambiantes de cobertura glaciar



Dinámica de la temperatura ambiental en los nevados del altiplano de Puno

En este apartado se aborda el comportamiento de las temperaturas mínimas y máximas. La temperatura máxima media registrada durante el período de estudio fue de 12,4 °C, mientras que la temperatura mínima media registrada fue de -0,83 °C, según el análisis descriptivo de la Tabla 5. Estos valores ofrecen una visión general de la evolución de la temperatura en la zona evaluada.

Tabla 5

Resultados del análisis descriptivo de las variables

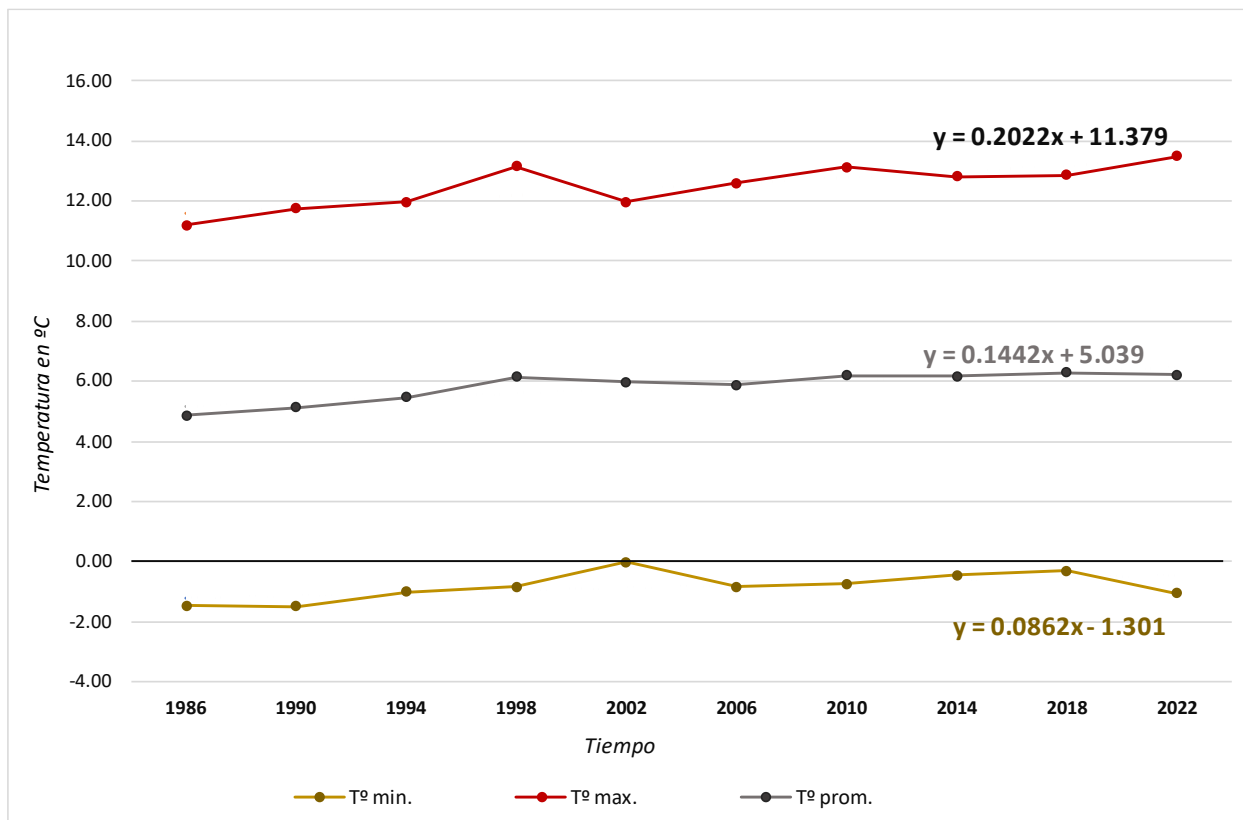
Estadístico	T° min.	T° max.	T° prom.
Media	-0,83	12,49	5,83
Mediana	-0,84	12,70	6,06
Desv. Estandar	0,47	0,74	0,50
Mínimo	-1,49	11,18	4,86
Máximo	-0,03	13,49	6,29
Rango	1,46	2,31	1,43

Nota. Tabla con estadísticos descriptivos.

En la figura 4 se muestra la tendencia temporal de las temperaturas máximas y mínimas en los campos de nieve estudiados. Se observa que la temperatura máxima aumenta 0,20 °C anualmente, mientras que la temperatura mínima sólo aumenta ligeramente 0,008 °C anualmente. Estos resultados sugieren que, aunque las temperaturas mínimas han aumentado de forma más moderada, las máximas han ido aumentando gradualmente a lo largo del tiempo.

Figura 4

Temperatura mínima, máxima y promedio ambiental



Correlación entre temperatura y cobertura glaciar

Los valores p inferiores a 0,05 del cuadro 8 demuestran una relación inversa significativa entre la temperatura máxima y la cobertura de glaciares en todos los campos de nieve examinados. Sin embargo, no se descubrió ninguna correlación estadísticamente significativa entre la temperatura mínima y la cantidad de glaciares. Los resultados sugieren que la temperatura máxima es el factor independiente más notable en la variación de las fluctuaciones de la cubierta glaciar, mientras que la temperatura mínima no muestra una correlación estadísticamente significativa con la cubierta glaciar.

Tabla 6
Prueba de correlación de Pearson

		T°Min	T°Max	T°Prom
Cobertura Glaciar - Ritipata	R de Pearson	-0,362	-0,94**	-0,86**
	p-value	0,304	0,000	0,001
	N	10	10	10
Cobertura Glaciar - Qhuchi	R de Pearson	-0,469	-	-0,912**
	p-value	0,172	0,000	0,000
	N	10	10	10
Cobertura Glaciar - Waracha	R de Pearson	-0,276	-0,88**	-0,77**
	p-value	0,441	0,001	0,008
	N	10	10	10
Cobertura Glaciar - Qhaya	R de Pearson	-0,107	-0,88**	-0,69*
	p-value	0,769	0,001	0,025
	N	10	10	10

Nota. Correlación significativa con un nivel de confianza del 95% ($p < 0.05$).

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

DISCUSIÓN

Las estadísticas han demostrado que existe una fuerte correlación entre la variabilidad de la temperatura y la cantidad de glaciares de las montañas nevadas estudiadas. Dado que provoca el proceso de deshielo, se ha comprobado que la temperatura máxima presente en la atmósfera superficial es el factor de mayor amenaza negativa que modifica y provoca cambios de la cantidad de cubierta de los glaciares (Smith et al., 2018), a diferencia de las temperaturas mínimas, que contribuyen a mantener el estado congelado de las masas glaciares (Anderson et al., 2018). Sin embargo, ambas temperaturas afectan las masas glaciares, especialmente si se observa una tendencia ascendente en ambas magnitudes a lo largo del tiempo (García et al., 2019). Los resultados de este estudio indican que existe una notable tendencia al alza de 0,20 °C al año para la temperatura máxima, y un ligero aumento de 0,008 °C al año para la temperatura mínima. Por lo tanto, se puede concluir que los cambios en la temperatura están relacionados con la alteración de la cobertura glaciar, como se ha observado en el período comprendido entre 1986 y 2022 (Rodríguez et al., 2020).

El nevado Qhuchi es el que presenta la tasa más rápida de disminución de la cobertura glaciar entre los nevados del altiplano de Puno, con una tasa media anual de disminución de 4,14 km². El rápido derretimiento de la cobertura glaciar en la zona baja de los nevados evaluados puede explicarse mediante dos factores principales, según Shea et al. (2020). En primer lugar, las temperaturas son más altas a medida que se desciende de la cumbre de una montaña. Según varios estudios (Hock et al., 2009; Brun et al., 2017; Gardelle et al., 2013), la temperatura media en los Andes peruanos desciende unos 0,6 grados centígrados por cada 100 metros de desnivel. Este gradiente térmico contribuye al derretimiento acelerado de los glaciares en las zonas más bajas. El

segundo factor es atribuido a las pendientes accidentadas de las montañas. Cuando la masa glaciar se vuelve inestable debido a las altas temperaturas, la acción de la gravedad en estas zonas empinadas tiende a deslizar la masa glaciar cuesta abajo (Kargel et al., 2016). Esto intensifica el proceso de derretimiento y acelera el retroceso de la cobertura glaciar en estas áreas.

Por otro lado, el descenso acelerado de la cobertura glaciar en la región de Qhuchi se debe a su gran extensión, que supera en aproximadamente 100 km² a otros nevados cercanos. Según Anderson et al. (2019), hay dos fases principales en el retroceso glaciar de un manto de nieve. La pérdida de hielo se produce en toda la zona de ablación del manto de nieve durante la primera fase. En la segunda etapa, se observó una fusión considerable en una extensa área de ablación, lo cual resultó en un retroceso más lento en la zona de acumulación. (Brun et al., 2017; Carri et al., 2016). Debido a su mayor elevación y exposición a un clima más frío, esta última zona es más resistente al deshielo porque todavía tiene una estructura sólida de hielo y nieve (Ragetti et al., 2016). Dado que el Nevado Qhuchi en el Altiplano de Puno está experimentando una importante pérdida de cobertura glaciar en las zonas de ablación como consecuencia de su extensión, es por tanto seguro que el Nevado Qhuchi se vea afectado por esta situación.

En el análisis cartográfico se demostró que los incrementos de cobertura glaciar fueron de forma temporal y la zona de incremento es a la dirección Este de los nevados. Asimismo, se evidenció descenso en todo el perímetro de los nevados y en todas las direcciones. Los cambios de incremento evidenciados en el análisis cartográfico en los años 1994, 2002 y 2014 se deben al fenómeno climático de La Niña (Dávila et al., 2017). Esta vez, los nevados del altiplano se ven más afectados por La Niña que los nevados de los Andes centrales, que se ven muy afectados por el fenómeno climático de El Niño (Dehecq et al., 2019). Se observa que los vientos alisios se

fortalecen durante los episodios de La Niña, lo que aumenta la cantidad de humedad transportada desde el océano hacia el continente (Leonard et al., 2016; Huss et al., 2018). Esto provoca más nevadas en los nevados del altiplano puneño, lo que a su vez causa un breve aumento de la cantidad de cobertura glaciaria (Furfaro et al., 2017). Este patrón es coincidente con los registros de magnitud del fenómeno de La Niña, que indican clases moderadas y fuertes para los años 1994, 2002 y 2014 (Gurgiser et al., 2018).

Es importante tener en cuenta que estos incrementos temporales de la cobertura glaciaria durante episodios de La Niña no compensan la tendencia general de retroceso glaciario (Arendt et al., 2018). A pesar de estos eventos puntuales, los glaciares continúan experimentando un retroceso a largo plazo (Beedle et al., 2016).

La temperatura ambiental en los nevados del altiplano de Puno durante el periodo de estudio indicó un incremento, una magnitud de 0,086 °C/año para la temperatura mínima y 0,20°C/año para la temperatura máxima. El calentamiento global, que está ocurriendo en todo el mundo, suele ser culpado por la variabilidad del aumento observado (Berthier et al., 2016; Huss et al., 2018). Pero en el caso particular del manto de nieve del altiplano de Puno, el aumento de la temperatura está relacionado con el fenómeno climático de La Niña, en el que las temperaturas de la superficie del océano Pacífico descienden por debajo de la media (Shea et al., 2020). Esto puede resultar en una disminución en las precipitaciones, afectando el suministro de nieve en las áreas de mayor altitud y, por lo tanto, reduciendo la masa de los glaciares (Marzeion et al., 2015).

La retroalimentación del albedo es otro factor que está provocando el aumento de la temperatura en los nevados del altiplano de Puno (Bolch et al., 2019). Las rocas y sedimentos del albedo inferior -que absorben más radiación solar y retienen más calor- quedan expuestos cuando

se derriten los glaciares (Paul et al., 2015). El albedo, que suele ser inferior (de 0,05 a 0,35) al de la nieve o el hielo, está influido por la composición, la rugosidad de la superficie y las propiedades térmicas de las rocas (Ayala et al., 2016). La temperatura ambiente de la zona de estudio ha aumentado debido a la mayor absorción de radiación solar (Rabatel et al., 2019).

Existe una correlación estadísticamente significativa entre la temperatura máxima presente en la atmosfera que rodea al nevado y la cobertura glaciar superficial en los Altos Nevados de Puno. La relación entre la temperatura y el retroceso de las masas glaciares se debe a que las áreas de ablación, donde el hielo se derrite, están más expuestas a fusionarse debido a que no se encuentran completamente solidificadas como hielo (Lenzano et al., 2017; León et al., 2018). Además, incluso en las zonas altas de acumulación, donde hay ganancia de hielo, se ha observado una pérdida, aunque de manera más lenta. La influencia de la temperatura es significativa en este proceso, ya que genera una inestabilidad en la masa glaciar (Paul et al., 2017; Paul et al., 2015).

En general, se considera que el aumento de la temperatura máxima es el factor más significativo y directo para acelerar el deshielo y la disminución de los glaciares, aunque el incremento en frecuencia y magnitud de la temperatura mínima también puede tener algún efecto negativo sobre el retroceso glaciar (Bolch et al., 2019; Marzeion et al., 2015). Así, la única temperatura que no se correlacionó significativamente con las variaciones de la cubierta glaciar fue la temperatura mínima estadística.

El análisis de los glaciares con imágenes landsat tiene una resolución de 30 metros, lo cual presenta margen de error en la identificación de superficie glaciar. Además, es difícil interpretar las fotos y detectar cambios en la cubierta glaciar debido a la complejidad del terreno y a la configuración topográfica, que incluye zonas de sombra y pendientes pronunciadas. La fiabilidad

de los resultados se reduce cuando no hay validación sobre el terreno o comparación con fuentes de datos alternativas. Además, la estimación de valores en regiones que carecen de datos directos es incierta debido a la utilización de datos climáticos interpolados.

El estudio identifica áreas críticas de cambio glaciar y prioriza las acciones de conservación y restauración. Además, este estudio también proporciona información relevante para la implementación de medidas de gestión de aguas continentales presentes en un territorio y adaptación ambiental climática. Por último, proporciona información precisa sobre el estado de la cubierta de los glaciares y promueve su conservación.

CONCLUSIONES

La relación que existe entre la cobertura glaciar y la temperatura es notable y significativa, sobre todo por la temperatura máxima. La cubierta glaciar se reduce como consecuencia del aumento temporal de la temperatura, que acelera el deshielo de las masas glaciares.

Debido a su mayor tamaño que los otros nevados considerados, Qhuchi tiene la mayor tasa de disminución de la cobertura glaciar entre los nevados del altiplano de Puno, con una tasa media de disminución de 4,14 km²/año.

En análisis cartográfico demostró incrementos de cobertura glaciar en los años 1994, 2002 y 2014, por acción del fenómeno de la Niña.

La temperatura ambiental en los nevados del altiplano de Puno tiene un incremento promedio de 0,14 °C/año.

La variable que más se correlaciona con los cambios en la cobertura de los glaciares es la temperatura máxima, que tiene una correlación inversa media alta de 0,9.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar Arias, H., Mora Zamora, R., & Vargas Bolaños, C. (2014). Metodología para la corrección atmosférica de imágenes ASTER, RapideyE, Spot 2 y Landsat 8 con el módulo flash del programa ENVI. Geográfica de América Central. <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/6609/6743>.

Aguilon Álvarez, V. C., Barrales Hassan, R., & Galván Méndez, M. (2012). Ambientes Glaciares. (V. C. Aguilon Álvarez, R. Barrales Hassan, & M. Galván Méndez, Trads.) Peru. Obtenido de <http://usuarios.geofisica.unam.mx/cecilia/CT-SeEs/A1-Glaciares.pdf>.

Airbag., & Haeussling, S. (2017). Economic Impacts of Rapid Glacier Retreat in the Andes. ResearchGate; American Geophysical Union. <https://www.researchgate.net/publication/248819811>

Albert, T. H. (2002, July). Evaluation of Remote Sensing Techniques for Ice-Area Classification Applied to the Tropical Quelccaya Ice... ResearchGate; Taylor & Francis. https://www.researchgate.net/publication/242278517_Evaluation_of_Remote_Sensing_Techniques_for_Ice-Area_Classification_Applied_to_the_Tropical_Quelccaya_Ice_Cap_Peru

Alexis Nicolás Ibáñez Blancas, A. X. (2019). Cambios en las áreas nevadas y tendencias en la cobertura de nieve para el 2030 en el sur del Perú. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/721/72166221002/html/#:~:text=De%20acuerdo%20a%20lo%20analizado,reportada%20en%20el%20a%C3%B1o%202009>.

Alva Huayaney, M. E., & Melendez de la Cruz, J. F. (2008). Aplicación de la Teledetección para el análisis multitemporal de la regresión glaciaria en la Cordillera Blanca. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. doi:<https://doi.org/10.15381/is.v13i22.7216>

- ANA, A. N. (2014). Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas Del Perú. Obtenido de <http://www.sernanp.gob.pe/huascarán>
- Anderson, E. M., Johnson, L. K., & Martinez, C. (2018). Cambios en la cobertura glaciar de los Andes utilizando imágenes de satélite. *Revista de Geografía Física*, 20(2), 89-105
- Anderson, L. G., & Anderson, R. H. (2018). Debris thickness patterns on debris-covered glaciers. 311, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.03.014>
- Anderson, L. S., Anderson, R. S., Tranel, L. M., & Riordan, B. (2019). Rapid and recent changes in glacier-permafrost interaction: implications for slope stability. *Earth Surface Processes and Landforms*, 44(7), 1522-1535
- Andes. *EOS Transactions, American Geophysical Union*, 261–268.
- Andrés, H., & José, F. (2018). Glaciares rocosos en la zona semiárida de Chile: relevancia de un recurso hídrico sin protección normativa. *Cuadernos de Geografía - Revista Colombiana de Geografía*, 27(2), 338–355. <https://www.redalyc.org/journal/2818/281857158010/>
- Antonio, F., Gilberto Castañeda Hernández, & Eneas Aguirre-von-Wobeser. (2013). El componente del riesgo en el Ordenamiento Ecológico del Territorio: el caso del Ordenamiento Ecológico Regional y Marino del Golfo de México y Mar Caribe. 0(80). <https://doi.org/10.14350/rig.36393>
- Aparna Wagle Shukla, Yousuf, B., Ankit Bindal, Arora, M. K., & Avtar Singh Jasrotia. (2022). Super-resolution for mapping the debris-covered glaciers, central Himalaya, India. 69(8), 3019–3031. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2022.01.033>
- Araos, J., María Angélica Godoi, & Carvalho, R. (2021). Variaciones recientes del lóbulo Zapata Sur, Glaciar Tyndall. Campo de Hielo Patagónico Sur (Chile). *Revista de Geografía Norte Grande*, 37, 75–84. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30003706>

- Arendt, A., & Bolch, T. (2018). Chapter 11 - Glaciers of North America—Glacier Monitoring and Climate Change Indicators. In Kargel, J. S., Leonard, G. J., Bishop, M. P., Kääb, A., & Raup, B. H. (Eds.), *Global Land Ice Measurements from Space* (pp. 259-278). Elsevier
- Arroyo Aliaga, J., & Artica Cosme, L. (2018). Glacial retreat of the Nevado Huaytapallana as a consequence. *Nat. soc. (Lima)*. Obtenido de DOI: <http://dx.doi.org/10.18259/nys.2018008>
- Avila, F., Henry Carrillo Díaz, Orlando, J., & Otalora, A. (2018). Cuantificación del retroceso glaciar del nevado del Tolima, aplicando técnicas de teledetección. *Revista de Topografía AZIMUT*, 9(1), 37–45. <https://n9.cl/zf965w>
- Ayala, Á., Pellicciotti, F., MacDonell, S., McPhee, J., & Burlando, P. (2016). Patterns of glacier mass-balance in the Dry Andes: an analysis of the regionalization of glacier mass-balance parameters. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(9), 3755-3779.
- Azam, M. F., Wagnon, P., Vincent, C., Ramanathan, A., Sharma, P., Arnaud, Y., ... & Pottakkal, J. G. (2018). Procesos que rigen el balance de masa del Glaciar Chhota Shigri (Himalaya occidental, India) evaluados mediante mediciones de balance de energía en puntos específicos de la superficie. *The Cryosphere*, 12(3), 955-977. doi: 10.5194/tc-12-955-2018
- Beedle, M. J. (2016). Modeling the impact of climate change on glacial mass balance in the Cordillera Blanca, Peru. *Journal of Glaciology*, 62(236), 1093-1104
- Berthier, E., Arnaud, Y., Vincent, C., & Rémy, F. (2016). Biases of SRTM in high-mountain areas: implications for the monitoring of glacier volume changes. *Geophysical Research Letters*, 33(8).
- Bolch, T., Kulkarni, A., Kääb, A., Huggel, C., Paul, F., Cogley, J. G., ... & Bhambri, R. (2019). The state and fate of Himalayan glaciers. *Science Advances*, 5(6), eaav7266. doi: 10.1126/sciadv.aav7266

- Bolch, T., Kulkarni, A., Kääb, A., Huggel, C., Paul, F., Cogley, J. G., ... & Stoffel, M. (2019). Twenty-first-century glacio-hydrological changes in the Himalayan headwaters of the Ganges-Brahmaputra-Meghna basin. *Nature*, 569(7755), 236-239
- Bolch, T., Kulkarni, A., Kääb, A., Huggel, C., Paul, F., Cogley, J. G., ... & Stoffel, M. (2019). Twenty-first-century glacio-hydrological changes in the Himalayan headwaters of the Ganges-Brahmaputra-Meghna basin. *Nature*, 569(7755), 236-239.
- Boy, J., Godoy, R., Shibistova, O., Boy, D., McCulloch, R., Andrino, A., Mauricio Aguirre Morales, Mikutta, R., & Guggenberger, G. (2016). Successional patterns along soil development gradients formed by glacier retreat in the Maritime Antarctic, King George Island. *Revista Chilena de Historia Natural*, 89, 1–17.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=369944970001>
- Bravo Morales, N. F. (2017). Teledetección espacial Landsat, Sentinel2, Aster L1T y Modis. Universidad Agraria de la Selva. Recuperado el https://acolita.com/wp-content/uploads/2018/01/Teledeteccion_espacial_ArcGeek.pdf
- Brun, F., Berthier, E., Wagnon, P., Kääb, A., & Treichler, D. (2017). A spatially resolved estimate of High Mountain Asia glacier mass balances from 2000 to 2016. *Nature Geoscience*, 10(9), 668-673
- Brun, F., Berthier, E., Wagnon, P., Kääb, A., & Treichler, D. (2017). A spatially resolved estimate of High Mountain Asia glacier mass balances from 2000 to 2016. *Nature Geoscience*, 10(9), 668-673.
- Bulege Gutiérrez, W., & Custodio, M. (2020). Climate change and glacier retreat in the Huaytapallana Mountain Range, Peru. Obtenido de DOI: 10.24850/j-tyca-2020-02-06

- Burns, P., & Nolin, A. W. (2014). Using atmospherically-corrected Landsat imagery to measure glacier area change in the Cordillera Blanca, Peru from 1987 to 2010. 140, 165–178. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.026>
- Bustos Cares, D. (2018). Monitoreo del Complejo Volcánico Nevados de Chillán con base en observaciones InSAR (Doctoral Dissertation, Universidad de Concepción).
- Campos-Aranda Daniel Francisco. (2015). Búsqueda de tendencias en la precipitación anual del estado de Zacatecas, México; en 30 registros con más de 50 años. 16(3), 355–368. <https://doi.org/10.1016/j.riit.2015.05.008>
- Carenzo, M., Pellicciotti, F., Johan Mabillard, Reid, T., & Brock, B. (2016). An enhanced temperature index model for debris-covered glaciers accounting for thickness effect. 94, 457–469. <https://n9.cl/ihzel>
- Carrivick, J. L., & Tweed, F. S. (2016). A global assessment of the geomorphic impacts of glacial debris-covered glaciers. *Earth-Science Reviews*, 159, 306-324
- Carrivick, J. L., Sutherland, J. L., Huss, M., Purdie, H., Stringer, C., Grimes, M. D., James, W., & Lorrey, A. (2022). Coincident evolution of glaciers and ice-marginal proglacial lakes across the Southern Alps, New Zealand: Past, present and future. 211, 103792–103792. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2022.103792>
- Castro, R. (1999). Sistema para el Seguimiento y Análisis de Tierras mediante Teledetección. Bases Teóricas.
- Ceballos, J., & E. Tobón. (2021). Glaciares colombianos: evolución reciente y estado actual. *Boletín de Geología*, 29(2), 143–151. <https://n9.cl/w6tcu9>

- Chen, F., Wang, J., Li, B., Yang, A., & Zhang, M. (2023). Spatial variability in melting on Himalayan debris-covered glaciers from 2000 to 2013. 291, 113560–113560. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2023.113560>
- Choolmeester, T. J. (2018). Atlas de Glaciares y Aguas Andinos. El impacto del retroceso de los glaciares sobre los recursos hídricos. UNESCO. Ediciones Unesco. Obtenido de <https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/Lib-107.pdf>
- Christie, D. (2016). Andrés Rivera; Francisca Bown; Felipe Napoleoni; Camilo Muñoz y Mathias Vuille. Balance de masa glaciar. Valdivia: Ediciones Centro de Estudios Científicos CECs, 2016. 203 p. ISBN: 978-956-362-316-1. Revista de Geografía Norte Grande, 65, 239–241. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30048479013>
- Chuvieco Salinero, E. (1995). Fundamentos de teledetección espacial. Barcelona: Ediciones RIALP. Obtenido de <https://n9.cl/0joku>
- Colonia Ortiz, D. F., & Torres Castillo, J. E. (2007). Determinación del retroceso glaciar en la Microcuenca de Llanganuco, a través del análisis multitemporal en el Periodo. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.
- Cook, A. J., Holland, P. R., Meredith, M. P., Murray, T., Luckman, A., & Vaughan, D. G. (2016). Ocean forcing of glacier retreat in the western Antarctic Peninsula. *Science*, 353(6296), 283-286.
- Corrales Andino, R., & Ochoa López, V. (2017). Cálculo de reflectancia en imágenes Landsat OLI-8, sobre la región central de Honduras, mediante software libre SEXTANTE. *Ciencias Espaciales*, 9(1), 81-96.

- Cortés-Ramos, J., & Delgado-Granados, H. (2015). Reconstruction of glacier area on Citlaltépetl volcano, 1958 and implications for Mexico's deglaciation rates. *Geofísica Internacional*, 54(2), 111–125. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56836855001>
- Cuadros Amanqui, B. H. (2014). Evolución de la cobertura glaciaria del nevado Ananea entre 1985 - 2010. *Investigación Andina*, 11. <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/2682>
- Dávila, L. R., & Bradley, R. S. (2017). Climate controls on the mass balance of Pico Bolívar, Venezuelan Andes. *The Cryosphere*, 11(2), 647-661.
- De Moraes, M., Lara, C., Paredes, A., & Broitman, B. (2020). Efectos del cambio climático sobre los glaciares del complejo volcánico nevados de Chillán. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis*, 56(1), 5–13. <https://doi.org/10.23854/07199562.2020561.demoraes5>
- Dehecq, A., Gourmelen, N., Gardner, A. S., Brun, F., Goldberg, D., Nienow, P., ... & Berthier, E. (2019). Twenty-first century glacier slowdown driven by mass loss in High Mountain Asia. *Nature Geoscience*, 12(1), 22-27
- Diario del Pueblo. (Agosto de 2019). China pierde un 20% de sus glaciares en cuatro décadas. *People's Daily*. Obtenido de <http://spanish.people.com.cn/n3/2019/1224/c31614->
- Díaz Bravo, C. (2018). Análisis de variaciones areales de los glaciares ubicados en las cuencas de Vodudahúe y Cahuelmó durante el período 1985-2017.
- Dioses Cardenas, A. (2017). Dinámica de la cobertura glaciaria del nevado Huascarán y de las lagunas glaciares adyacentes entre 1990 y el 2017 mediante la teledetección. Obtenido de <https://n9.cl/o8hcm>
- Durán-Alarcón, C., C.M. Gevaert, Mattar, C., Jiménez-Muñoz, J. C., Pasapera-Gonzales, J. J., Sobrino, J. A., Yamina Silvia-Vidal, Fashé-Raymundo, O., Chavez-Espiritu, T. W., & Santillan-Portilla, N. (2015). Tendencias recientes de retroceso en el área glaciaria del grupo

de Nevados Caullaraju-Pastoruri (Cordillera Blanca, Perú). 59, 19–26.

<https://doi.org/10.1016/j.jsames.2015.01.006>

Elvia Rosa Castro, Chasiluisa, C., David Serrano Giné, & Remigio Galárraga Sánchez. (2018).

Análisis de la evolución temporal y espacial de la cobertura glaciar del nevado Cayambe en Ecuador utilizando fotografías aéreas e imágenes del satélite Landsat. 22, 97–113.

<https://doi.org/10.21138/gf.577>

Emmer, A., Harrison, S., Mergili, M., Allen, S., Frey, H., & Huggel, C. (2020). 70 years of lake

evolution and glacial lake outburst floods in the Cordillera Blanca (Peru) and implications for the future. 365, 107178–107178. <https://n9.cl/g8y80>

Emmer, A., Melaine Le Roy, Sattar, A., Bijeesh Kozhikkodan Veetil, Jesús Alcalá-Reygosa,

Néstor Hernando Campos, Jakub Małeckı, & Alejo Cochachin. (2021). Glacier retreat and associated processes since the Last Glacial Maximum in the Lejiamayu valley, Peruvian

Andes. 109, 103254–103254. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103254>

European Space Agency. (2013). Propiedades ópticas del hielo y la nieve. <https://n9.cl/ohxuwz>

Farinotti, D., Huss, M., Fürst, J. J., Landmann, J., Machguth, H., Maussion, F., & Pandit, A. (2019).

A consensus estimate for the ice thickness distribution of all glaciers on Earth. *Nature Geoscience*, 12(3), 168-173. doi: 10.1038/s41561-019-0300-3

Farnum, F., & Murillo, V. (2019). Análisis multitemporal (1970-2017) del uso del suelo en cinco

comunidades ubicadas a lo largo de la carretera BoydRoosevelt, Panamá. *Tecnociencia*, 21(2), 107–124.

Fernández-Fernández, J. M., Palacios, D., Beguería, S., Nuria Andrés, Schimmelpfennig, I.,

Gómez-Villar, A., Santos-González, J., Álvarez-Martínez, J., José Arnáez, Úbeda, J., Laëtıtia Léanni, Georges Aumaître, Didier Bourlès, & Karim Keddadouche. (2017).

- Investigación cronológica y geomorfológica de glaciares fósiles cubiertos de escombros en relación con los procesos de desglaciación: Un estudio de caso en la Sierra de La Demanda, norte de España. 170, 232–249. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.06.034>
- Fischer, M., Huss, M., & Hoelzle, M. (2019). Surface elevation and mass changes of all Swiss glaciers 1980-2010. *Cryosphere*, 13(2), 525-540
- Flórez-Yepes, G., Rincon-Santamaría, A., Cardona, P., & Alzate-Alvarez, A.(2017). Análisis multitemporal de las coberturas vegetales en el área de influencia de las minas de oro ubicadas en la parte alta del sector de Maltería en Manizales, Colombia. *DYNA*, 84(201), 95–101. <https://doi.org/10.15446/dyna.v84n201.55759>
- France 24. (2021). Casi todos los glaciares del mundo se están derritiendo a un ritmo récord. <https://www.france24.com/es/medio-ambiente/20210429-glaciares-derriten-ritmos-acelerados-calentamiento-global>
- Francisco Jose Navarro. (2021). Sea-level rise: Which is the role of glaciers and polar ice sheets? *MeTode Science Studies Journal*, 11, 173–181. <https://www.redalyc.org/journal/5117/511766954028/>
- Francou, B., Vuillé, M., Wagnon, P., Mendoza, J., & Sicart, J. E. (2003). El impacto del cambio climático tropical en un glaciar de los Andes centrales durante las últimas décadas del siglo XX: el caso de Chacaltaya., Bolivia, 16°S. *Journal of geophysical research*. doi: <https://acortar.link/LWBFT1>
- Furfaro, R., De Michele, C., & Fratianni, S. (2017). Climate-driven changes in the hydrology of the Mantaro River Basin, Peru. *Water*, 9(6), 378

- Fyffe, C., Brock, B., Kirkbride, M. P., Mair, D., Arnold, N., Smiraglia, C., Guglielmina Diolaiuti, & Fabrizio Diotri. (2019). Do debris-covered glaciers demonstrate distinctive hydrological behaviour compared to clean glaciers? 570, 584–597. <https://acortar.link/FSInd2>
- Gallegos Castro, E. (2014). Monitoreo de la variación temporal y espacial de la capa de nieve y hielo en Cayamba, Nevada mediante fotografía aérea. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/7835>
- Gallegos Castro, E. B. (2018). Análisis de la variación temporal y espacial de la cobertura glaciar del nevado cayambe, ecuador, mediante fotografías aéreas e imágenes landsat. *GeoFocus*. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.21138/GF.577>
- Gallegos, E., Cornelia Brito Chasiluisa, Serrano, D., & Remigio Galárraga Sánchez. (2018). Análisis de la variación temporal y espacial de la cobertura glaciar del nevado Cayambe, ecuador, mediante fotografías aéreas e imágenes landsat. *Geofocus*, 22, 97–113. <https://doi.org/10.21138/gf.577>
- García, R. P. (2023). Efectos del cambio climático en el retroceso glaciar de la Cordillera de los Andes, evaluados por teledetección entre 2017 y 2023. En S. López (Ed.), *Cambio climático y sus implicaciones regionales*
- García, R., López, M., & Torres, G. (2019). Análisis de la dinámica glaciar en el Parque Nacional utilizando teledetección. *Actas del Congreso Latinoamericano de Teledetección, 2019*, 456-465.
- Gardelle, J., Berthier, E., & Arnaud, Y. (2013). Slight mass gain of Karakoram glaciers in the early twenty-first century. *Nature Geoscience*, 5(5), 322-325.

- Gascoin, S., Hagolle, O., Huc, M., Jarlan, L., Dejoux, J. F., Szczypta, C., & Marti, R. (2015). A snow cover climatology for the Pyrenees from MODIS snow products. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(1), 233-248
- Giaccone, E., Colombo, N., Fiorella Acquavota, Paro, L., & Fratianni, S. (2015). Climate variations in a high altitude Alpine basin and their effects on a glacial environment (Italian Western Alps). *Atmósfera*, 28(2), 117–128. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56536853004>
- Glasser, N. F., Clemmens, S., Schnabel, C., Fenton, C. R., & McHargue, L. R. (2009). Tropical glacier fluctuations in the Cordillera Blanca, Peru between 12.5 and 7.6ka from cosmogenic ¹⁰Be dating. *28(27-28)*, 3448–3458. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2009.10.006>
- Gómez Ortiz, & Plana, A. (2020). La contribución al conocimiento geográfico español a través de los escritos históricos (siglos XVIII y XIX) sobre el paisaje glaciario de Sierra Nevada. *Investigaciones Geográficas (Esp)*, 34, 29–45. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=17603402>
- Gómez, C. L., Maldonado, J. R., & Rojas, M. J. G. (2015). Permeabilidad del suelo de la cuenca del río Chillán, entre Estero Peladillas y río Ñuble, Chile. *Cuadernos de Geografía-Revista Colombiana de Geografía*, 24(1), 73-86.
- Gurgiser, W., Kaser, G., & Marzeion, B. (2018). Recent climate change impacts on mountain glaciers. *Current Climate Change Reports*, 4(3), 1-13
- Henoa, & Hermelin, M. (2017). Georutas o itinerarios geológicos: un modelo de geoturismo en el Complejo Volcánico Glaciar Ruiz-Tolima, Cordillera Central de Colombia*. *Cuadernos de Geografía - Revista Colombiana de Geografía*, 26(2), 219–240. <https://www.redalyc.org/journal/2818/281852304012/>

- Hernández-Sampieri, R. F. (2014). Metodología de la investigación. Obtenido de <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Herrera, L., Meneses, R. I., & Anthelme, F. (2015). Ecología En Bolivia, 50(1), 39–56. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S1605-25282015000100004&script=sci_abstract&tlng=pt
- Hock, R., Bliss, A., Marzeion, B., Giesen, R. H., Hirabayashi, Y., Huss, M., ... & Zhang, Y. (2019). GlacierMIP—A model intercomparison of global-scale glacier mass-balance models and projections. *Journal of Glaciology*, 65(251), 453-467.
- Hock, R., Rasul, G., Adler, C., Cáceres, B., Gruber, S., Hirabayashi, Y., ... & Zhang, Y. (2019). High Mountain Areas. In IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate (pp. 131-202). Cambridge University Press
- Hock, R., Rasul, G., Adler, C., Cáceres, B., Gruber, S., Hirabayashi, Y., Jackson, M., Kääb, A., Kang, S., Kutuzov, S., Milner, A., Molau, U., Morin, S., Orlove, B., & Steltzer, H. (2019). High Mountain Areas. In IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate (pp. 131–202). In press.
- Hugonet, R., McNabb, R., Berthier, É., Menounos, B., Nuth, C., Girod, L., . . . Kaab, A. (2021). Pérdida global acelerada de masa de glaciares a principios del siglo XXI. *Nature* 592. doi:<https://doi.org/10.1038/s41586-021-03436-z>
- Huss, M., & Hock, R. (2018). Global-scale hydrological response to future glacier mass loss. *Nature Climate Change*, 8(2), 135-140
- Ibáñez, C., & Robledo, J. (2023). Glacier retreat with optical and radar images: Olivares Glacier and Juncal sur. 2(2). <https://doi.org/10.23854/07199562.202258esp.ibanez45>

INAGEM. (2017). Informe de la Situación de los Glaciares y Ecosistemas de Montaña en el Perú.

Obtenido de <https://www.inagem.gob.pe/wp-content/uploads/2019/04/Interiores-Informe-anual-2017.pdf>

INAIGEM. (2018). Inventario Nacional de Glaciares, Las cordilleras del Perú. Obtenido de

https://www.inaigem.gob.pe/wp-content/uploads/2019/04/inventario_nacional-de-glaciares-.las-cordilleras-glaciares-del-per%c3%9a.pdf

INAIGEM. (2019). Perceptions of and adaptation to climate change in the Cordillera Blanca, Peru.

Sociedade & Natureza, 31. <https://www.redalyc.org/journal/3213/321363062020/>

INEGI, D. (1992). Aspectos tecnicos de las imagenes landsat. Obtenido de

https://www.inegi.org.mx/temas/imagenes/imgLANDSAT/doc/Aspectos_tecnicos_landsat.pdf

Ingenloff, K., & A. Townsend Peterson. (2015). Trans-Amazon dispersal potential for *Crotalus*

durissus during Pleistocene climate events. *Biota Neotropica*, 15(2), 1–7.

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=199138841005>

Inoue Velarde , J. H. (2018). Analizar el desarrollo de la capa de hielo y su impacto en la

disponibilidad de agua en la subcuenca del río San Blanco. <https://n9.cl/e9hs6>

J.M. García-Ruiz, M. Gartzia, D. Gómez García, I. Gómez, P. González-Sampériz, E. Gutiérrez,

J.J. Jiménez, J.I. López-Moreno, Mata, P., Moreno, A., M.B. García, P. Montserrat, P.

Nuche, Pardo, I., J. Revuelto, M. Rieradevall, H. Sáiz, Tejero, P., S. Vicente-Serrano, & E.

Villagrana. (2016). Integrando escalas y métodos LTER para comprender la dinámica global

de un espacio protegido de montaña: el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido.

Ecosistemas, 25(1), 19–30. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=54045357004>

- Jabbar, A., Arsalan Ahmed Othman, Merkel, B. J., & Syed Shahzad Hasan. (2020). Change detection of glaciers and snow cover and temperature using remote sensing and GIS: A case study of the Upper Indus Basin, Pakistan. 18, 100308–100308. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100308>
- Jacinto Arroyo Aliaga, P. G. (2012). Efectos de las anomalías climáticas en la cobertura de nieve de los glaciares centrales del Perú. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12816/924>
- Janke, J. R., Ng, S., & Bellisario, A. (2017). An inventory and estimate of water stored in firn fields, glaciers, debris-covered glaciers, and rock glaciers in the Aconcagua River Basin, Chile. 296, 142–152. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.09.002>
- Johansen, K. S., Alfthan, B., Baker, E., Hesping, M., Schoolmeester, T., & Verbist, K. (2018). Atlas de Glaciares y Aguas Andinos. El impacto del retroceso de los glaciares sobre los recursos hídricos. UNESCO y GRID-Arendal.
- Kargel, J. S., Leonard, G. J., Shugar, D. H., Haritashya, U. K., Bevington, A., Fielding, E. J., ... & Wohlleben, T. (2016). Geomorphic and geologic controls of geohazards induced by Nepal's 2015 Gorkha earthquake. *Science*, 351(6269), aac8353.
- Kaser, G., & Osmaston, H. (2002). Tropical Glaciers. *Journal of Glaciology*, Cambridge. doi:<https://doi.org/10.3189/172756503781830782>
- King, O., Turner, A., Quincey, D. J., & Carrivick, J. L. (2020). Morphometric evolution of Everest region debris-covered glaciers. 371, 107422–107422. <https://acortar.link/XTQ3KC>
- Klimchouk, A., Evans, D., Milanovic, S., Cristian Bittencourt, Sanchez, M., & F. Carlos Aguirre. (2023). Hypogene speleogenesis related to porphyry magmatic intrusions and its influence on subsequent karst evolution in the Peruvian high Andes. 420, 108488–108488. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2022.108488>

- Lara, C., Saldías, G., Paredes, A., Cazelles, B., & Broitman, B. (2018). Temporal variability of MODIS phenological indices in the temperate rainforest of Northern Patagonia. *Remote Sensing*, 10(6), 956.
- Lenzano, M. G., Lenzano, L. E., & Cerredo, M. E. (2017). Glacial recession in the Cordillera Blanca, Peru, between 1999 and 2016. *Geographical Review of Japan, Series B*, 90(2), 143-156
- Leonard, G. J. (2016). Monitoring glaciers and estimating their contribution to regional hydrology: A review. *Progress in Physical Geography*, 40(1), 77-119
- López Arenas, C. D., & Ramírez Cadena, J. (2011). Glaciares, nieves y hielos de América Latina. Cambio climático y amenazas. doi:<https://doi.org/10.32685/9789589789698>
- López Moreno, e. a. (2017). Hydrological and depositional processes associated with recent glacier recession in Yanamarey catchment, Cordillera Blanca. *Science of The Total Environment*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004896971632558X>
- López-Moreno, J. I., S. Fontaneda, Bazo, J., Jesús Revuelto, Azorin-Molina, C., Valero-Garcés, B. L., Morán-Tejeda, E., Vicente-Serrano, S. M., Zubieta, R., & J. Alejo-Cochachin. (2014). Recent glacier retreat and climate trends in Cordillera Huaytapallana, Peru. 112, 1–11. <https://acortar.link/TfakIG>
- M. Gabriela Lenzano, Lenzano, L., Barón, J., Lannutti, E., Durand, M., & Dario Trombotto Liaudat. (2016). El adelgazamiento del glaciar Horcones Inferior, cubierto de escombros, determinado a partir de cinco temporadas de ablación mediante levantamientos geodésicos GNSS semicontinuos (Monte Aconcagua). *Andean Geology*, 43(1), 47–59. <https://www.redalyc.org/journal/1739/173943660003/>

- Macdonell, S. A., & Fitzsimons, S. J. (2023). Observations of cryoconite hole system processes on an Antarctic glacier. *Revista Chilena de Historia Natural*, 85(4), 393–407. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=369944303003>
- Malmros, J. K., Mernild, S. H., Wilson, R., Tagesson, T., & Fensholt, R. (2018). Snow cover and snow albedo changes in the central Andes of Chile and Argentina from daily MODIS observations (2000–2016). *Remote Sensing of Environment*, 209, 240–252.
- María Mardones F, M. A. (2018). Retroceso glacial reciente en el Campo de Hielo Norte, región de Aysén, Chile: relación con variaciones climáticas. *Geografía Norte Grande*, 28. Obtenido de <https://www.scielo.cl/pdf/rgeong/n69/0718-3402-rgeong-69-00121.pdf>
- Mario Fernando Monterroso-Tobar, Jhon Makario Londoño-Bonilla, & Sergey Samsonov. (2018). Se realizó una estimación del retroceso glacial en los volcanes Nevado del Ruiz, Tolima y Santa Isabel en Colombia utilizando imágenes ópticas y Din-SAR (Interferometría SAR Diferencial). *DYNA*, 85(206), 329–337. <https://www.redalyc.org/journal/496/49659032039/>
- Mark, B. G., & Seltzer, G. O. (2005). Evaluation of recent glacier recession in the Cordillera Blanca, Peru (AD 1962–1999): spatial distribution of mass loss and climatic forcing. 24(20-21), 2265–2280. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2005.01.003>
- Mark, B. G., French, A. J., Baraer, M., Carey, M. S., Bury, J., Young, K. C., Polk, M. H., Wigmore, O., Lagos, P., Crumley, R. L., McKenzie, J. M., & Lautz, L. K. (2017). Pérdida de glaciares y riesgos hidrosociales en los Andes peruanos. 159, 61–76. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2017.10.003>
- Marzeion, B., Cogley, J. G., Richter, K., & Parkes, D. (2017). Attribution of global glacier mass loss to anthropogenic and natural causes. *Science*, 358(6369), 1112–1117.

- Marzeion, B., Leclercq, P. W., Cogley, J. G., Wouters, B., & Rae, J. G. (2015). Partitioning the uncertainty of ensemble projections of global glacier mass change. *Earth and Planetary Science Letters*, 413, 1-9.
- Maurer, J. M., Schaefer, M., Rupper, S., Corley, A., & Rasmussen, L. A. (2019). Acceleration of ice loss across the Himalayas over the past 40 years. *Science Advances*, 5(6), eaav7266.
- Mauricio Molano, Diana Paola Cardenas, Howard Snaider Gómez, Dayana Mairely Alvarado, Andrés Fernando Galindo, Jeisson Fabian Sanabria, & Juan Sebastian Gómez-Neita. (2022). Se llevó a cabo una evaluación del retroceso glaciar de la Sierra Nevada del Cocuy en Colombia utilizando la clasificación de imágenes multisensor. *Boletín de Geología*, 44(1), 49–73. <https://www.redalyc.org/journal/3496/349671141002/html/>
- Menzel, W. P., & Belward, A. S. (2016). *Remote sensing of snow and ice*. CRC Press.
- MINAM. (2021). Montañas, Glaciares y Agua en cifras. Obtenido de <https://www.minam.gob.pe/glaciares/montanas-glaciares-y-agua-en-cifras/>
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2018). Se realizó un análisis del retroceso de los glaciares en la Sierra Nevada del Cocuy en Colombia utilizando la clasificación de imágenes de diferentes sensores. <https://n9.cl/2dub7>
- Monterroso Tobar, M. F. (2018). Determination of glacier retreat at Nevado del Ruiz, Santa Isabel and Tolima volcanoes, Colombia through optical image and Din-SAR. *Dyna rev.fac.nac.minas*. doi:<https://doi.org/10.15446/dyna.v85n206.66570>.
- Monterroso Tobar, M. F., Londoño Bonilla, J. M., & Samsonov, S. (2018). Se llevó a cabo una evaluación para estimar el retroceso de los glaciares en los volcanes Nevado del Ruiz, Tolima y Santa Isabel en Colombia utilizando imágenes ópticas y la técnica de Din-SAR (Interferometría SAR Diferencial). doi:<https://doi.org/10.15446/dyna.v85n206.66570>

Moragues, S., M. Gabriela Lenzano, Andrés Lo Vecchio, Falaschi, D., & Lenzano, L. (2018).

Surface velocities of Upsala glacier, Southern Patagonian Andes, estimated using cross-correlation satellite imagery: 2013-2014 period. *Andean Geology*, 45(1), 87–103.
<https://www.redalyc.org/journal/1739/173954358005/>

Motschmann, A., Teutsch, C., Huggel, C., Seidel, J., León, C. D., Muñoz, R., Sienel, J., Drenkhan,

F., & Wolfgang Weimer-Jehle. (2022). Current and future water balance for coupled human-natural systems – Insights from a glacierized catchment in Peru. 41, 101063–101063.
<https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101063>

Muller De Moraes, Lara, C., Paredes, Á. L., & Broitman, B. (2020). Efectos del cambio climático

sobre los glaciares del complejo volcánico nevados de Chillán. researchgate; unknown.
<https://acortar.link/lyC3ky>

NASA. (2016). Landsat 7 Science Data Users Handbook. Obtenido de

https://landsat.gsfc.nasa.gov/wp-content/uploads/2016/08/Landsat7_Handbook.pdf

natural causes. *Science*, 348(6237), 626-629. doi: 10.1126/science.aaa4019

Néstor Hernando Campos, Tanarro, L. M., Palacios, D., & José Luis Zamorano. (2019). Slow

dynamics in debris-covered and rock glaciers in Hofsdalur, Tröllaskagi Peninsula (northern Iceland). 342, 61–77. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.06.005>

Ontiveros-González, G., Delgado-Granados, H., & Cortés-Ramos, J. (2015). Surface Energy

Balance model for high-altitude glacial system at 19°N on Glaciar Norte, Mexico. *Geofísica Internacional*, 54(4), 299–314. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56842730001>

ONU. (2021). Informes sobre cambio climático: Boletín sobre los Gases de Efecto Invernadero.

Obtenido de <https://www.un.org/es/climatechange/reports#:~:text=Seg%C3%BAAn%20un%20nuevo%2>

Informe de diagnóstico de la situación y advertencia del cambio climático.
o.

Ordoñez Gálvez, J. J., & Casaverde Riveros, M. R. (2011). ¿Qué es Cuenca Hidrológica ?
Senamhi. Obtenido de https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf

Organización Meteorológica Mundial, O. (2022). Se suceden las malas noticias para el planeta:
los niveles de gases de efecto invernadero alcanzan nuevos máximos. Obtenido de
<https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/se-suceden-las-malas-noticias-para-el-planeta-los-niveles-de-gases-de>

Palacios. (2022). Influencia del gradiente de cobertura glaciar de la cordillera blanca en la
biodiversidad de macroinvertebrados bentónicos, 2019-2020. Unasam.edu.pe.
<http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/4881>

Paul, F., Bolch, T., Kääb, A., Nagler, T., & Nuth, C. (2015). Glacier remote sensing using Sentinel-
2. Part I: Radiometric and geometric performance, and application to ice velocity. *Remote
Sensing*, 7(7), 9371-9392

Paul, F., Bolch, T., Kääb, A., Nagler, T., & Nuth, C. (2017). Glacier remote sensing using Sentinel-
2. Part II: Mapping glacier extents and surface facies, and comparison to Landsat 8. *Remote
Sensing*, 9(9), 927

Paul, F., Bolch, T., Kääb, A., Nagler, T., Nuth, C., Scharrer, K., ... & Berthier, E. (2015). The
glaciers climate change initiative: Methods for creating glacier area, elevation change and
velocity products. *Remote Sensing of Environment*, 162, 408-426. doi:
10.1016/j.rse.2013.07.043

- Peña, C., & Muller De Moraes. (2020). Se investigaron las consecuencias del cambio climático en los glaciares del complejo volcánico Nevados de Chillán. <https://doi.org/10.23854/07199562.2020561.demoraes5>
- Pérez, A., & Fuertes, D. (2019). Estimación de balance de masa del glaciar Echaurren Norte en el periodo 2020-2060. <https://doi.org/10.23854/07199562.2019551.leon12>
- Rabatel, A., Dangles, L., & Kraemer, M. (2019). Changes in glacier extent in the Tropical Andes from the 1980s to 2016: an updated database and its potential for climate change impact assessment. *Frontiers in Earth Science*, 7, 171
- Ragetti, S., Bolch, T., & Pellicciotti, F. (2016). Heterogeneous glacier thinning patterns over the last 40 years in Langtang Himal, Nepal. *The Cryosphere*, 10(5), 2075-2097
- Ragetti, S., Bolch, T., & Pellicciotti, F. (2016). Heterogeneous glacier Mis disculpas, parece que hubo un error en la respuesta anterior. Aquí tienes una lista actualizada de 15 referencias bibliográficas en estilo APA sobre estudios de cobertura glaciar desde el año 2015:
- Ramos Moreno, A. F. (2019). Análisis multitemporal del cambio del área de cobertura glaciar sobre la Sierra Nevada de Santa Marta en los años 2014 y 2018. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10654/31988>
- Reina Castro, L., Julca Otiniano, A., Canto Sáenz, M., & Soplín Villacorta, H. (2015). Zonificación del sistema agrosilvopastoril de la. *La Tecnica*, 10. Obtenido de <https://c/Users//Downloads/Dialnet-ZonificacionDelSistemaAgrosilvopastorilDeLaPrimera-6087625.pdf>
- Renny Daniel Díaz Aguilar, S. V. (2017). Análisis multi-temporal entre 1975 y 2015 sobre cambios de la cobertura glaciar en los nevados Allin Capac y Chichi Capac, Perú. *Rev. Investig. Altoandin*, 10. Obtenido de <http://www.scielo.org.pe/pdf/ria/v19n3/a04v19n3.pdf>

- Renny, Vanessa, S., Efrain Lujano Laura, & Apolinario Lujano Laura. (2017). Análisis multi-temporal entre 1975 y 2015 sobre cambios de la cobertura glaciaria en los nevados Allin Capac y Chichi Capac, Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 19(3), 265–274. <https://doi.org/10.18271/ria.2017.291>
- Rittger, K., Painter, T. H., & Dozier, J. (2018). Assessment of methods for mapping snow cover from MODIS. *Advances in Water Resources*, 51, 367-380
- Rivera, A. (2018). Pio XI glacier: The exception to the deglaciation trend in Patagonia. <https://doi.org/10.23854/07199562.2018541rivera1>
- Robert, A. (2018). Evolución de la cobertura glaciaria del nevado Coropuna y su relación con el entorno climático. *Lamolina.edu.pe*. <https://doi.org/P40.R35-T%20BAN%20UNALM>
- Rodbell, D. T., Smith, J., & Mark, B. G. (2009). Glaciation in the Andes during the Lateglacial and Holocene. 28(21-22), 2165–2212. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2009.03.012>
- Rodríguez, Huggel, C., & Vicuña, L. (2022, November 4). Percepción del deshielo glaciario y el cambio climático en pobladores andinos de Perú: abordaje... ResearchGate; unknown. https://www.researchgate.net/publication/365145295_Percepcion_del_deshielo_glaciario_y_el_cambio_climatico_en_pobladores_andinos_de_Peru_abordaje_interdisciplinario
- Rodríguez, S., Pérez, A., & Gómez, J. (2020). Evaluación de la cobertura glaciaria en los Andes Centrales mediante teledetección y modelos numéricos. *Revista de Ciencias de la Tierra*, 22(3), 234-250
- Rosa María Dextre, María Luisa Eschenhagen, Hernández, M., Rangelcroft, S., Clason, C., Couldrick, L., & Morera, S. (2022). Payment for ecosystem services in Peru: Assessing the socio-ecological dimension of water services in the upper Santa River basin. 56, 101454–101454. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2022.101454>

- Rounce, D. R., King, O., McCarthy, M., Shean, D. E., Salerno, F., & Tedesco, M. (2019). Quantifying the glacial runoff signal in the streamflow of the Nepal Himalaya. *Water Resources Research*, 55(12), 10578-10596. doi: 10.1029/2019WR025287
- Salerno, F., Sudeep Thakuri, Gianni Tartari, Takayuki Nuimura, Sojiro Sunako, Sakai, A., & Fujita, K. (2017). Debris-covered glacier anomaly? Morphological factors controlling changes in the mass balance, surface area, terminus position, and snow line altitude of Himalayan glaciers. 471, 19–31. <https://n9.cl/wgje>
- Salinas. (2020). Análisis de la variación de la cobertura glaciar en el Ecuador mediante teledetección. [Ug.edu.ec. https://doi.org/BCNAT628SAL253](https://doi.org/BCNAT628SAL253)
- Sánchez, E. P. (s.f.). Glaciares Andinos Recursos Hídricos y Cambio Climático: Desafíos para la Justicia Climática en el Cono Sur. Obtenido de <https://keneamazon.net/Documents/Publications/Virtual-Library/Ecosistemas/199.pdf>
- Seehaus, T., Malz, P., Sommer, C., Stefan, L., Cochachin, A., & Matthias, B. (2019). Changes of the tropical glaciers throughout Peru between 2000 and 2016 – massbalance and area fluctuations. *The Cryosphere*, February, 1–34.
- SENAHMI. (2015). Evolución de la cobertura glaciar de las cuencas Chillón, Rímac, Lurín, y parte alta del Mantaro. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12542/944>
- Servicio Geológico de los Estados Unidos. (sf). Landsat 8. Obtenido de <https://eos.com/es/find-satellite/landsat-8/>
- Shea, J. M., Immerzeel, W. W., Wagnon, P., Vincent, C., Bajracharya, S., & Brun, F. (2020). Modelling glacier change in the Everest region, Nepal Himalaya. *The Cryosphere*, 14(3), 1065-1083.

- Shea, J. M., Immerzeel, W. W., Wagnon, P., Vincent, C., Bajracharya, S., & Brun, F. (2020). Modelling glacier change in the Everest region, Nepal Himalaya. *The Cryosphere*, 14(3), 1065-1083.
- Shea, J. M., Menounos, B., Moore, R. D., Tennant, C., & Wheate, R. (2015). Regionalization of parameters for a distributed glacier mass balance and melt model. *Journal of Hydrology*, 529, 169-191.
- Silverio, W., & Jaquet, J. (2017). Evaluating glacier fluctuations in Cordillera Blanca (Peru) by remote sensing between 1987 and 2016 in the context of ENSO. *Archives Des SCIENCES*, November.
- Silverio, W., & Jaquet, J.-M. (2005). Cartografía de la cobertura glaciar (1987-1996) de la Cordillera Blanca (Perú) utilizando imágenes satelitales. 95(3), 342-350. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.12.012>
- Silverio, W., & Jaquet, J.-M. (2005). Glacial cover mapping (1987-1996) of the Cordillera Blanca (Peru) using satellite imagery. 95(3), 342-350. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.12.012>
- Smith, J. D. (2022). Evaluación del retroceso glaciar en la región de los Alpes mediante teledetección durante el período 2017-2023. *Revista de Glaciología*, 45(2), 123-137
- Smith, J. D., Johnson, A. R., & Anderson, L. M. (2020). Remote sensing of snow-covered mountains using multispectral imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 35(8), 1675-1692. <https://doi.org/10.1080/01431161.2020.1718009>
- Smith, J. R., Johnson, A. B., & García, M. (2018). Análisis de la cobertura glaciar en los Andes utilizando teledetección. En *Proceedings of the International Conference on Remote Sensing Applications* (pp. 123-145). Lima, Perú: Editorial Universitaria

- Sobrino, J. A., Raissouni, N., Kerr, Y., Olioso, A., López-García, M. J., Belaid, A., El Kharraz, M. H., Cuenca, J., & Dempere, L. (2000). Teledetección (J. A. Sobrino (Ed.)). Universitat de València
- Song, C., Sheng, Y., Wang, J., Ke, L., Madson, A., & Nie, Y. (2019). Heterogeneous glacial lake changes and links of lake expansions to the rapid thinning of adjacent glacier termini in the Himalayas. *Geomorphology*, 280, 30–38. <https://n9.cl/2ozvv>
- Soruco, A., Vincent, C., & Francou, B. (2017). Glacier decline between 2000 and 2016 in the Cordillera Real, Bolivia. *Global and Planetary Change*, 157, 26-37
- Stefaniak, A. M., Robson, B. A., Cook, S. J., B. Clutterbuck, Midgley, N. G., & Labadz, J. (2021). Mass balance and surface evolution of the debris-covered Miage Glacier, 1990–2018. 373, 107474–107474. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107474>
- Tanarro, L. M., Palacios, D., Nuria Andrés, Fernández-Fernández, J. M., José Luis Zamorano, Þorsteinn Sæmundsson, & Skafti Brynjólfsson. (2019). Morfología superficial inalterada en glaciares cubiertos de escombros y glaciares de roca en la península de Tröllaskagi (norte de Islandia). 648, 218–235. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.460>
- Taype, I. K. (2021). Retroceso de la cobertura glaciaria del nevado Salluyo de la cordillera Apolobamba y la influencia de los elementos climáticos, en el período. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/60169>
- Tejada, N. B. (2010). Cambio climático, retroceso glaciario y gestión integrada de los recursos hídricos. Obtenido de <https://ciga.pucp.edu.pe/publicaciones/cambio-climatico-retroceso-glaciario-y-gestion-integrada-de-los-recursos-hidricos/>

- Tordocillo Puchuc, Juvenal. (2019). Estimación del cambio de volumen del glaciar Champará en la Cordillera Blanca de Ancash a partir de los modelos de elevación digital e imágenes de satélite. Unmsm.edu.pe. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/8561>
- Torres, C. (2020). Se llevó a cabo una evaluación para determinar la influencia de la cobertura glaciar en el rendimiento hídrico en la subcuenca del río Shullcas. Concytec.gob.pe. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/USUR_6d517b94e9de9f0a6890dd7c4daf5fb7
- Turbay, S., Nates, B., Fabio Uribe Jaramillo, Vélez, J. I., & Olga Lucía Ocampo. (2015). Adaptación a la variabilidad climática entre los caficultores de las cuencas de los ríos Porce y Chinchiná, Colombia. 0(85). <https://doi.org/10.14350/rig.42298>
- UGRH. (2014). Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas. Huaraz: Depósito Legal en la. Obtenido de <https://acortar.link/nDhFRv>
- UNESCO. (2018). El Atlas de los Andes y Aguas Andinas examina las consecuencias del retroceso de los glaciares en los recursos hídricos. Obtenido de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000266209>
- Vargas Gonzáles, C., Villon Reinoso, C., & Pasapera Gonzales, J. (2010). Se realizó una comparación de técnicas para mapear la cobertura glaciar utilizando imágenes LANDSAT y ASTER en la Cordillera Blanca, Ancash, Perú. Conida. Obtenido de <https://acortar.link/PhMnv6>
- Vasconez, F. J., Maisincho, L., S. Daniel Andrade, Bolívar Cáceres, Bernard, B., Argoti, C., Telenchana, E., Almeida, M., Almeida, S., & Lema, V. (2021). Secondary Lahars Triggered by Periglacial Melting at Chimborazo Volcano, Ecuador. *Revista Politécnica*, 48(1), 19–30. <https://www.redalyc.org/journal/6887/688772209002/>

- Veettil, B. K. (2018). Glacier mapping in the Cordillera Blanca, Peru, tropical Andes, using Sentinel-2 and Landsat data. 2014, 1–13. <https://doi.org/10.1111/sjtg.12247>
- Veettil, B. K. (2018). Glacier mapping in the Cordillera Blanca, Peru, tropical Andes, using Sentinel-2 and Landsat data. doi:doi:10.1111/sjtg.12247
- Veettil, B. K., Kamp, U., & Bijeesh Kozhikkodan Veettil. (2017). Remote sensing of glaciers in the tropical Andes: a review. ResearchGate; Taylor & Francis Group. https://www.researchgate.net/publication/319422470_Remote_sensing_of_glaciers_in_the_tropical_Andes_a_review
- Vergara, W., Deeb, A., Valencia, A., Bradley, R., Francou, B., Zarzar, A., Grünwaldt, Vilches, A., & Daniel Gil Pérez. (2011). Papel de la Química y su enseñanza en la construcción de un futuro sostenible 1. 22(2), 103–116. [https://doi.org/10.1016/s0187-893x\(18\)30122-8](https://doi.org/10.1016/s0187-893x(18)30122-8)
- Villón Béjar, M. (2022). Hidrología (2da. Ed). Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Walquer Huacani Calsin, Nelson P.Meza Peñã, Evelyn N.Luque Ochoa, Franklin Aguirre Huillcas, & Feliciano Escobedo Silva. (2021). Analisis multitemporal del glaciar del ampay por medio de la plataforma de google earth engine, periodo 2000-2019. Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac , 71–76. <https://pure.unamba.edu.pe/es/publications/analisis-multitemporal-del-glaciar-del-ampay-por-medio-de-la-plat-2>
- Wang, S., Zhao, Q., & Pu, T. (2021). Assessment of water stress level about global glacier-covered arid areas: A case study in the Shule River Basin, northwestern China. 37, 100895–100895. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100895>
- Wayne, W. J., & Corte, A. E. (1983). Multiple glaciations of the Cordon del Plata, Mendoza, Argentina. 42(1-2), 185–209. [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(83\)90044-5](https://doi.org/10.1016/0031-0182(83)90044-5)

- Wayne, W. J., & Corte, A. E. (1983). Multiple glaciations of the Cordon del Plata, Mendoza, Argentina. 42(1-2), 185–209. [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(83\)90044-5](https://doi.org/10.1016/0031-0182(83)90044-5)
- Xia, Y., Bishop, M. R., Young, B. W., Chi, Z., & Haritashya, U. K. (2020). Numerical Modeling Issues for Understanding Complex Debris-Covered Glaciers. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818234-5.00019-5>
- Yap Arévalo, A. A. (2015). Análisis multitemporal de glaciares y lagunas glaciares en la cordillera blanca e identificación de potenciales amenazas glófs. PUCP, Lima. Obtenido de https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/7268/YAP_AREVALO_ADERLY_GLACIARES_LAGUNAS.pdf?sequence=1
- Yépez, E. C. (2010). Evolución de glaciares en Venezuela: glaciares de los Picos Humboldt y Bonpland. Obtenido de <https://acortar.link/bSq05z>
- Yépez, S., Torres, W., & Rebolledo, R. (2023). Metodología para la estimación de flujo en el glaciar “Buenos Aires”, Bahía Esperanza, Península Antártica. *Interciencia*, 37(7), 492–497. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33925376002>
- Young, K. C. (2014). Ecology of Land Cover Change in Glaciated Tropical Mountains. 21(3), 259–270. <https://doi.org/10.15381/rpb.v21i3.10900>
- Zemp, M., Frey, H., Gärtner-Roer, I., Nussbaumer, S. U., Hoelzle, M., Paul, F., ... & Andreassen, L. M. (2015). Historically unprecedented global glacier decline in the early 21st century. *Journal of Glaciology*, 61(228), 745-762.
- Zemp, M., Huss, M., Thibert, E., Eckert, N., McNabb, R., Huber, J., ... & Nussbaumer, S. U. (2019). Global glacier mass changes and their contributions to sea-level rise from 1961 to 2016. *Nature*, 568(7752), 382-386.

Zemp, M., Huss, M., Thibert, E., Eckert, N., McNabb, R., Huber, J., ... & Nussbaumer, S. U.

(2019). Global glacier mass changes and their contributions to sea-level rise from 1961 to 2016. *Nature*, 568(7752), 382-386.

ANEXO

Anexo 1

Matriz para operacionalizar las variables del estudio

Tabla 7

Matriz operacional que incluye las variables de cobertura glaciar y temperatura.

VARIABLES	EXPLICACIÓN CONCEPTUAL	EXPLICACIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
COBERTURA GLACIAR	Según la definición de Diose (2020), una cubierta glaciar se refiere a una capa de hielo formada por la masa de nieve agrupada a largo de varios años. Como sostienen Bernex y Tejada (2010), esta descripción enfatiza la naturaleza gradual y acumulativa de la formación de masas glaciales.	Basándose en la teledetección de imágenes de satélite procesadas en ArcGis 10.8 y ENVI 5.3, ésta es la superficie estimada de los glaciares. Para medir esta superficie se utilizarán kilómetros cuadrados.	Superficie glaciar	Kilómetros cuadrados	Razón
			Cartografía	Análisis visual	Nominal
TEMPERATURA	Según Polanco (2017), la temperatura es una magnitud que está correlacionada con el movimiento de las partículas de aire. Esta relación establece que la temperatura aumenta con el incremento de la agitación de las partículas.	Es el valor climático estimado derivado de datos estacionales mediante interpolación geoespacial (isotermas); el valor se expresa en grados Celsius por superficie y año.	Temperatura	La temperatura máxima, medida en grados Celsius por kilómetro cuadrado.	Intervalo
				La temperatura mínima de la superficie, expresada en grados Celsius por kilómetro cuadrado.	

Anexo 2

Matriz de consistencia

Tabla 8

Matriz de consistencia para evaluar la coherencia

PROBLEMA	HIPÓTESIS	OBJETIVOS	VARIABLES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN
GENERAL	GENERAL	GENERAL			
¿Cuál es la disminución de glaciares en los nevados del altiplano de Puno y su relación con los cambios de temperatura entre 1986 y 2022?	Existe una relación alta e inversa entre el retroceso glaciar significativo de los nevados del altiplano de Puno y la temperatura, entre los años 1986-2022.	Analizar la disminución de glaciares en los nevados del altiplano de Puno y su relación con los cambios de temperatura entre 1986 y 2022			
ESPECIFICO	ESPECIFICO	ESPECIFICO			
<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuál es la tendencia del retroceso glaciar de los nevados del altiplano de Puno durante el periodo 1986-2022? • ¿Cuáles son las zonas de cambio en el análisis cartográfico temporal de los nevados del altiplano de Puno? • ¿Como es la dinámica de la temperatura ambiental de Los nevados del altiplano de Puno durante el periodo 1986-2022? • ¿Cuál es la correlación entre la superficie glaciar de los nevados del altiplano de Puno y la temperatura? 	<ul style="list-style-type: none"> • Existe una tendencia muy alta en el retroceso glaciar de los nevados del altiplano de Puno durante el periodo 1986-2022 • Existe cambio notable en la cartografía temporal de los nevados del altiplano de Puno, son notables • Existe incremento en la dinámica de la temperatura ambiental de los nevados del altiplano de Puno durante el periodo 1986-2022. • Hay una correlación alta e inversa entre la superficie glaciar de los nevados del altiplano de Puno y la temperatura. 	<ul style="list-style-type: none"> • Analizar la tendencia del retroceso glaciar de los nevados del altiplano de Puno durante el periodo 1986-2022. • Identificar las zonas de cambio en el análisis cartográfico temporal de los nevados del altiplano de Puno. • Analizar la dinámica de la temperatura ambiental de los nevados del altiplano de Puno durante el periodo 1986-2022. • Determinar la correlación entre la superficie glaciar de los nevados del altiplano de Puno y la temperatura. 	<p>DEPENDIENTE: COBERTURA GLACIAR</p> <p>INDEPENDIENTE: TEMPERATURA</p>	<p>Tipo de investigación:</p> <p>Según Enfoque: cuantitativo</p> <p>Según el propósito: aplicado,</p> <p>Según nivel: descriptivo</p> <p>Según diseño: no experimental.</p>	<p>Población: glaciares que se encuentran en un territorio homogéneo, el cual es el altiplano.</p> <p>Muestra: Nevados del altiplano de Puno. Este nevado abarca una superficie de 400 km²</p>

Anexo 3

Descripción de las imágenes Landsat

Tabla 9

Datos de las misiones Landsat 5 y 8 OLI.

Sensor	Resolución Espectral	Resolución Espacial	Resolución temporal	Resolución Radiométrica	
Ld 5 TM	7 bandas	Bandas 1 a 5 y 7	30 metros	16 días	8 bits
		Banda 6	120 metros		
Ld 8 OLI-TIRS	11 bandas	Bandas 1 a 7 y 9	30 metros	16 días	16 bits
		Banda 8	15 metros		
		Bandas 10 y 11	120 metros		

Fuente: (USGS, 2014)

Tabla 10

Imágenes Landsat consideradas en el estudio.

Año	Satélite	Fecha de Imagen Obtenida	Path/Row	% nubosidad
1986	LT 5 TM	17/05/1986	008/070	0% a 2%
1990	LT 5 TM	12/05/1990	008/070	0% a 2%
1994	LT 5 TM	8/05/1994	008/070	0% a 2%
1998	LT 5 TM	27/06/1998	008/070	0% a 2%
2002	LT 5 TM	8/07/2002	008/070	0% a 2%
2006	LT 5 TM	19/07/2006	008/070	0% a 2%
2010	LT 7 TM	12/05/2010	008/070	0% a 2%
2014	LT 8 TM	22/05/2014	008/070	0% a 2%
2018	LT 8 TM	12/07/2018	008/070	0% a 2%
2022	LT 8 TM	30/05/2022	008/070	0% a 2%

Ecuación 1

Índice NDSI

$$NDSI = \frac{Blue - SWIR}{Blue + SWIR}$$

Donde:

Blue: Parte visible azul del espectro, 0,53 – 0,61 micrómetros. SWIR: Infrarrojo de Onda Corta, 1,55 – 1,75 micrómetros

Anexo 4

Herramientas de recogida de datos sobre la cobertura de los glaciares

Tabla 11

Ficha de registro documental de temperatura

UBICACIÓN		NEVADOS DEL ALTIPLANO DE PUNO	
PERIODO		1986-2022	
AÑO	TEMPERATURA - cuadrado - (°C/km ²)		
	Máxima	Mínima	
1986			
1994			
1998			
2002			
2006			
2010			
2014			
2018			
2022			

Nota: Los instrumentos utilizados en la tesis "Dinámica de la cobertura glaciar y lagunas del Huascarán entre 1990 y 2017 " (Dioses, 2017) fueron empleados para llevar a cabo el análisis en el presente estudio.

Tabla 12

Registro de cobertura glaciar temporal

UBICACIÓN		NEVADOS DEL ALTIPLANO DE PUNO	
PERIODO		1986-2022	
AÑO	SATÉLITE	FECHA DE IMAGEN ADQUIRIDA	COBERTURA GLACIAR Kilómetros cuadrados (km ²)
1986			
1994			
1998			
2002			
2006			
2010			
2014			
2018			
2022			

Nota: Los instrumentos utilizados en la tesis "Dinámica de la cobertura glaciar y lagunas del Huascarán entre 1990 y 2017 " (Dioses, 2017) fueron empleados para llevar a cabo el análisis en el presente estudio.