



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**APLICACIÓN DE SENSORES REMOTOS PARA LA
ESTIMACIÓN DE LA COBERTURA GLACIAR DEL NEVADO
ALLINCAPAC (1970 - 2022), DISTRITO DE MACUSANI –
CARABAYA**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. RONALD JORDAN QUISPE AROCUTIPA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

PUNO - PERÚ

2024



NOMBRE DEL TRABAJO

APLICACIÓN DE SENSORES REMOTOS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA COBERTURA GLACIAR DEL NEVADO ALLINCAPAC (1970 - 2022), DISTRITO DE MACUSANI – CARABAYA

AUTOR

RONALD JORDAN QUISPE AROCUTIPA

RECuento DE PALABRAS

15457 Words

RECuento DE CARACTERES

84115 Characters

RECuento DE PÁGINAS

95 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

10.8MB

FECHA DE ENTREGA

May 22, 2024 12:13 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

May 22, 2024 12:15 PM GMT-5

● **12% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 11% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 6% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado

Coincidencia baja (menos de 10 palabras)


Dr. German Belizario Quispe
DOCENTE - UNA - PUNO



Resumen



DEDICATORIA

Para, señor Dios todo poderoso por siempre estar en mi camino, de quien me apoyo y pido espiritualmente de todo mi proyecto se cumplan y se haga una realidad y a la vez no dudo y siento que miedo no existe en cada paso que doy en mi vida normal y profesional, y por siempre señor todo poderoso no me dejes nunca por el resto de mi vida.

A mi Madre Rosa, que es siempre será mi más grande orgullo y a quien lo debo todo lo que soy hasta hoy en día. Madre, por estar en cada paso de mi vida. Me guiaste en cada proceso de mis proyectos de vida. Gracias a por ese amor incondicional. Por siempre en mi corazón mamita linda.

A mi Padre Remigio, por todo el apoyo y esfuerzo de padre. Por siempre orientarme y darme esa motivación de superación. Gracias por el apoyo de toda la vida.

A mi Hermano Huber, por abrirme los ojos y siempre tener pensamiento de ganador. Gracias por orientarme y apoyarme en las situaciones tristes de mi vida.

A mi Hermana Yanneth, por ser como mi segunda madre y en los momentos más críticos y nunca soltarme. Gracias por todo el apoyo económico y amor de hermana.

A mi pareja Lisbeth, por llegar en un momento clave de mi superación. Gracias por tu amor y comprensión. Y a si siempre me pondrán feliz por todos los momentos vividos y por vivir. gracias a toda mi familia.

Ronald J. Quispe Arocutipa



AGRADECIMIENTOS

A mi Alma Mater, a la Universidad Nacional del Altiplano Puno, que me hospedó durante 5 años, durante los cuales me llenó de conocimientos científicos y humanísticos de todos los docentes de mi tan querida Facultad de Ingeniería Agrícola.

Al Dr. German Belizario Quispe por demostrarme su calidad de persona y como profesional, desde el inicio siempre mostrarme la voluntad de apoyar y asesorarme en la realización de la tesis. A mis Jurados M.Sc. Percy Arturo Ginez Choque, M.Sc. Edgardo Sebastián Guerra Bueno, M.Sc. Efraín Lujano Laura. Con su aporte de conocimiento especializados en la tesis y colaboración científica pude concluir con el proyecto de tesis. Es por lo que estoy profundamente agradecido por todos los aportes.

A mi padre Remigio, mi madre Rosa y mis hermanos Huber y Yanneth, por estar en toda la etapa de mis estudios desde inicio hasta ahora y por brindarme ese sustento económico y amor de familia.

A mis tíos Benjamin y Antonia por estar en los momentos críticos y sabía que podía confiar en ellos y por todo el apoyo que siempre me brindan.

A mis compañeros de carpeta que siempre estuvimos para darnos un apoyo mutuo y sin ningún interés y a mi equipo sport gusto por lo momento vividos en la época estudiantil.

Ronald J. Quispe Arocutipa



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	13
ABSTRACT.....	14
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
1.1.1. Problema general	18
1.1.2. Problemas específicos.....	18
1.2. HIPÓTESIS	19
1.2.1. Hipótesis general	19
1.2.2. Hipótesis específicas.....	19
1.3. JUSTIFICACIÓN	19
1.4. OBJETIVOS.....	20
1.4.1. Objetivo general	20
1.4.2. Objetivos específicos	20
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1. ANTECEDENTE DE LA INVESTIGACION	22



2.1.1. Internacionales	22
2.1.2. Nacionales	24
2.1.3. Regionales	26
2.2. MARCO TEÓRICO	28
2.2.1. Glaciar	28
2.2.1.1. Tipos de glaciar	30
2.2.1.2. Retroceso glaciar	33
2.2.1.3. Impactos del cambio climático en los glaciares	35
2.2.2. Imagen satelital	37
2.2.2.1. Sensor Landsat	38
2.2.2.2. Satélite Sentinel	41
2.2.2.3. Preprocesamiento de imágenes satelitales	43
2.2.2.4. Procesamiento	45
2.2.3. Índice de normalización diferencial de nieve (NDSI)	46
2.2.4. Sistemas de información geográfica (SIG) y la cobertura vegetal	47
2.2.4.1. Proyección de la cobertura glaciar	47
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	48
2.3.1. Cobertura glaciar	48
2.3.2. Dinámica glaciar	48
2.3.3. Índice Diferencial Normalizado de Nieve (NDSI)	48
2.3.4. Imágenes satelitales	49
2.3.5. Sistemas de información geográfica (SIG)	49
CAPÍTULO III	
MATERIALES Y MÉTODOS	
3.1. ZONA DE ESTUDIO	50



3.1.1. Límites	50
3.1.2. Vías de comunicación y accesibilidad.....	51
3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN	51
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS.....	52
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	52
3.4.1. Población	52
3.4.2. Muestra	52
3.5. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO	53
3.5.1. Determinar la variación de la cobertura glaciar en los últimos 52 años en intervalos de cada 5 años de 1970 a 2022, de acuerdo a las imágenes satelitales Landsat y Sentinel	53
3.5.2. Determinar la variación de temperatura entre los periodos 1970 – 2022, del nevado Allincazac, distrito de Macusani - Carabaya.....	57
3.5.3. Estimar el porcentaje de variación de la cobertura glaciar para el año 2030 del nevado Allincazac, distrito de Macusani - Carabaya.....	58

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. VARIACIÓN DE LA COBERTURA GLACIAR GENERADO ENTRE LOS PERIODOS 1970 – 2022, DEL NEVADO ALLINCAPAC.....	59
4.2. COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA ENTRE LOS PERIODOS 1970 – 2022, DEL NEVADO ALLINCAPAC.....	66
4.3. PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE LA COBERTURA GLACIAR PARA EL AÑO 2030 DEL NEVADO ALLINCAPAC	78
CONCLUSIONES	80
RECOMENDACIONES	81



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82
ANEXOS.....	88

Área: Ingeniería y tecnología

Línea: Recursos hídricos

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 27 de mayo de 2024



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Cantidad y superficie de glaciares por cordilleras y altitudes.....	33
Tabla 2 Descripción de la imagen Landsat 7 – ETM+	39
Tabla 3 Vías de comunicación y accesibilidad al área en estudio	51
Tabla 4 Fechas que realizo los satélites los barridos en la zona de investigación	54
Tabla 5 Valoración de índice de kappa	56
Tabla 6 Valoración de índice de Kappa	65



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Balance de masa glaciar	29
Figura 2 Formación de hielo glaciar.....	30
Figura 3 Distribución de los glaciares en los andes tropicales.....	32
Figura 4 Mapa de ubicación de la región de Puno	50
Figura 5 Imagen satelital Landsat	54
Figura 6 Imagen satelital Sentinel 2A	55
Figura 7 Variación de la cobertura glaciar entre los periodos 1970 – 1985.....	59
Figura 8 Variación de la cobertura glaciar entre los periodos 1990 – 1995.....	60
Figura 9 Variación de la cobertura glaciar entre los periodos 2000 – 2005.....	61
Figura 10 Variación de la cobertura glaciar entre los periodos 2010 – 2015.....	62
Figura 11 Variación de la cobertura glaciar entre los periodos 2020 – 2022.....	63
Figura 12 Variación de la cobertura glaciar entre los periodos 1970 – 2022.....	64
Figura 13 Temperatura ambiental del nevado Allinca pac del año 1970.....	67
Figura 14 Temperatura ambiental del nevado Allinca pac del año 1985	68
Figura 15 Temperatura ambiental del nevado Allinca pac del año 1990.....	69
Figura 16 Temperatura ambiental del nevado Allinca pac del año 1995	70
Figura 17 Temperatura ambiental del nevado Allinca pac del año 2000.....	71
Figura 18 Temperatura ambiental del nevado Allinca pac del año 2005	72
Figura 19 Temperatura ambiental del nevado Allinca pac del año 2010.....	73
Figura 20 Temperatura ambiental del nevado Allinca pac del año 2015	74
Figura 21 Temperatura ambiental del nevado Allinca pac del año 2020	75
Figura 22 Temperatura ambiental del nevado Allinca pac del año 2022.....	76
Figura 23 Variación de la temperatura ambiental del nevado Allinca pac	77



Figura 24 Cobertura glaciár al año 2030 del nevado Allincapac 78



ACRÓNIMOS

USGS	: United States Geological Survey
SIG	: Sistema de Información Geográfica.
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
LANDSAT	: Land Remote Sensing Satellite
KAPPA	: Kernel Application Package
SHP	: Shapefile
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change
SENAMHI	: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú



RESUMEN

La presente investigación se efectuó a razón de que se evidencia la pérdida de la masa glacial, así planteamos como objetivo general de aplicar los sensores remotos para la estimación de la cobertura glacial (periodo 1970 - 2022) del nevado Allincapac - distrito de Macusani – Carabaya; con método de obtención de datos a través de la descarga de imágenes satelitales Landsat y Sentinel 2A entre los periodos 1970 al 2022; efectuando las correcciones radiométricas y atmosféricas para la mejora de la calidad de la imagen satelital; y todo ello procesada en el software ArcGIS, para determinar la variación de la cobertura glacial; con la técnica de clasificación no supervisada, y mediante el índice Kappa establecer la concordancia de los datos con la realidad; para posteriormente determinar la temperatura de la cobertura glacial del nevado; y proyectar la cobertura glacial al año 2030; siendo resultante que la cobertura glacial entre los periodos 1970 – 2022 va decreciendo con una pérdida de 23.12 km², lo cual es equivalente a una pérdida del 32% respectivamente, presentando una precisión y una índice kappa del 100%; lo cual es indicativo de que la imagen satelital concuerda con la realidad, con respecto a la temperatura presenta una tendencia de incremento del 0.03%, mientras que la cobertura glacial al año 2030 será de solo 6.7 km², siendo inferior a los periodos de análisis entre 1970 y 2022. Concluyendo que la aplicación de sensores remotos (imágenes satelitales Landsat y Sentinel), permiten la estimación de la cobertura glacial del nevado Allincapac.

Palabras clave: Cobertura glacial, nevado Allincapac, sensores remotos, landsat, sentinel.



ABSTRACT

This research was carried out because the loss of glacial mass is evident, so we propose as a general objective to apply remote sensing for the estimation of glacier cover. (period 1970 - 2022) of the snowy Allinapac - district of Macusani - Carabaya; with the method of obtaining data by downloading Landsat and Sentinel satellite images from 1970 to 2022; making radiometric and atmospheric corrections to improve the quality of the satellite image; and all this processed in ArcGIS software, to determine the variation in glacier cover; with the technique of unsupervised classification, and by means of the Kappa index to establish the concordance of the data with reality; to subsequently determine the temperature of the glacier cover of the snow-capped mountain; and to project the glacier cover to the year 2030; with the result that the glacier cover between the periods 1970 - 2022 is decreasing with a loss of 23.12 km², which is equivalent to a loss of 32% respectively, presenting an accuracy and a kappa index of 100%, which is indicative that the satellite image agrees with reality, with respect to the temperature presents a trend of increase of 0.03%, while the glacier cover in 2030 will be only 6.7 km², being lower than the periods of analysis between 1970 and 2022. In conclusion, the application of remote sensors (Landsat and Sentinel satellite images) allows the estimation of the glacier coverage of the Allinapac snow-capped mountain.

Keywords: Glacier coverage, snow-capped Allinapac, remote sensing, landsat, sentinel.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Debido a su presencia en el paisaje y a la enorme variedad de geformas que producen, los glaciares se cuentan hoy entre las estructuras geológicas más impresionantes del mundo. También son muy significativos, ya que constituyen una fuente de agua para las comunidades cercanas (Cabrera & Vega, 2022). Sin embargo, debido al aumento constante de la temperatura ocasionado por los GEI (gases de efecto invernadero) creados por el hombre, los glaciares ofrecen problemas de deshielo que desencadenan una serie de acontecimientos que incluyen el agotamiento de las reservas de agua y fenómenos meteorológicos. Estos fenómenos se conocen como cambio climático (Veettil & Ruiz, 2016).

En el mundo el 95% de los glaciares tropicales están en países como Perú, Bolivia, Ecuador y Colombia. Para la década de 1970, su tamaño estimado era de 2.500 km², cifra que ha disminuido desde entonces pero que se distribuye aproximadamente de la siguiente manera: 71% para Perú, 4% para Ecuador, 22% para Bolivia y 3% para Colombia (IPCC, 2007). En los años de El Niño, el retroceso de los glaciares en los Andes peruanos se acelera; en los años de La Niña, su cobertura tiende a crecer o a mantenerse estable (López, y otros, 2017).

Lo más crucial es que la investigación local e internacional pueda ser estandarizada o comparativa, aunque existe un manual reciente para estudios de glaciares. En Perú se han utilizado varios modelos para predecir los impactos, y algunas instituciones de investigación, como las universidades, destacan el uso de Landsat y SAT entre otros (INAIGEM, 2017); pueden proporcionar combinaciones novedosas de



herramientas o metodologías satelitales para maximizar los tiempos de procesamiento y los gastos de investigación. Esto se debe a que, aunque algunas revisiones sistemáticas están desfasadas, la información de los últimos diez años está actualmente muy dispersa, y su actualización es necesaria para apoyar los modelos de predicción a largo y medio plazo.

En el marco del estudio, planteó como principal objetivo la aplicación de sensores remotos para la estimación de la cobertura glaciaria en el nevado Allincapac, localizado en el distrito de Macusani, Carabaya, durante el periodo comprendido entre 1970 y 2022. Para llevar a cabo este estudio, se recopiló información proveniente de diversas fuentes, tales como artículos, libros, sitios web y la descarga de imágenes satelitales Landsat.

La estructura del estudio se compone de cuatro capítulos. En el primer capítulo, se abordan los elementos introductorios, incluyendo los límites del problema de investigación, la formulación del problema, la hipótesis, la justificación, los objetivos logrados y la importancia del estudio. En el segundo capítulo, se profundiza en el tema de investigación, proporcionando antecedentes, desarrollando el marco teórico y definiendo los términos básicos. El tercer capítulo se enfoca en la metodología, ofreciendo detalles sobre la población y la muestra, los procesos, el tratamiento de los datos, como también las técnicas e instrumentos empleados. Con minuciosidad, el cuarto capítulo se detalla las conclusiones derivadas del estudio y la correspondiente discusión. Para concluir, se presentan de manera detallada las conclusiones más significativas y las recomendaciones resultantes del estudio.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los grandes impactos mundialmente que se observó como resultado del cambio climático es el derretimiento de glaciares (Cabrera & Vega, 2022). Todo ello debido a



que los glaciares se encuentran a temperaturas próximas a su estado de fusión bajo condiciones terrestres actuales, en simples palabras se puede considerar que los sistemas de transporte del hielo están relacionados con el cambio climático (Peña, 2015). Causando el deterioro y el retroceso de las masas de hielo del mundo debido a los impactos del cambio climático y a las intervenciones directas e indirectas de los proyectos productivos desarrollados en las regiones de influencia siendo compartida por los científicos y la población en general (Tordocillo, 2011).

Además, Perú alberga el 70% de los glaciares tropicales globalmente, convirtiéndose en la nación más afectada por el cambio climático. La adición de 0.75 °C en los últimos 100 años ha desencadenado, hasta la fecha actual, la disminución progresiva de los glaciares en nuestra cordillera (Serrano, 2018). Las 19 cordilleras del estado de los Andes peruanos han sufrido importantes alteraciones y procesos físicos (como la extinción, fragmentación y retroceso de glaciares) en las últimas décadas, que han provocado una disminución gradual de la superficie total de glaciares en un 42.64% (870.66 km²) (ANA, 2014).

Asimismo, en los glaciares de la región de Puno, particularmente en el glaciar Allincapac; que se ubica en la provincia de Carabaya; no escapa de esta realidad; todo ello debido a que se evidencia la pérdida de su masa glacial a causa principalmente del calentamiento global ocasionado por los gases de efecto invernadero. Así mismo Diaz (2017); realizó estudios de la pérdida de cobertura glaciar a través de imágenes satelitales Landsat; aplicando la metodología de “Índice de Diferencia Normalizada de Nieve” NDSI en el software ENVI; evidenciándose; es por ello que es considerado como el tercer nevado con la mayor tasa de pérdida glaciar en el Perú. Todo ello por el calentamiento global lo cual está alterando significativamente la disponibilidad hídrica que posee dicha masa glacial del nevado Allincapac; generando un riesgo para las poblaciones y



ecosistemas locales que son altamente dependientes de los recursos hídricos emitidos por el nevado; para su subsistencia (Montoya & Fiestas, 2019). Para profundizar en este punto, cabe afirmar que se harán visibles más afloramientos y formaciones ricas en sulfuros a medida que retroceda la masa glaciar del Allincajac nevado. Esto cambiará la composición de las aguas y los arroyos al liberar más metales traza y posiblemente componentes peligrosos.

Además, indicando que en la investigación presente efectúa la aplicación de sensores remotos (Landsat y Sentinel 2A); a través el método de clasificación no controlada para estimar el retroceso glaciar del nevado Allincajac entre los periodos 1970 – 2022. Con el fin de proporcionar los datos necesarios para crear conciencia sobre los problemas de los glaciares en la región de Puno, planeamos originar información cuantitativa utilizando sensores remotos (imágenes de satélite) para identificar y precisar los cambios en la cobertura glaciar del nevado Allincajac en los últimos años. También planeamos proyectar cómo estos cambios pueden continuar en el futuro.

1.1.1. Problema general

¿Cómo es la cobertura glaciar durante del periodo 1970 – 2022, aplicando de sensores remotos en el nevado Allincajac - distrito de Macusani – Carabaya?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿Cuánto es la variación de la cobertura glaciar generado en los últimos 52 años en intervalos de 5 años de 1970 a 2022, según las imágenes satelitales Landsat y Sentinel?
- ¿Cómo es el comportamiento de la temperatura entre los periodos 1970 – 2022, del nevado Allincajac - distrito de Macusani - Carabaya?



- ¿Cuánto es el porcentaje de variación de la cobertura glaciaria para el año 2030 del nevado Allincajac - distrito de Macusani - Carabaya?

1.2. HIPÓTESIS

1.2.1. Hipótesis general

La estimación de la cobertura glaciaria (periodo 1970 - 2022) es posible mediante la aplicación de sensores remotos en el nevado Allincajac - distrito de Macusani – Carabaya.

1.2.2. Hipótesis específicas

- La cobertura glaciaria viene disminuyendo en los últimos 52 años en intervalos de cada 5 años entre los periodos 1970 – 2022 por las imágenes satelitales Landsat y Sentinel
- La temperatura es variable entre los periodos 1970 – 2022 del nevado Allincajac - distrito de Macusani – Carabaya.
- El porcentaje de variación de la cobertura glaciaria para el año 2030 del nevado Allincajac - distrito de Macusani – Carabaya es alto.

1.3. JUSTIFICACIÓN

A medida que la cobertura glaciaria disminuye a escala mundial, se hace cada vez más evidente dónde es más vulnerable -regiones de alta montaña como el nevado Allincajac, por ejemplo. Además, no se han utilizado otros métodos para recopilar datos acerca del fenómeno de retroceso glaciario en el nevado Allincajac; sin embargo, las herramientas de teledetección permiten analizar y cuantificar estas variaciones a lo largo del tiempo.

Las imágenes que se toman son satelitales de diferentes bandas, se hace una observación con imágenes tomadas, vegetal, agua, nevados, expansión urbana entre otros



(Cornelia, 2014). Gracias a estas imágenes se podrá realizar la investigación de glaciares y poder determinar el área de cada año (ANA, 2014).

Además, los glaciares están vinculados al sistema hidrológico local, a su delicado equilibrio y a su codependencia con las características climáticas dominantes; por otra parte, su resistencia se enfrenta a la amenaza de un incremento prolongado de la temperatura global, así como a modificaciones en los patrones de precipitación. Por estas razones, este estudio es sumamente importante.

El propósito de esta investigación es proporcionar un marco teórico para la protección de ecosistemas vulnerables como los glaciares, que son una de las relevantes fuentes de agua para el consumo humano. Esta información despertará inquietudes en futuros investigadores y entidades competentes, permitiéndoles tomar las medidas adecuadas para certificar los derechos de la naturaleza a través de la conservación, restauración y uso sostenible de los recursos naturales en las generaciones presentes y en el futuro.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Aplicar los sensores remotos para la estimación de la cobertura glaciar (periodo 1970 - 2022) del nevado Allincajac - distrito de Macusani – Carabaya.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar la variación de la cobertura glaciar en los últimos 52 años en intervalos de cada 5 años entre los periodos 1970 – 2022, de acuerdo a las imágenes satelitales Landsat y Sentinel.



- Determinar el comportamiento de la temperatura entre los periodos 1970 – 2022, del nevado Allinapac - distrito de Macusani – Carabaya.
- Estimar el porcentaje de variación de la cobertura glaciaria para el año 2030 del nevado Allinapac - distrito de Macusani – Carabaya, 2022.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTE DE LA INVESTIGACION

2.1.1. Internacionales

Cabrera y Vega (2022), efectuó el estudio de análisis del retroceso de los glaciares durante 30 años en el norte de los Andes ecuatorianos mediante teledetección; utilizando imágenes satelitales Landsat (SL) para confirmar cambios en el tiempo en relación a la tendencia del cambio climático y para proyecciones futuras, el autor tomo como objetivo analizar en cuanto cambia el nivel del galciar en Ecuador y cuales fueron las causantes o que fenomenos ocurrieron. La metodologia que utilizo fue el analisis de imganes satelitales, para los cual se utilizo 6 imágenes satelitales WGS84 17N, como primer punto se hizo la correccion geometrica antes se procesarlo, para los calculos se tomo en cuenta las formulas NDSI, para la vectorizacion se utilizo el programa ENVI. Los resultados fueron los siguientes: indice Kappa 1991 tiene un valor de 0.84, 1999 tiene un valor de 0.96, 2002 tiene un valor de 0.94, 2009 tiene un valor de 0.93, 2016 tiene un valor de 0.84, 2017 tiene un valor de 0.98. En la clasificacion supervisada tuvo valores en el nivel 1 nivene 211, roca 2 tiene un valor de nive 2, suelo y vegetacion tiene un valor 0 de nieve. En tanto al retroceso en 1991 la vieve tuvo una dimension de 19.31 km², en el año 1999 tuvo una dimension de 19.31 km², en el año 2002 tuvo una dimension de 16.88 km², en el año 2009 tuvo una dimension de 15.78 km², en el año 2016 tuvo una dimension de 13.76 km², en el año 2017 tuvo una dimension de 13.5 km²,. En conclusion, según los resultados



se concluye que el nevado esta teneindo un retroceso de 30% en un tiempo de 30 años.

Diaz (2021), realizo el trabajo de investigación de retroceso de glaciares en Sierra Nevada de Santa Marta estimado mediante datos Landsat entre 2000 y 2020; con el objetivo de analizar el estado del glaciar en diferentes años, para que despues se pueda preever los accidentes o preveer el agua. La metodologia que se utilizo fue ERGAS ENGINE, este sodware utilizo imágenes lansat 5 y lansat 8. En las cuales se analizo agua, glaciar, afloramiento, arbustal, bosque, nube. Como resultado se obtuvo fueron, que según el sodware el glaciar cada año que pasa esta en decrecimiento su area, según lansat 5 el area del glaciar en el año 2020 es de 873 y en lansat 8 el area fue de 1961. En conclusion, con el estudio que se hizo se puede utilizar para otros rubros como campos que puede ser utilizados para recreacion.

Monterroso, Londoño y Samsonov (2018), para el estudio, se analizo la regrescion que tuvo el glaciar. Para los se utilizaron las formulas para indice de nieve, indice de hielo y nieve, indice de glaciar diferencial, indice de nieve, la metodolgia que se utilizo la clasificacion de pixel, probabilidad, igualmente se utilizo la onda electromagentica, coherencia. Las características de las imnganesla vanda 1 sera espectro azul, vanda 2 sera espectro verde, vanda 3 sera espectro rojo, vanda 4 sera espectro infrarojo, vanda 1 sera espectro aerosol. Los resultados obtenidos en los tres nevados analizados, el primero tuvo un area de 9.47 km², para el segundo 2.35 km² y el ultimo con 1.25 km², en tantos del año 2010 al 2015, en el año 2010 el area reducio desde 9.47, 2.35, 1.25, el 14 de marzo del mismo año se reducio 7.78, 1.32, 0.83, en el tercer mes 7.57, 1.3, 0.82. en conclusion, se determino que en 60 años se reducio 60%.



Brito (2014), para realizar la investigación de analizar el glaciar y los cambios que ha tenido a lo largo de los años, el autor todo como objetivo de analizar desde al año 1997 – 2009, que cambios ha tenido y la delimitación del glaciar. Para el procesamiento de los datos se tomó en cuenta la composición de color, NDSI, clasificación digital. La metodología utilizada fue las imágenes Landsat donde tiene sensores como resolución espectral, resolución radiométrica, ancho de barrido y tamaño de escena. Para la investigación se tomó 7 imágenes Landsat desde el año 1979 hasta el 2009. Para los puntos de control se tomaron 18 puntos donde el total fue RMSE 0.49. Los resultados que se obtuvieron fueron en el año 1979 tuvo una superficie de 20.64 km², 1991 tuvo una superficie de 19.32 km², 1999 tuvo una superficie de 17.94 km², 2002 tuvo una superficie de 16.51 km², 2009 tuvo una superficie de 15.36 km², en tanto a las lenguas glaciares SO 23.96, SE 30.97, NO 14.88, NE 23.22 km². En conclusión, según los resultados se puede deducir que el glaciar en 20 años está teniendo una reducción de 30%.

2.1.2. Nacionales

Sánchez (2021), para poder ver la temperatura o cambios que haya tenido al largo de los años el glaciar, para lo cual el autor tomó como objetivo verificar la temperatura, para lo cual se revisó información de varias fuentes, también se propuso un monitoreo con imágenes Landsat. La metodología que utilizó fue la utilización de imágenes satelitales donde se obtuvieron del programa USGS, para el procesamiento de las imágenes se tomó en cuenta el geotiff, dada tifm sí o no, ráster sin valores, filter low y finalmente ráster relleno. El autor obtuvo 7 imágenes las cuales tuvieron su rango espectral desde 0.452 hasta 2.394. Los resultados fueron los siguientes: canal 1 en el año 1999 glaciar tuvo un valor de 43, agua 20, roca 13, vegetación 9 y suelo 17, canal 1 en el año 1999 glaciar tuvo



un valor de 48, agua 29, roca 15, vegetación 8 y suelo 17, canal 1 en el año 1999 glaciario tuvo un valor de 44, agua 35, roca 16, vegetación 8 y suelo 18, canal 1 en el año 1999 glaciario tuvo un valor de 68, agua 35, roca 13, vegetación 9 y suelo 17, canal 1 en el año 1999 glaciario tuvo un valor de 16, agua 8, roca 18, vegetación 9 y suelo 17, canal 1 en el año 1999 glaciario tuvo un valor de 68, agua 37, roca 22, vegetación 14 y suelo 20, canal 1 en el año 1999 glaciario tuvo un valor de 6, agua 26, roca 1, vegetación 9 y suelo 18. En conclusión, la temperatura que se logró obtener fue de -20 hasta -10.

Flores (2019), realizó el trabajo de investigación de la relación entre las fluctuaciones climáticas en el entorno de Moquegua, el autor se planteó objetivos como determinar el comportamiento de los glaciares y comparar con el cambio climático que vino cambiando hace mucho tiempo, para lo cual también se determinó cuanto de área tiene los glaciares en el transcurso de los años. El método empleado fue de tipo no experimental, el procedimiento que siguió el autor fue como primer punto recolectar información del cambio climático en el SENAMHI, precipitación, temperatura, los datos se analizaron en las 4 estaciones. Los resultados fueron los siguientes: en tanto a las precipitaciones desde el año 1990 hasta el 2018, el mínimo valor de precipitación se observó en el año 1992 con 55.60mm y el máximo valor se observó en el 2011 con 489.50 mm, en tanto a la temperatura tuvo un valor de 0.222 según Pearson. La temperatura en análisis igualmente los mismos años que la precipitación siendo el año 1992 con un mínimo valor de 9.10 °C y el año 2007, 2008 con valores máximos de 10.60 °C. En conclusión, se puede estimar que, en el año 2029, habrá una temperatura 3.37°C y el glaciar tendrá un área de 4.30 km².



Cuadros (2018), para el estudio, se utilizaron los materiales como, cámaras fotográficas, curvas de nivel, imágenes y finalmente el software Arcgis 10.2. Aproximadamente el 70% de los glaciares tropicales de la Tierra están en la Cordillera Blanca. Como en los valles de estos glaciares vive una elevada cantidad de población, las consecuencias del cambio climático sobre ellos poseen influencia significativa en los sistemas sociales, económicos y ecológicos. Utilizando el enfoque AABR, se utilizaron la disminución de superficie y la elevación ELA (Equilibrium Line Altitude) desde 1962 hasta la actualidad para evaluar la pérdida de glaciares en la cuenca del Parón, y se proyectaron tres escenarios futuros. El escenario más preocupante, que prevé la desaparición de la mitad de la superficie glaciar existente, es el número tres. Todos los escenarios parten de la base de que la elevación del ELA y la superficie de los glaciares disminuirán a ritmos diferentes. Teniendo en cuenta la escasez de recursos hídricos, el Parque Nacional Huascarán debería llevar a cabo medidas de adaptación para evitar pérdidas económicas y humanas ante la peor situación.

2.1.3. Regionales

Díaz (2017), el autor se planteó objetivos que ayuden a determinar si los glaciares tienen cambios a lo largo de los años entre 1975 y 2015, para los cuales los materiales que utilizaron fue la recopilación de información las cuales fueron sacados de las imágenes Landsat 2, Landsat. También se tomó en consideración los meses de junio, julio y agosto. Las muestras totales de imágenes fue 6 desde el año 1975, 1985, 1995, 2005 y 2015. La corrección geométrica se hizo con MSS, corrección atmosférica con ENVI. Los resultados que se obtuvo fue el año con más área fue 52.3 km² en el año 1975, el año con menos valor fue 1995 con 20.1 km². En tanto a la temperatura los años de mayor valor fue 1986 igualmente el



fenómeno del niño tuvo un precedente en ese año. En conclusión, según los resultados obtenidos durante 40 años de análisis se determinó que el área de glaciares tiene una pérdida del 67%.

Bulege y Custodio (2020), los datos de temperatura se recopilaban a partir de observaciones realizadas en el Observatorio de Huancayo, ubicado en el distrito de Huachac, provincia de Chupaca, departamento de Junín, a una altitud de 3,313 msnm y coordenadas geográficas de 12° 02' de latitud sur y 75° 19' de longitud oeste. Por otro lado, la información sobre la extensión de la masa glaciar se basó en investigaciones previas realizadas por el Instituto Geofísico del Perú específicamente sobre la Cordillera Huaytapallana. Para abordar los datos faltantes, se empleó un modelo de regresión lineal. Los resultados revelaron un aumento en la temperatura mínima anual en el área de investigación en el período de 1986 a 2016, con valores fluctuantes entre 3,435 y 5,227 °C. Se estima que para el año 2016, la temperatura mínima alcanzó los 4,757 °C. Simultáneamente, se observó una tendencia decreciente en la extensión de la masa glaciar de la Cordillera Huaytapallana durante el mismo período, con una estimación de 11.86 km² para el año 2016. En conclusión, se identificó una relación inversa, moderada y significativa entre el aumento de la mínima T° y el retroceso de la masa glaciar en la cordillera estudiada.

Cuadros (2014), el autor tomó como objetivos determinar cuánto es el cambio de áreas de glaciares en Ananea durante los años 1985 hasta 2010. La metodología utilizada fue el análisis del lugar La Rinconada, otro de los instrumentos fue las imágenes Landsat 5 donde se tomó los sensores, orbita punto, revolución, LN, LO, LS, LE, azimut, elevación del sol, también se tomó en cuenta la precipitación y temperatura. B. los resultados logrados en el área del glaciar, en



el año 1985 tuvo 40 km² y haciendo año a año bajo su área con un porcentaje – 5%, igualmente con las temperaturas tuvo valores que no tenían un cambio brusco y por eso se mantienen los glaciares a lo largo de los años. En conclusión, según el análisis, la predicción para el año 2030 el glaciar poseerá como área de 25.20 km².

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Glaciar

Las masas de nieve compactada y recristalizada que se encuentran en tierra se conocen como glaciares. A razón de que su propio peso y a la fuerza de la gravedad, los glaciares se mueven lentamente (Colque, 2019). Los glaciares se originan mediante el proceso de acumulación y compresión de grandes cantidades de nieve a lo largo de varios años, generando su transformación en hielo. Estos depósitos glaciares se encuentran compuestos por cristales de hielo, nieve, aire, agua y fragmentos rocosos. La formación de glaciares puede tener lugar en cualquier región climática donde la cantidad de nieve acumulada exceda la tasa de fusión, aunque es más común encontrarlos en áreas de elevada altitud, latitudes elevadas y a lo largo de los márgenes occidentales de los continentes (Abadi & Agarwal, 2016).

La dinámica de un glaciar se encuentra gobernada de manera fundamental por los procedimientos siguientes (Avery, Mullet, & Wang, 2018):

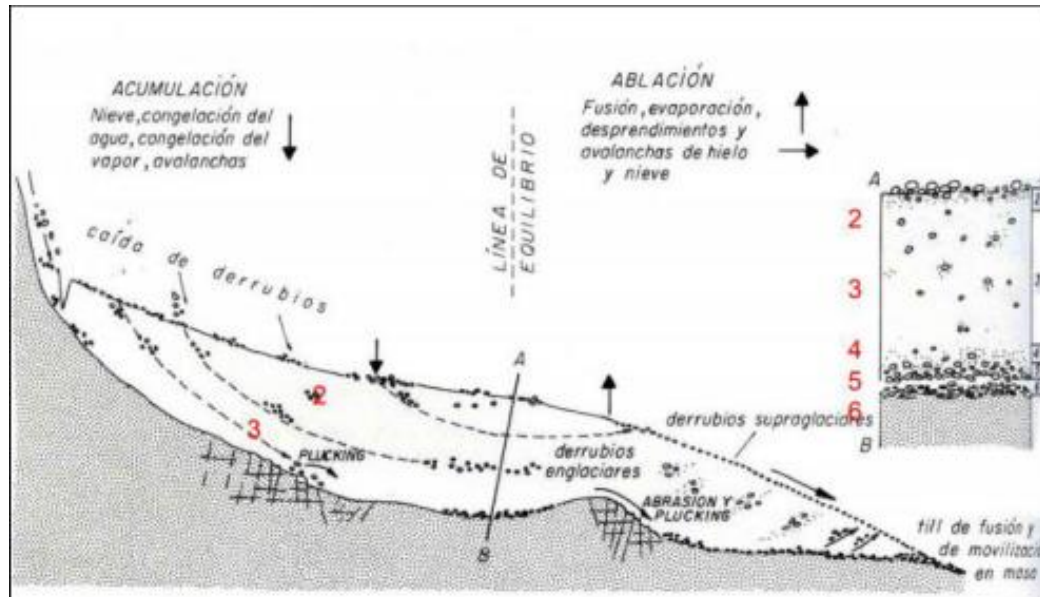
- Acumulación de hielo y nieve en las regiones más altas del glaciar.
- Esta masa de hielo cae a la parte más baja del glaciar.
- La ablación del hielo.

- Proceso por el que el hielo se derrite o el agua evaporada es arrastrada por la atmósfera para crear torrentes de agua.

Todos los mecanismos que dan lugar a un incremento localizado de la masa glaciaria se denominan acumulación. Una vez que la nieve se ha acumulado, se convierte en ventisqueros, o nieve vieja y compactada, y finalmente se transforma en hielo. Cualquier fenómeno que provoque una pérdida local de masa glaciaria se denomina ablación. La masa se desplaza lentamente de la zona de acumulación a la de ablación porque, en condiciones estables, los glaciares tienden a equilibrar la aglomeración y la ablación de su masa (European Space Agency, 2019).

Figura 1

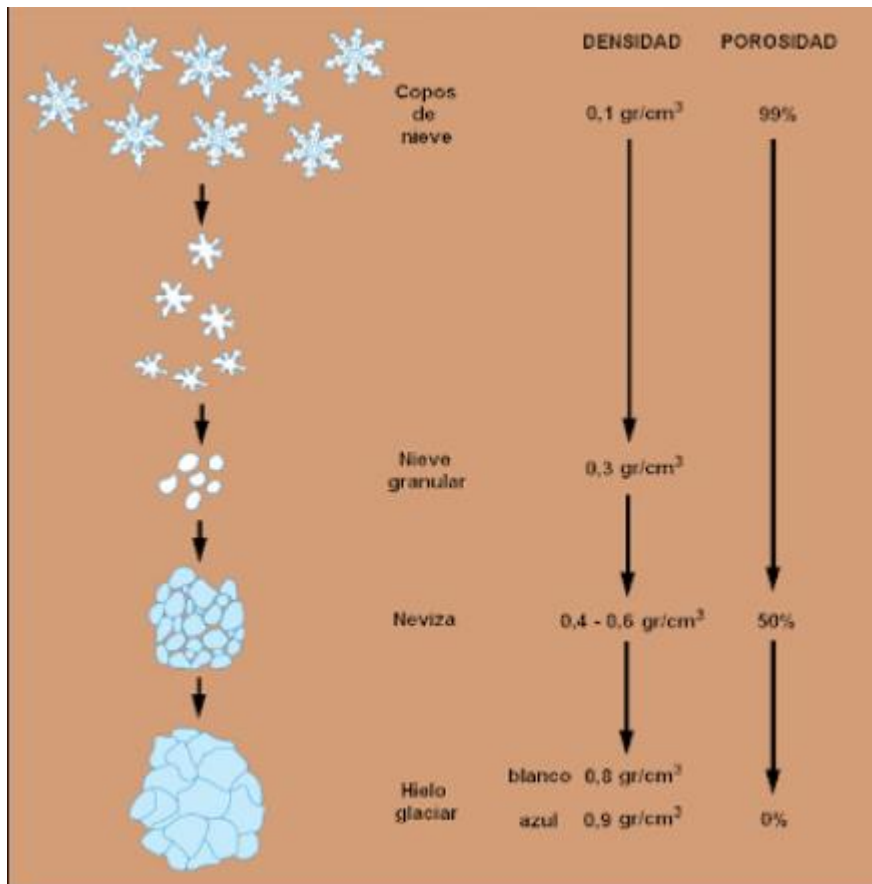
Balance de masa glaciaria



Fuente: Flores (2019)

Figura 2

Formación de hielo glaciar



Fuente: Brito (2014)

2.2.1.1. Tipos de glaciar

Monterroso, Londoño y Samsonov (2018), sugieren que los glaciares pueden clasificarse de la siguiente manera con base en la zona climática en la que están y otras variables que incluyen el tipo de radiación solar incidente y la forma en que la humedad es transportada por la circulación atmosférica.

- **Laguna glaciar.** Dos perspectivas -la glaciación y el agua de deshielo- son la base de un lago glaciar. Es posible caracterizar un lago glaciar como una masa de agua natural alimentada de forma principal por el

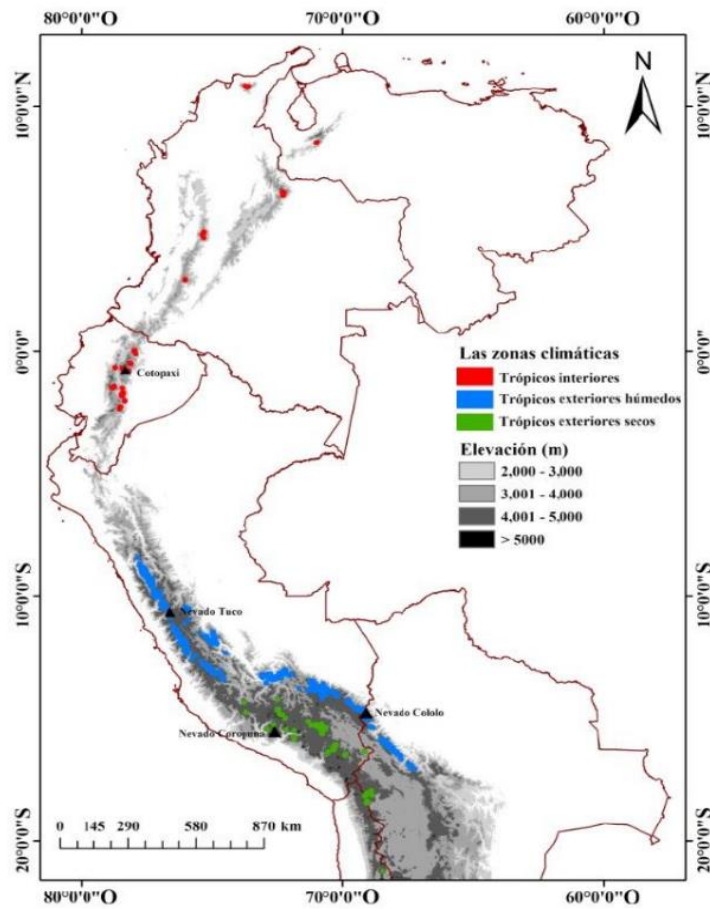


agua de deshielo de los glaciares (Yao & Liu, 2018); estos podrían constituirse en una variedad de situaciones distintas. Los lagos preglaciares son lagos glaciares situados frente a un borde glaciar o producidos donde el hielo enterrado se fundió, creando una depresión de fusión. Los lagos marginales son los que están bloqueados por glaciares en valles sin hielo (Huddart & Stott, 2010). Los lagos glaciares intervienen en el ciclo de las catástrofes de montaña, además de estar directamente con relación al cambio climático y el movimiento de los glaciares. Por ello, los gobiernos y varios científicos se han interesado más por los lagos glaciares (Yao & Liu, 2018); en la actualidad no existe ninguna norma internacional reconocida para la categorización de los lagos glaciares. Diversas organizaciones y estudiosos han sugerido distintos esquemas de categorización para los lagos glaciares en función de sus objetivos de estudio individuales (Yao & Liu, 2018).

- **Glaciares andinos tropicales.** Que se basa en las características de las precipitaciones y en la ubicación geográfica, la zona tropical de América del Sur puede dividirse en dos subzonas: el trópico exterior (Perú, Bolivia y norte de Chile), donde la estación lluviosa que se ocasiona de octubre a marzo con predominio de las condiciones tropicales, y el trópico interior (Venezuela, Colombia y Ecuador), donde la acumulación de glaciares se producen de forma simultánea durante todo el año sin estacionalidad de las precipitaciones (Veettil & Pereira, 2016).

Figura 3

Distribución de los glaciares en los andes tropicales.



Fuente: Veettil y Pereira (2016).

La reducción media de los glaciares tropicales andinos en Perú ha sido del 53.56% a lo largo de los años desde el año 1969 (INAIGEM, 2017).

Tabla 1*Cantidad y superficie de glaciares por cordilleras y altitudes*

N°	Cordillera	Cantidad	Superficie	Año	Altitud máxima	Altitud mínima
		N°	km ²		msnm	msnm
1	Blanca	755	527.62	2003	6701	4249
2	Huallanca	43	7.01	2007	5300	4750
3	Huayhuash	144	55.27	2007	6617	4303
4	Raura	102	28.34	2007	5401	4620
5	Huagoruncho	41	9.71	2009	5719	4624
6	La Viuda	65	6.03	2007	5406	4892
7	Central	174	51.91	2007	5888	4713
8	Huaytapallana	105	26.40	2009	5555	4532
9	Chonta	29	1.40	2009	5272	4923
10	Ampato	65	60.96	2010	6374	5044
11	Urubamba	117	26.39	2009	5800	4413
12	Vilcapaza	355	129.15	2009	6200	4187
13	Huanzo	31	4.51	2010	5445	5065
14	Chila	22	0.93	2010	5855	5224
15	La Raya	25	3.06	2010	5468	5107
16	Vilcanota	374	279.40	2009	6364	4592
17	Carabaya	148	34.53	2009	5804	4676
18	Apolobamba	69	45.25	2010	6000	4835
19	Volcanica	15	0.72	2009	6055	5548
Total		2679	1298.59			

Fuente: ANA (2014).

2.2.1.2. Retroceso glaciar

Aunque las distintas masas de hielo reaccionan al cambio climático de manera diferente, todas tienden a retroceder, lo que provoca que los glaciares se encojan y pierdan masa frente a ellos. La inferior línea de nieve continua de montaña alta asciende a altitudes nuevamente mayores durante



el retroceso de los glaciares, con frecuencia hasta desaparecer debido al deshielo.

Excluyendo las aguas subterráneas, en tiempos actuales, los glaciares en la superficie terrestre abarcan un 10% y constituyen el 80% de los recursos de agua dulce del planeta. Según la tendencia de retroceso vinculada al aumento de las temperaturas, se estima que la mitad de los glaciares situados en zonas montañosas podría extinguirse para el año 2100 (Cortés, 2013). La "Variación estadística del estado medio del clima o de su variabilidad que perdura en un extenso periodo (decenios o más)" es la definición de cambio climático proporcionada (se asume que se está citando a un autor específico, pero no se proporciona el nombre completo) (IPCC, 2007). Podría ser el resultado de modificaciones humanas duraderas de la composición de la atmósfera o del uso de la tierra, de procesos internos naturales, de variaciones en el forzamiento externo, o de ambos. La existencia de morrenas es un indicador de que una región ha experimentado un retroceso glaciar. Grandes ríos de hielo, conocidos como glaciares, fluyen y arrastran diversos tipos de rocas y tierra acumuladas.

El material (roca y tierra) que deja tras de sí un glaciar en retirada se denomina morrena. El proceso conocido como glaciación es la forma en que los glaciares esculpen el terreno. Durante miles de años, el suelo, las rocas y el agua de una región pueden verse afectados por la glaciación; como resultado, pueden surgir antiguas morrenas.



Las morrenas pueden clasificarse en muchas categorías en función de la ubicación del material que se deposita cerca del glaciar en retirada, la dinámica del glaciar y su forma. 1) Morrenas mediales: se constituyen entre 2 glaciares que están, 2) Morrenas laterales: se constituyen a lo largo de los bordes de un glaciar, Los tres tipos de morrenas son: 3) supra glaciares, que se encuentran en la superficie del glaciar; 4) de fondo, que se desarrollan en la base del glaciar y se asemejan a sábanas de tierra verde; y 5) terminales, que se forman en el frente del glaciar que antes existía y muestran la dirección en la que fluía el glaciar (Cogley & Hock, 2011).

La teledetección espacial es uno de los numerosos enfoques utilizados para analizar esta variación en la cobertura de los glaciares.

2.2.1.3. Impactos del cambio climático en los glaciares

Desde que terminó la Pequeña Edad de Hielo, alrededor de 1850, los glaciares de todo el planeta han ido retrocediendo (Fernandez, 2014). Todo esto tiene como consecuencia el cambio del mismo clima realizadas por la mano del hombre, sobre todo en las latitudes tropicales, este proceso ha ido aumentando a un ritmo nunca visto en las últimas décadas. Las temperaturas aumentarán al menos entre 1 °C y 2 °C a finales del siglo XXI, según las previsiones del IPCC en su informe de 2014. Este análisis también sugiere que casi todos los glaciares de la Tierra podrían desaparecer debido a aumentos de temperatura de 4 °C (IPCC, 2014).

Mientras que los glaciares retroceden en otras partes del planeta, en los Andes tropicales este retroceso va acompañado de una elevada densidad humana y un suministro limitado de agua (Huss, 2015),



estableciendo una necesidad inminente de originar conciencia y fortificar la gestión del recurso. Los hábitats altoandinos, como los páramos y los bosques nubosos, se ven afectados por la pérdida de masa glaciar, que también provoca una disminución de la cantidad de agua de escorrentía (Bury & Mark, 2013).

Bogotá es una de las varias ciudades andinas donde los páramos suministran agua potable. Además, Cuadros (2014), señala que los humedales altoandinos sin un suministro constante de agua corren el peligro de fragmentarse y perder su biodiversidad, como ha demostrado anteriormente el valle de Quilcayhuanca en Perú (Caballero & Espinal, 2021).

El retroceso de los glaciares repercute en los ecosistemas, pero también afecta al suministro de la industria hidroeléctrica, disminuyendo su eficacia debido a la reducción de la producción de agua (Cuadro, 2018).

La creación de lagos glaciares es otro problema asociado al retroceso de los glaciares. El glaciar Artesonraju viene retrocediendo en la quebrada Parón, en la Cordillera Blanca, Huaraz, desde hace cuarenta años. Según Rabat y Francou (2013), esto equivale a 0.6 metros de agua equivalente por año, o un 30% de pérdida de masa glaciar. El resultado ha sido la formación de una nueva laguna glaciar, que está rodeada de roca suelta y bloques de hielo, lo que la hace susceptible a los deslizamientos de tierra. La más grande laguna de la Cordillera Blanca, la laguna Parón, es una de las dos lagunas que ya existen por encima de ésta. Por ello, supone un riesgo en caso de avalanchas o desprendimientos provocados



por un mayor deshielo en las proximidades (Cuadro, 2018). Por otra parte, el turismo de montaña de media y gran altitud se ve afectado por el retroceso de los glaciares, además del valor paisajístico que ofrecen. El glaciar Pastoruri, que fue un destino turístico muy apreciado en los años noventa por visitantes nacionales y extranjeros, es un reflejo de ello. Sin embargo, la pérdida de masa glaciar ha reducido el valor paisajístico de la zona y ha disminuido significativamente el número de turistas, lo que repercute en la estabilidad financiera del Parque Nacional Huascarán (Cuadro, 2018).

2.2.2. Imagen satelital

Como ya se ha dicho, un sensor situado en una estación espacial a más kilómetros por encima de la superficie del planeta detecta la radiación electromagnética. Durante su vida útil, la plataforma espacial vigila o escanea una franja de terreno, se orienta hacia un punto en un momento determinado y durante un periodo de tiempo, sigue una trayectoria y repite estas operaciones cada poca hora (Brito, 2014).

Estas señales son captadas por los sensores del sistema, que las encuentran en distintas bandas del espectro electromagnético y las convierten en una gama de valores en escala de grises. En el caso de LANDSAT, el rango varía en función del sensor: para el sensor MSS, va de 0 (negro) a 64 (blanco); para los sensores TM y +ETM, va de 0 a 255; y para los sensores TIRS y OLI, va de 0 a 4096. Cada valor tiene una correspondencia píxel a píxel y se denomina nivel o número digital (ND) (Brito, 2014).



2.2.2.1. Sensor Landsat

El Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) y la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA) supervisan conjuntamente el programa Landsat. Con una resolución espacial máxima de 15 metros por píxel, se compone de una constelación de satélites de observación de la Tierra que llevan funcionando ininterrumpidamente desde los años setenta. Desde entonces, los satélites proporcionan imágenes en modo continuo, captando imágenes en 12 bandas diferentes. Las fotos tienen una resolución temporal de 16 días; según Espinosa (2022).

- Julio de 1970: enero de 1978 para Landsat 1
- Enero de 1975: febrero de 1982 para Landsat 2.
- Marzo de 1978: marzo de 1983 para Landsat 3
- Julio de 1982: diciembre de 1993 Landsat 4
- Landsat 5: enero de 1984 - enero de 2013
- Landsat 7: enero de 1999 - Actualidad
- Landsat 8: abril de 2013 - Presente

Las peculiaridades de las bandas espectrales de los equipos Landsat TM, MSS, OLI y TIRS están relacionadas con los distintos tipos de instrumentos disponibles para obtener información más precisa y detallada sobre la superficie terrestre. El Sensor de Barrido Multiespectral (MSS) fue el instrumento inicial utilizado, y después el Mapeador Temático (TM), y el Mapeador Temático Mejorado Plus (ETM+). Con LANDAT 8

se añadieron el sensor infrarrojo térmico (TIRS) y el generador de imágenes terrestres operativas (OLI), como indica Espinosa (2022).

Sus usos abarcan una amplia gama de sectores, como la gestión de recursos, la agricultura, la calidad del agua y la detección de cambios en todo el mundo. Con una resolución temporal de 16 días, el instrumento MSS tiene una resolución espacial de 60 m, mientras que el TM tiene una resolución espacial de 30 m. El satélite Landsat 7 se utiliza con este tipo de sensor, y las imágenes se componen de ocho bandas espectrales (Bandas 1 a 7) con una resolución espacial de 30 metros. La banda 8 (pancromática) tiene una resolución de 15 metros. Tiene una resolución temporal de 16 días. Cada escenario tiene una longitud aproximada de 170 km de norte a sur y de 183 km de este a oeste, según GIS&BEERS (2020).

Tabla 2

Descripción de la imagen Landsat 7 – ETM+

Landsat 7	Sensor	Longitud de Onda (pm)	Resolución Especial (M)	Resolución Radiométrica
1-Azul	ETM	0.45 – 0.52	30	8 bits
2-Verde	ETM	0.52 – 0.60	30	8 bits
3-Rojo	ETM	0.63 – 0.69	30	8 bits
4-Infrarrojo Cercano (NIR)	ETM	0.76 – 0.90	30	8 bits
5-Onda corta infrarroja (SWIR)1	ETM	1.55 – 1.75	30	8 bits
6_1- Térmica-Baja ganancia	ETM	10.40 –12.50	60*(30)	8 bits
6-2 – Térmica-Alta ganancia	ETM	10.40– 12.50	61*(30)	8 bits
7 – Onda corta infrarroja (SWIR)2	ETM	2.08 – 2.35	30	8 bits
8 - Pancromática	ETM+	0.52 – 0.90	60	8 bits

Fuente: GIS&BEERS (2020).

* ETM: Mapeador mejorado para temas. Basado en una adaptación del Servicio Geológico de Estados Unidos de 2020 (GIS&BEERS, (2020).



Brito (2014), para poder hacer el análisis, mucho dependerá de las características de la imagen las cuales son:

- El tamaño del píxel y la resolución espacial están relacionados. El detalle de la superficie observada aumenta al disminuir el tamaño del píxel y está correlacionado con la escala de trabajo. Como sólo puede diferenciar entre regiones mayores que el tamaño del píxel, es crucial para la investigación de los cambios en la cobertura.
- El número de bandas o rango de longitudes de onda en que el sensor registra la energía de la superficie se conoce como resolución espectral; cuantas más bandas tenga un sensor, más sencillo será caracterizar las características espectrales de las distintas coberturas.
- El tiempo que tarda el sensor en adquirir una imagen de satélite de la misma zona geográfica se conoce como resolución temporal, y en ella influyen la inclinación de la plataforma, la velocidad y la altura, además del ángulo de observación y la amplitud de barrido del sensor. La resolución temporal del satélite es crucial para la detección de los cambios de cobertura, ya que influye tanto en la duración de los impactos del fenómeno, que puede durar varios años o sólo unas horas, como en el ritmo al que se produce.
- La capacidad de un sensor para identificar cambios en la radiancia espectral se conoce como resolución radiométrica. Estas variaciones se convierten en números digitales, que son útiles en la categorización digital, como se ha mencionado anteriormente.

El sensor recoge todos estos datos, que luego se envían a un sistema receptor para procesarlos y guardarlos en un formato de imagen digital



junto con los metadatos asociados. Los metadatos de imagen son datos sobre la imagen que ayudan a comprender sus restricciones de uso. Las imágenes se someterán a preprocesamiento y tratamiento en cuanto se comprendan estas restricciones. Utilizando el SIG, estas intervenciones serán objeto de un examen digital y visual (Cabrera & Vega, 2022).

Un SIG es un sistema de información diseñado para capturar, gestionar, manipular, analizar, modelizar y representar datos georreferenciados con un objetivo específico. Consta de hardware, paquetes de software y métodos. Dado que tanto los SIG como la teledetección analizan información que tiene un componente espacial, están íntimamente relacionados (Chuvieco, 1990). Existen diferentes tipos de programas informáticos comerciales o gratuitos, como IDRISI, ERDAS, ILWIS o ENVI, especializados en la gestión de datos multidimensionales y su visualización. Estos programas se distinguen entre sí porque incluyen funciones adaptadas al tratamiento de datos geográficos o territoriales (Díaz R. , 2017).

2.2.2.2. Satélite Sentinel

Las misiones Sentinel-2 y Sentinel-3 forman parte del programa Copernicus de la ESA (European Space Agency) y están destinadas a recoger datos sobre la temperatura de la superficie, además de otros requisitos operativos. Sentinel-2 es una misión multispectral de alta resolución en órbita polar cuyo objetivo es vigilar la superficie de la Tierra examinando, entre otras cosas, la cantidad de cubierta vegetal, el uso del suelo y del agua y las zonas costeras. El lanzamiento de Sentinel-3B está



previsto para 2018, mientras que Sentinel-3A se lanzó el 16 de febrero de 2016. Durante el periodo de revisita de ambos satélites, pasarán menos de dos días entre el sensor OLCI y el sensor SLSTR (Radiómetro de Temperatura de la Superficie Terrestre y del Mar). Este último es un radiómetro destinado a medir las temperaturas superficiales tanto de la tierra como del agua. Realiza las siguientes mediciones en nueve bandas espectrales (550-12.000 nm), tal como indica Fernández (2018).

- La temperatura de la superficie,
- El color del mar
- La superficie terrestre con una precisión de 1 km;
- La temperatura marina,
- El vapor de agua
- El contenido de agua de las nubes
- La radiación térmica irradiada por la Tierra se mide con una precisión superior a 0.3 K.

Este sensor es bien conocido por tener una gran resolución espectral, particularmente en las bandas del infrarrojo medio y cercano. Donde realiza un Análisis de Componentes Principales (ACP), que consiste en sintetizar las bandas originales en nuevas bandas no correlacionadas, para obtener una síntesis con la máxima información espectral y radiométrica posible. Esto facilita la determinación de rasgos o tendencias en la zona, tanto visual como numéricamente, según Valenzuela (2020).



2.2.2.3. Preprocesamiento de imágenes satelitales

El preprocesamiento definido como el conjunto de acciones que se destinan a corregir las imágenes satelitales provenientes de diversos sensores mediante la pre interpretación. Su propósito es eliminar las distorsiones generadas por factores como la plataforma satelital, la rotación de la Tierra, el sensor y la atmósfera. La realización de ajustes específicos por parte de los receptores dependerá de los objetivos de la encuesta; en algunos casos, estos ajustes son necesarios, mientras que, en otros, la información detallada de la imagen es suficiente. Estas modificaciones facilitan la obtención de coordenadas geográficas, asegurando su comparación utilizando la misma unidad de medida. Dichas coordenadas son esenciales para evaluar la precisión de los resultados del procesamiento, requisito fundamental para llevar a cabo una corrección radiométrica y geométrica eficaz (Brito, 2014).

a) Corrección geométrica

Los errores de corrección sistemática o de otro tipo pueden corregirse ajustando la ubicación de los píxeles de la imagen (Caballero & Espinal, 2021). Es imperativo que todas las imágenes se encuentren en un estado actualizado, ya que resulta fundamental poder realizar comparaciones entre distintos períodos utilizando una unidad de medida consistente. Con el fin de asegurar un error de comparación que no exceda el 10%, se requiere una precisión en el ajuste geométrico que sea superior a 0.2 píxeles y, a su vez, inferior a 1 píxel. Las áreas calculadas a partir de



estas imágenes sugerirían cambios que podrían no existir si las fotografías no hubieran sido sometidas a dicho ajuste geométrico.

Para llevar a cabo la corrección geométrica, es necesario reunir un conjunto de puntos de control a partir de los datos cartográficos básicos o de una imagen adicional de gran precisión geométrica. Los puntos se extirpan de los datos de referencia, dependiendo de la resolución de la imagen, entre ésta y la imagen ajustada, centrándose en elementos comunes como edificios, carreteras y elementos hidrológicos (Flores, 2019).

b) Corrección geométrica

Esta estrategia implica la alteración de los valores digitales iniciales para considerar las distorsiones ocasionadas por la interacción atmosférica, principalmente debido a la presencia de partículas que perjudican la señal que se registra, así como los problemas radiométricos derivados de posibles fallos en los sensores. El objetivo es asignarles valores óptimos dentro del mismo rango espectral que deberían poseer, corrigiendo de esta manera las irregularidades originadas por factores atmosféricos o de funcionamiento de los sensores. Cuando un sensor funciona mal, se produce un stripping, que afecta a los valores de los píxeles en una o varias bandas espectrales y es visible en la imagen del satélite (Flores, 2019). En función de las anomalías concretas detectadas en las imágenes de satélite, pueden adoptarse las siguientes medidas: restaurar las líneas o píxeles que faltan, corregir el banding de la imagen,



corregir la distorsión atmosférica o convertir las magnitudes digitales en características físicas (Brito, 2014).

Como el objetivo en este caso contiene áreas altamente reflectivas como nieve y glaciares, se determinó realizar una corrección atmosférica utilizando el método de Sustracción de Objetos Oscuros (DOS) descrito por Brito (2014). Este método consiste en corregir el histograma de la imagen satelital determinando sus valores mínimos o desplazado cada banda de la imagen, teniendo en cuenta que los cuerpos con absorptividad mayor, como el agua o las sombras, tienen radiancias espectrales muy cercanas a cero y se ven perjudicados por la interacción de la atmósfera. Los demás píxeles se modifican restando este valor y ajustando por la interacción atmosférica que influye en dichos valores en cada banda. Este mínimo valor debe eliminarse del valor original poniendo a cero el valor en el origen del histograma (Giraldo & Vasquez, 2020).

2.2.2.4. Procesamiento

Las imágenes de satélite de varias fechas se modifican y sus valores digitales originales se homogeneizan para su procesamiento una vez realizadas las modificaciones descritas. Por procesamiento se entienden todos los métodos utilizados para modificar los datos de las fotos de satélite analizadas con el fin de lograr un resultado deseado para la posterior interpretación de las imágenes (Brito, 2014).

El mejor método será el que permita evitar, o minimizar en gran medida, errores como la comisión (falsa alarma) y la omisión (falta de información), produciendo al mismo tiempo buenos resultados (Flores,

2019). Cabe señalar que no se utilizaron ajustes ni filtros en las fotos de este estudio de caso, ya que la cubierta examinada, formada por nieve y glaciares, tiene una alta reflectancia uniforme en todo el espectro electromagnético. Cuando se realiza una clasificación digital, su aplicación es inconveniente, ya que altera los datos originales de los números digitales, produciendo una nueva imagen de salida que con frecuencia mejora el análisis visual y digital (Peña, 2015).

2.2.3. Índice de normalización diferencial de nieve (NDSI)

La cubierta de nieve y glaciares debe distinguirse de otras cubiertas y de las nubes, y deben tenerse en cuenta los efectos de la atmósfera y de la superficie terrestre a la hora de cartografiar o estimar sus respectivas cantidades. NDSI compara la información espectral de dos bandas y produce un resultado que permite lograr esta discriminación en forma de una banda diferente. Aquí se muestra una comparación entre una banda del espectro visible (Banda 2) y una banda del infrarrojo medio (Banda 5). La nieve es muy reflectante en el espectro visible (la banda 1 puede utilizarse para diferenciarse de la nieve en zonas de sombra), más absorbente en el infrarrojo cercano y se distingue automáticamente de las nubes en el rango del infrarrojo medio de 1.55 a 1.75 micrómetros (las nubes son más brillantes que la nieve). La ecuación (1) puede utilizarse para calcular el índice teniendo en cuenta los valores de reflectividad aparente (R_p) de cada banda (Brito, 2014):

$$NDSI = \frac{RpBanda\ 2 - RpBanda\ 5}{RpBanda\ 2 + RpBanda\ 5}$$

Cada píxel cuyo valor supera el umbral de 0.4 indica que la región de ese píxel está cubierta por nieve o glaciares (Fernandez, 2014). Sin embargo, diversos



autores utilizan de forma directa los números digitales de la imagen, debe haber una traducción previa de los números digitales a las reflectividades. Si no se pretende dar un valor físico a los hallazgos, la valoración será subjetiva, pero se conservará la idea básica del cálculo (Yao & Liu, 2018).

2.2.4. Sistemas de información geográfica (SIG) y la cobertura vegetal

Se conceptualizan como la convergencia de datos en formato digital y aplicaciones informáticas especializadas destinadas a su análisis con propósitos específicos. En este contexto, la información se encuentra georreferenciada, lo que implica que incluye su posición espacial. Esta definición es atribuida a Navarrete y Mejía (2018).

El SIG es un sistema que te ayuda a estudiar la geografía satelitalmente, donde de acuerdo a las características se puede analizar la vegetación, tierras, tipos de suelos, entre otros (De la Cruz & Gamarra, 2021).

El (SIG) está formado por varios componentes. El núcleo del proceso de análisis territorial digital es el hardware y el software, que incluye el ordenador y sus dispositivos periféricos de entrada y salida. El segundo componente es un conjunto de procesos que se realizan a través de una serie de algoritmos y modelos que se ejecutan en programas. Estos programas utilizan la información y la representan en datos geográficos, de tipo vectorial, que es la georreferenciación expresada en puntos, líneas y polígonos, y ráster, que corresponde a imágenes de satélite y fotografías aéreas.

2.2.4.1. Proyección de la cobertura glaciar

A través de implementar un modelo empírico que describe los fenómenos naturales de transformación de la vegetación en el período

estimado, la proyección tiene como finalidad identificar las áreas más susceptibles a los impactos de los procesos de conversión de ecosistemas. Es esencial destacar que el propósito de esta proyección consiste en proporcionar información detallada sobre dimensiones, composición, expansión y distribución de la población, así como sus características económicas, sociales y demográficas. Estos datos servirán como fundamento para formular planes de desarrollo integral y la instauración de iniciativas y programas tanto por parte de entidades gubernamentales como del sector privado (Rosales, 2017).

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

2.3.1. Cobertura glaciar

Situados en tierra firme, los glaciares son masas de hielo compactada y recristalizada que se desplazan lentamente bajo la influencia de la gravedad y de su propio peso (Colque, 2019).

2.3.2. Dinámica glaciar

El clima de la zona donde se encuentran los glaciares influye en su tamaño. El balance glaciar es el equilibrio entre la cantidad de material que se funde en la base y la que se acumula en la cima (Colque, 2019).

2.3.3. Índice Diferencial Normalizado de Nieve (NDSI)

La magnitud relativa de la distinción reflectancia entre las regiones a simple vista (verde) e infrarroja de onda corta (SWIR) del espectro se mide mediante el índice NDSI. Regula la variación de 2 bandas (una en la porción visible del espectro y otra en el infrarrojo cercano o infrarrojo de onda corta). Esto es útil para cartografiar las nevadas (Rosales, 2017).



2.3.4. Imágenes satelitales

Los satélites dedicados a la observación de recursos naturales están equipados con una variedad de sensores diseñados para capturar la radiación solar reflejada por diversas áreas de la superficie terrestre. Esta radiación se descompone en diferentes bandas del espectro electromagnético. Estos satélites operan a una altitud de aproximadamente 700 km en una órbita de tipo norte-sur. A medida que avanzan en su órbita, los satélites registran líneas de componentes minúsculos que, cuando se disponen en conjunto, generan imágenes conocidas como imágenes de satélite (Córdova & Sánchez, 2020).

2.3.5. Sistemas de información geográfica (SIG)

Recopilación, almacenamiento, procesamiento y análisis de datos asistidos por ordenador; las bandas que tiene desde 1 hasta la banda 8 (Pozo, 2018).

CAPÍTULO III

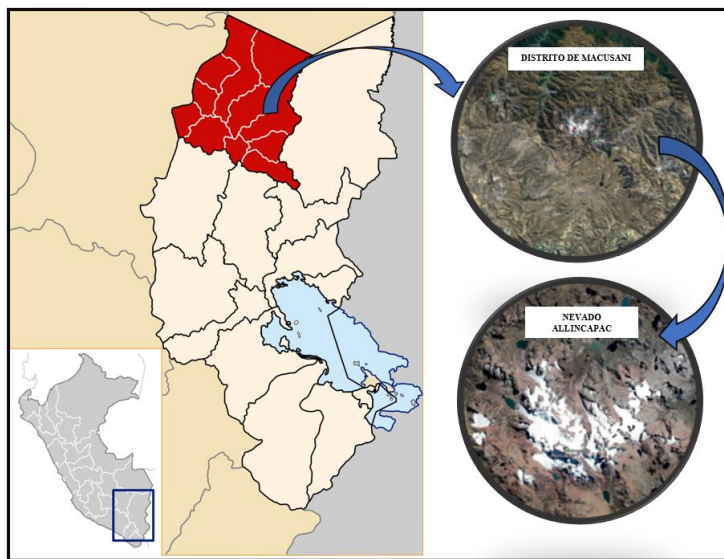
MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ZONA DE ESTUDIO

La investigación se encuentra localizado en el nevado Allincapac; situada en el distrito de Macusani, de la provincia de Carabaya; del departamento de Puno, con Coordenadas Geográficas, Latitud: 13°54'11.98"S Longitud: 70°24'48.47"O, con altitud de 5359 m.s.n.m.

Figura 4

Mapa de ubicación de la región de Puno



Fuente: Elaboración propia

3.1.1. Límites

El nevado Allincapac, del distrito de Macusani; viene limitando por el norte con el distrito de Ollachea y Carabaya, por el sur con la provincia de Melgar, por el este con los distritos de Ajoyani y Ituata y por el oeste con el distrito de Corani.

3.1.2. Vías de comunicación y accesibilidad

Se realiza a través de las siguientes vías de comunicación y accesibilidad

(Nevad Allincapac):

Tabla 3

Vías de comunicación y accesibilidad al área en estudio

Partida	Fin	Distancia	Tiempo	Tipo de vía	Medio de transporte
Juliaca	Azángaro	75.3 km	1:10 h	Carretera asfaltada	Bus/Automóvil
Azángaro	San Antón	55.60 km	0:49 h	Carretera asfaltada	Bus/Automóvil
San Antón	Macusani	81.1 km	1:13 h	Carretera asfaltada	Bus/Automóvil
Macusani	Nevado Allincapac	20.5 km	0:30 h	Trocha carrozable	Automóvil

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Es aplicativo por que se busca aplicar los conocimientos para proyectar el retroceso glacial para un escenario futuro; siendo en este caso para el año 2030.

Los estudios aplicativos se centran en aplicar los conocimientos de las teorías generales en la realidad, la cual ayuda a resolver las necesidades que aborda la sociedad (Baena, 2017).

El diseño es no experimental, pues se tomarán en cuenta las variables, de acuerdo a el estado actual se podrá pronosticar cuanto de área tendrá más adelante, así mismo, se analizarán las bandas de las imágenes satelitales (Hernández & Mendoza, 2018).



3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

a) Técnicas

Las técnicas relevantes para la recopilación de datos, para emplearlas en la investigación es la observación, ya que se efectuó la fotointerpretación mediante imágenes satelitales Landsat y Sentinel de la cobertura glacial del nevado Allincapac cada cinco años desde el año 1970 al 2022; para posteriormente realizar la proyección al año 2030. También se tendrá en cuenta la revisión bibliográfica.

b) Instrumentos

El instrumento que utilizó es la ficha de observación para la recopilación de información aplicando los Softwares Microsoft Office, Microsoft Excel, QGIS 3.26 y ArcGIS 10.5.

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1. Población

En población, se efectuó con las imágenes satelitales del nevado Allincapac del distrito de Macusani, provincia de Carabaya, con el periodo de 1970 al 2022

3.4.2. Muestra.

En la muestra se tomó diez (10) imágenes satelitales del nevado Allincapac con un periodo del 1970 al 2022 en la cual se consideró cada cinco años (1970 – 1985- 1990- 1995-2000-2005-2010-2015-2020-2022).

Teniendo en cuenta que cuyos resultados del presente trabajo de investigación, remite información relevante sobre la cobertura glaciaria actual y futura; para que las autoridades competentes tomen las respectivas acciones del



caso, a este estudio; se ha considerado que la muestra sea la misma especificada que la población, siendo en este caso el nevado Allinapac del distrito de Macusani, provincia de Carabaya.

3.5. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

Para alcanzar los objetivos del estudio se utilizó un enfoque metodológico que implicaba recopilar el material necesario de muchas fuentes, incluidos libros, publicaciones académicas, sitios web, tesis, etc.

3.5.1. Determinar la variación de la cobertura glaciar en los últimos 52 años en intervalos de cada 5 años de 1970 a 2022, de acuerdo a las imágenes satelitales Landsat y Sentinel

La cobertura glaciar generado entre los periodos 1970 – 2022, del nevado Allinapac; se descargó imágenes satelitales cada 5 años; de las cuales aplicó el siguiente procedimiento.

a) Descarga de imágenes satelitales

Se descargo imágenes satelitales LANDSAT del sitio web EarthExplorer del Servicio Geológico de los Estados unidos (USGS) un total de 10 imágenes. Así mismo las imágenes satelitales Sentinel – 2A del sitio web ESA COPERNICUS; para la determinación de la baja nubosidad, temporadas de estiaje, se consideraron los datos de 1997-2022, esto se recopilo de cada 5 años, un total de 7 imágenes satelitales.

Tabla 4

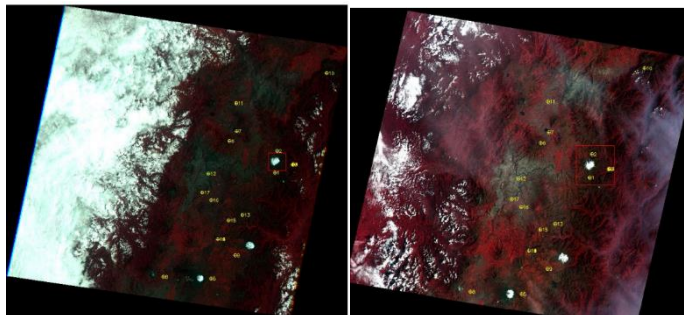
Fechas que realizo los satélites los barridos en la zona de investigación

N°	Satelite	Fecha	Satelite	Fecha
1.00	Landsat 5	01/12/1970	Sentinel 2A	01/07/1992
2.00	Landsat 5	17/06/1985	Sentinel 2A	23/10/2000
3.00	Landsat 5	23/12/1990	Sentinel 2A	13/03/2005
4.00	Landsat 5	07/09/1995	Sentinel 2A	30/08/2010
5.00	Landsat 5	23/10/2000	Sentinel 2A	15/07/2015
6.00	Landsat 5	13/03/2005	Sentinel 2A	27/02/2020
7.00	Landsat 8	30/08/2010	Sentinel 2A	10/02/2022
8.00	Landsat 8	15/07/2015		
9.00	Landsat 8	27/02/2020		
10.00	Landsat 8	10/02/2022		

Fuente: Elaboracion propia

Figura 5

Imagen satelital Landsat



NOTA: a) Baja nubosidad

B) alta nubosidad

Fuente: (Cabrera & Vega, 2022)

Figura 6

Imagen satelital Sentinel 2A



Fuente: (Cabrera & Vega, 2022)

b) Correcciones de imágenes satelitales

Se realizó las correcciones radiométricas y atmosféricas a las imágenes satelitales Landsat mas no a las imágenes satelitales Sentinel; a razón de que estas ya vienen con sus respectivas correcciones.

- **Corrección radiométrica-** Se llevó a cabo la corrección radiométrica de cada imagen capturada por el satélite Landsat, que mostraba píxeles perdidos debido a fallos en el sensor. Para realizar esta corrección, se utilizó el archivo en formato MTL, que incluye imágenes RGB en infrarrojo. Este procedimiento se ejecutó mediante el software QGIS 3.26, donde las imágenes fueron cargadas y la herramienta SCP (Semi-Automatic Classification Plugin) fue empleada para realizar la corrección. Este proceso de corrección no solo ajusta la radiometría, sino que también elimina distorsiones presentes en la imagen.
- **Corrección atmosférica.** Los valores de los píxeles se ven modificados sistemáticamente por las interferencias atmosféricas, lo que provoca un efecto de dispersión que eleva la radiancia que detecta el sensor. Los aerosoles (polvo, volcanes, etc.), el vapor de agua (humedad) y otras influencias atmosféricas se eliminaron mediante ajustes atmosféricos.

c) Clasificación no supervisada

Mediante el proceso de clasificación no supervisada, que consiste en determinar las clases espectrales presentes en la imagen, se delimitó la cobertura glaciar de cada imagen de satélite. Este método es único en el sentido de que no requiere ningún conocimiento previo del tema estudiado. Por ello, su intervención se centra en la interpretación de los datos obtenidos a partir de cada imagen de satélite (Torre, 2019).

d) Índice Kappa

Además de ello se realizó la clasificación supervisada mediante el Índice Kappa; el cual es utilizado para la medición de la diferencia entre el mapa observado y la coincidencia de la realidad y lo que se espera. El propósito de esta prueba es evaluar si la clasificación ha identificado la categoría de interés con mucha mayor precisión que la obtenida por asignación aleatoria.

Tabla 5

Valoración de índice de kappa

Índice Kappa	Fuerza de concordancia
0.00	Pobre
0.01 – 0.20	Leve
0.21 - 0.40	Aceptable
0.41 – 0.60	Moderada
0.61 – 0.80	Considerable
0.81 – 1.00	Casi perfecta

Fuente: (Cabrera & Vega, 2022)



e) Determinación de la variación de la cobertura glaciar

Posteriormente desde el Software ArcGIS; los archivos en formato ráster obtenidos de la clasificación no supervisada fueron convertidos en formato vector (polígono); mediante la herramienta (Arc Toolbox – From raster –rastes to Layer); de esta manera los glaciares delimitados estuvieron listos para ser procesados; seguidamente de cada polígono glaciar del periodo en estudio del nevado Allincajac; se determinará su área en el Software ArcGIS; mediante la herramienta “Tabla de atributos” de cada vector (polígono); creando una capa mediante la herramienta “Add Field – Calculate geometry”; y en base a ello se determinó el área de la cobertura glaciar de cada año.

Finalmente, dichos datos fueron ordenados en el Software Excel; y convertidos en porcentaje cada área; para posteriormente determinar el porcentaje de variación de la cobertura glaciar durante el periodo de análisis.

3.5.2. Determinar la variación de temperatura entre los periodos 1970 – 2022, del nevado Allincajac, distrito de Macusani - Carabaya

Para determinar la variación de temperatura entre los periodos 1970 – 2022 en el nevado Allincajac; se realizó la descarga de datos de temperatura de las estaciones meteorológicas más próximas al área en estudio del sitio web del SENAMHI; para posteriormente ser interpoladas en el Software ArcGIS y mediante la herramienta ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > interpolate> Kriging; generar la modelación de la temperatura en el área en estudio.



3.5.3. Estimar el porcentaje de variación de la cobertura glaciar para el año 2030 del nevado Allincajac, distrito de Macusani - Carabaya

Para la proyección de un escenario futuro al año 2030 del retroceso glaciar del nevado Allincajac, se realizó mediante la metodología de regresión lineal. La regresión es empleada para estimar el valor de una variable en función de otra tal cual como se aprecia en la siguiente ecuación (Flores, 2019):

$$Y = bx + c + Et$$

Donde:

Y: Variable dependiente que se pretende estimar (VD)

b: Parámetro de regresión correspondiente al valor estimado

x: Variable independiente (VI)

c: Parámetro de regresión correspondiente al crecimiento o disminución

Et: Componente error típico.

CAPÍTULO IV

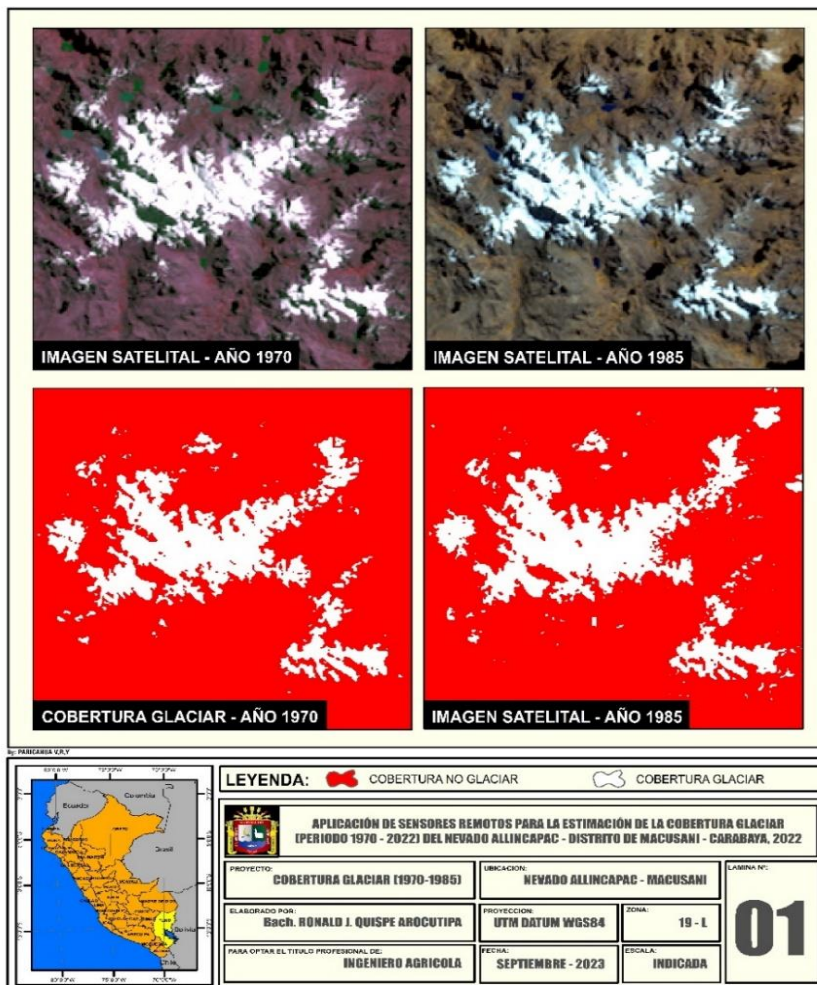
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. VARIACIÓN DE LA COBERTURA GLACIAR GENERADO ENTRE LOS PERIODOS 1970 – 2022, DEL NEVADO ALLINCAPAC

En relación al objetivo específico 1; Determinar la variación de la cobertura glaciar en los últimos 52 años en intervalos de cada 5 años entre los periodos 1970 – 2022, de acuerdo a las imágenes satelitales Landsat y Sentinel; se encontraron los siguientes resultados:

Figura 7

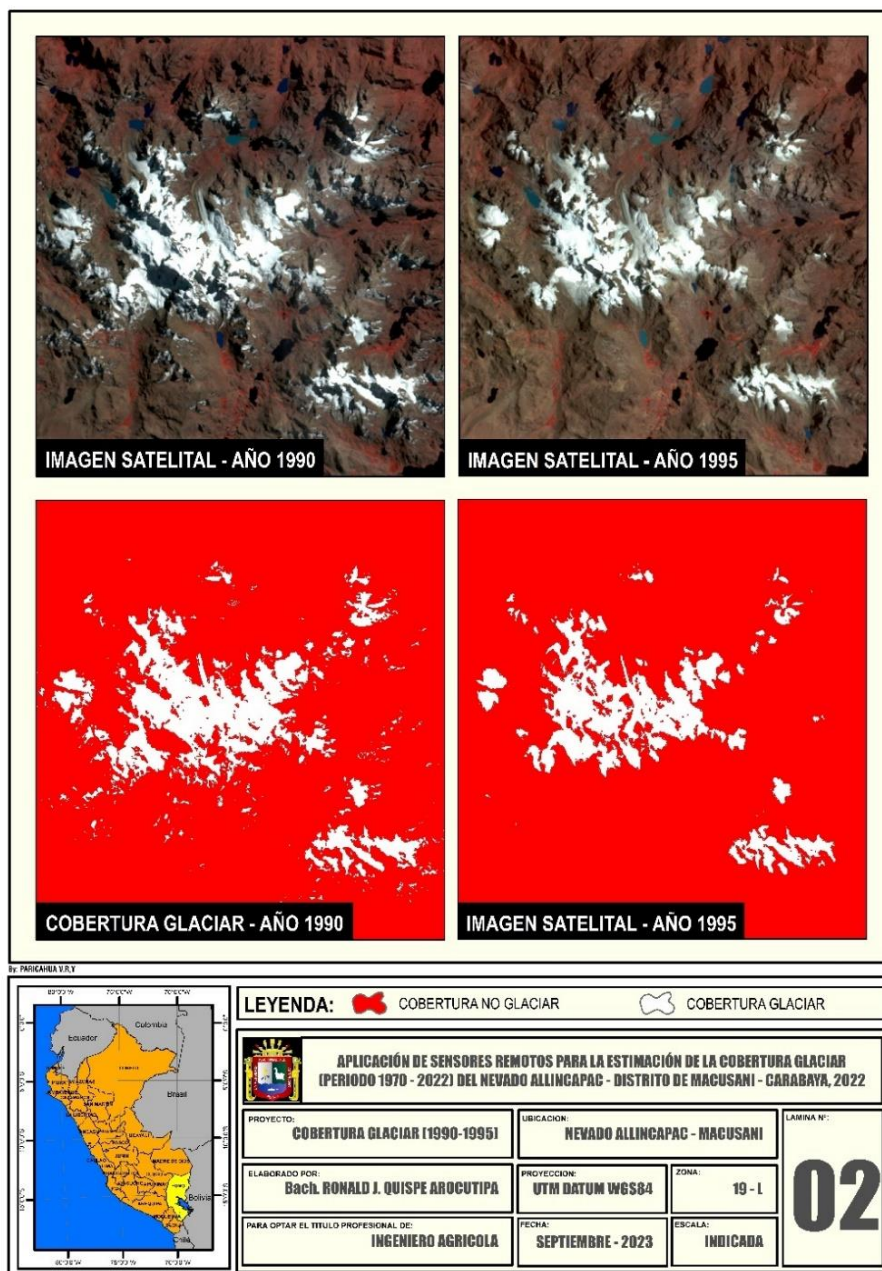
Variación de la cobertura glaciar entre los periodos 1970 – 1985



En la figura 7, se aprecia la variación de la cobertura glaciaria entre los periodos 1970 – 1985; indicando que la cobertura glaciaria al año 1970 es de 34.00 km²; mientras que al año 1985 la cobertura glaciaria es de 33.72 km²; presentando una variación de 0.28 km² según las imágenes satelitales Landsat y Sentinel, por lo cual se puede decir que existe un decrecimiento de la cobertura glaciaria en el periodo de 1970 al 1985.

Figura 8

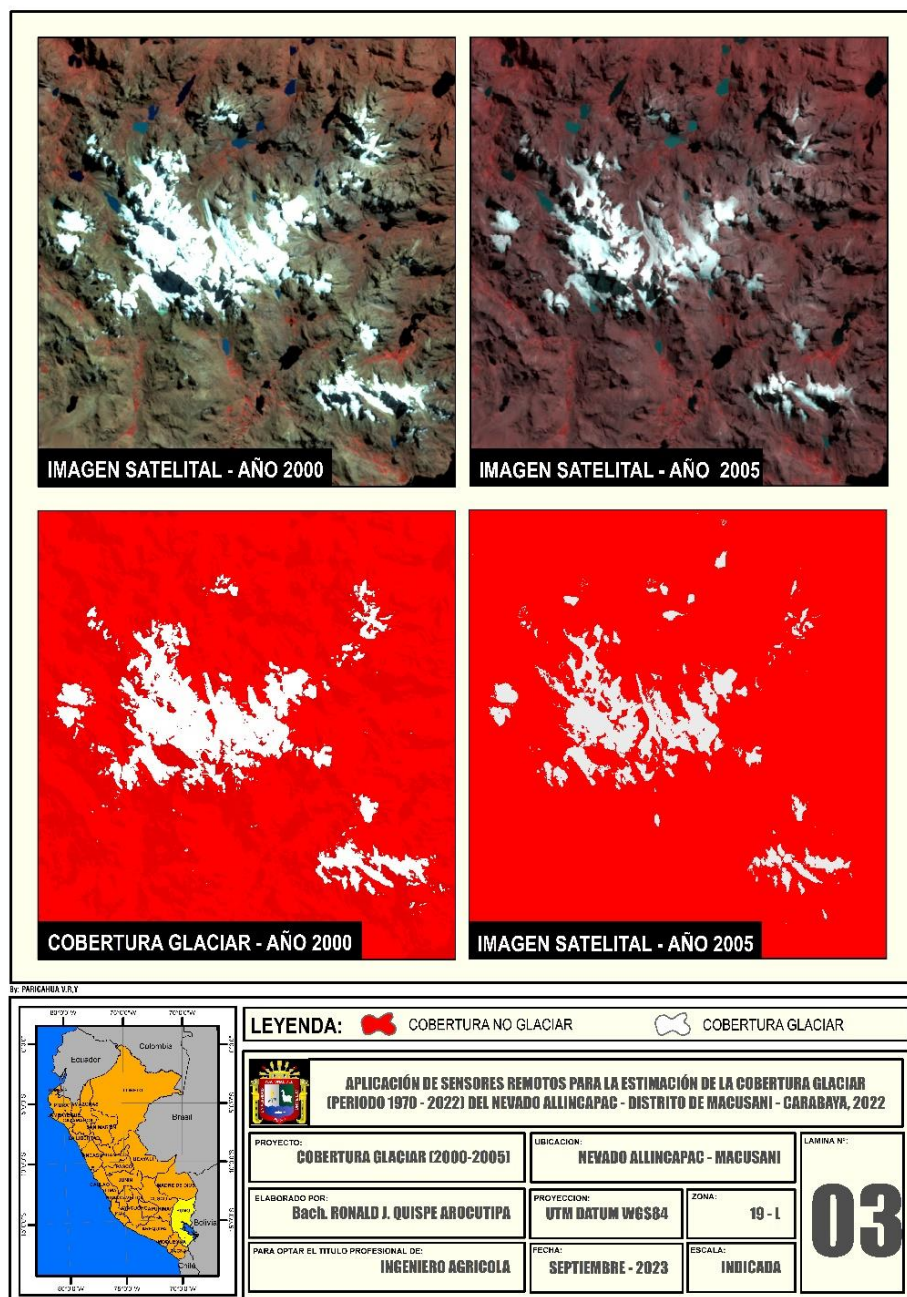
Variación de la cobertura glaciaria entre los periodos 1990 – 1995



En la figura 8, se aprecia la variación de la cobertura glaciár entre los periodos 1990 – 1995; indicando que la cobertura glaciár al año 1990 es de 28.42 km²; mientras que al año 1995 la cobertura glaciár es de 16.83 km² según las imágenes satelitales Landsat y Sentinel; por lo cual se puede decir que existe un decrecimiento de la cobertura glaciár en el periodo de 1990 al 1995 de 11.59 km².

Figura 9

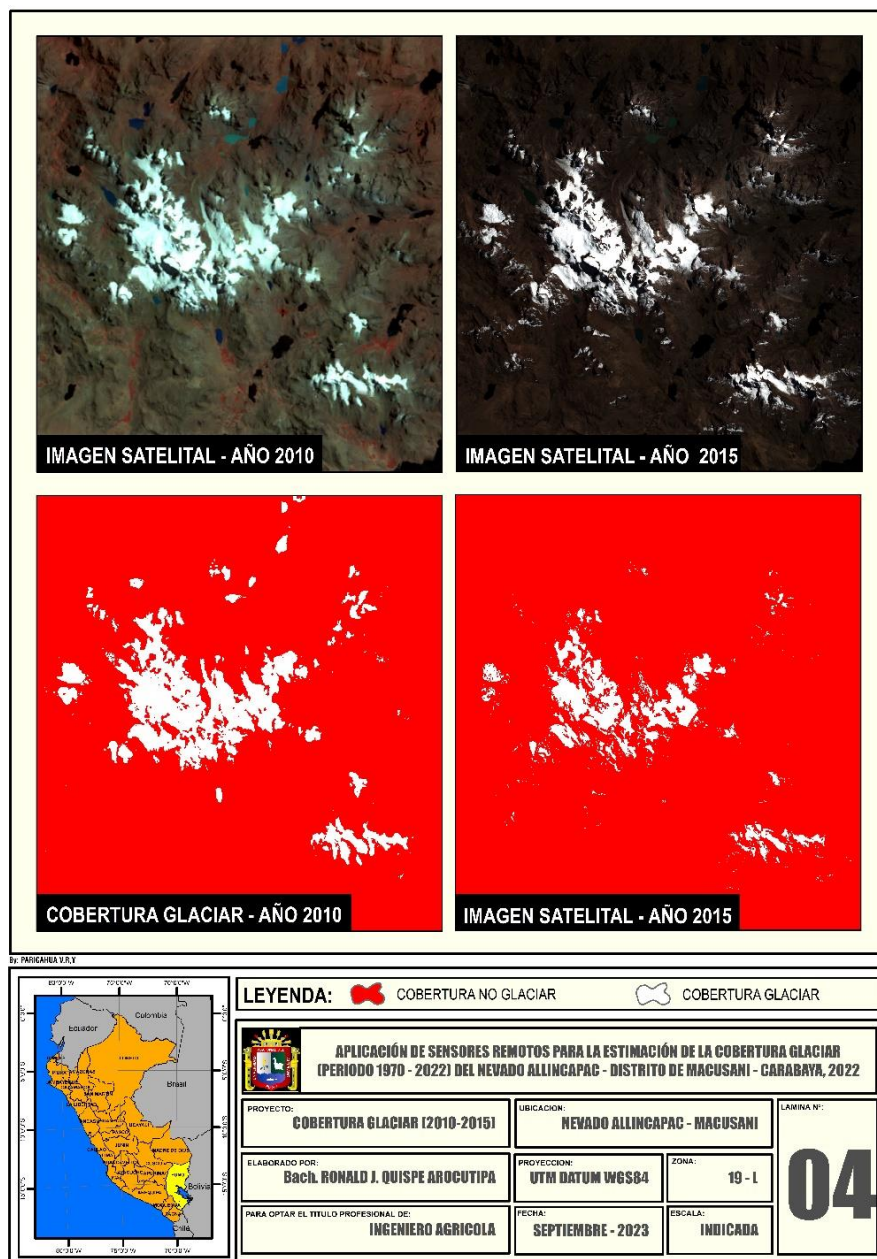
Variación de la cobertura glaciár entre los periodos 2000 – 2005



En la figura 9, se aprecia la variación de la cobertura glaciár entre los periodos 2000 – 2005; indicando que la cobertura glaciár al año 2000 es de 22.88 km²; mientras que al año 2005 la cobertura glaciár es de 15.81 km² según las imágenes satelitales Landsat Sentinel; por lo cual se puede decir que existe un decrecimiento de la cobertura glaciár en el periodo de 2000 al 2005 de 7.07 km².

Figura 10

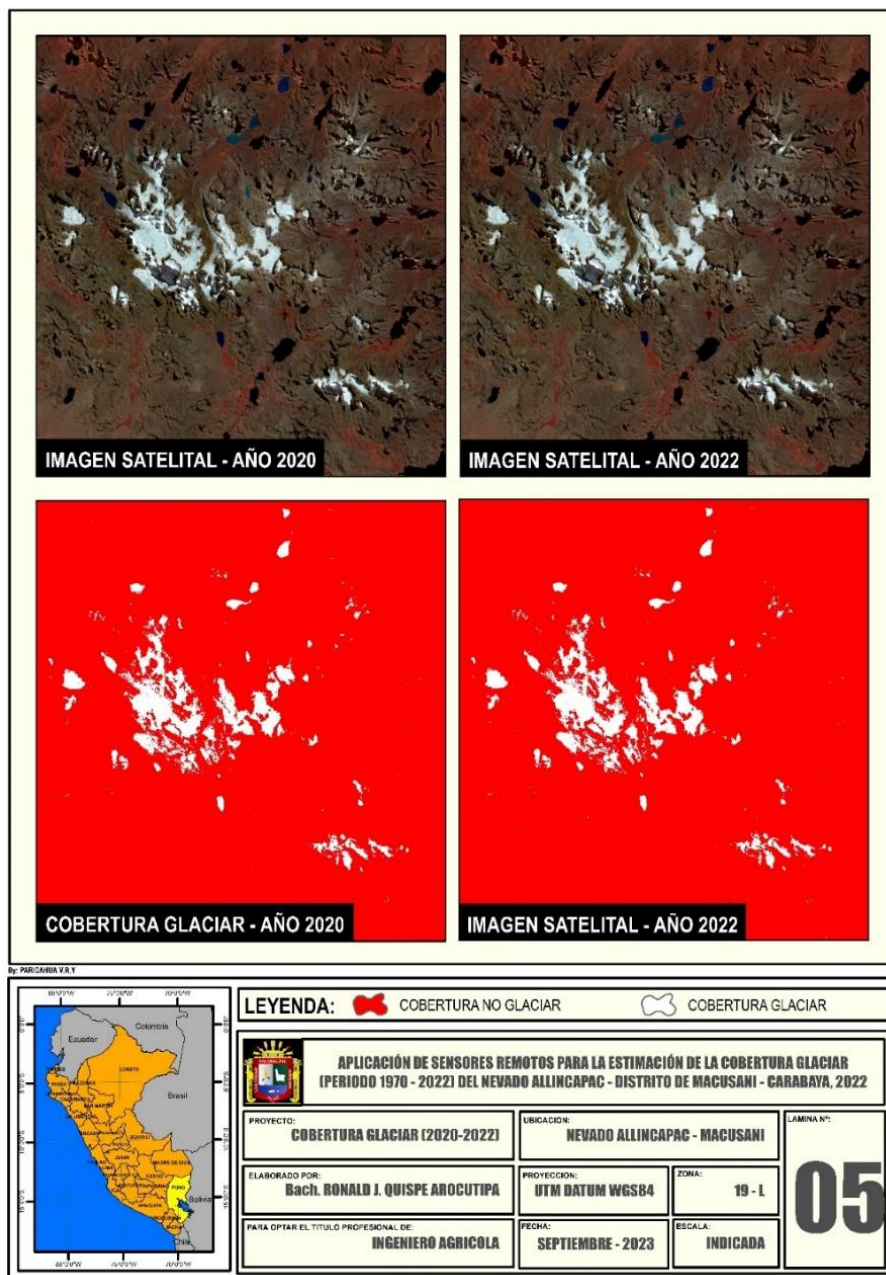
Variación de la cobertura glaciár entre los periodos 2010 – 2015



En la figura 10, se aprecia la variación de la cobertura glaciár entre los periodos 2010 – 2015; indicando que la cobertura glaciár al año 2010 es de 19.54 km²; mientras que al año 2015 la cobertura glaciár es de 9.96 km² según las imágenes satelitales Landsat y Sentinel; por lo cual se puede decir que existe un decrecimiento de la cobertura glaciár en el periodo de 2010 al 2015 de 9.58 km².

Figura 11

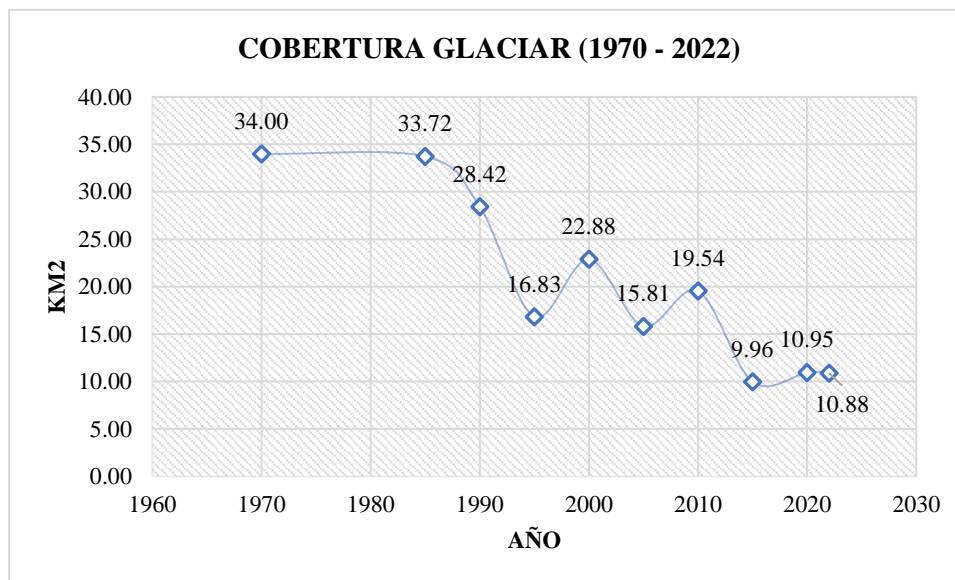
Variación de la cobertura glaciár entre los periodos 2020 – 2022



En la figura 11, se aprecia la variación de la cobertura glaciar entre los periodos 2020 – 2022; indicando que la cobertura glaciar al año 2020 es de 10.95 km²; mientras que al año 2022 la cobertura glaciar es de 10.88 km² según las imágenes satelitales Landsat; por lo cual se puede decir que existe un decrecimiento de la cobertura glaciar en el periodo de 2020 al 2022 de 0.07 km².

Figura 12

Variación de la cobertura glaciar entre los periodos 1970 – 2022



En la figura 11, se aprecia la variación de la cobertura glaciar entre los periodos 1970 – 2022; por el sensor remoto (imágenes satelitales Landsat) indicando que existe un decrecimiento de la cobertura glaciar de 23.12 km², lo cual es equivalente a una pérdida de la cobertura glaciar de 32% respectivamente

En la tabla 4, se aprecia la valoración del índice Kappa; indicando que los periodos entre 1970 a 1985 muestran precisiones del 100% de la imagen satelital (Landsat) con la realidad; al igual que el valor del índice kappa que es del 100% de concordancia respectivamente (**Anexo 1, 2, 3, 4, y 5**).

Tabla 6*Valoración de índice de Kappa*

Cobertura glaciar	Precisión	Índice Kappa
Año 1970	100%	100%
Año 1985	100%	100%
Año 1990	100%	100%
Año 1995	100%	100%
Año 2000	100%	100%
Año 2005	100%	100%
Año 2010	100%	100%
Año 2015	100%	100%
Año 2020	100%	100%
Año 2022	100%	100%

Los resultados obtenidos en el presente estudio guardan similitudes con la investigación llevada a cabo por Cabrera y Vega (2022). En su trabajo, Cabrera y Vega observaron un retroceso del 30.09% en la cobertura glaciar del nevado Cayambe a lo largo de las últimas tres décadas, atribuido al cambio climático. Esta relación directa entre el cambio climático y el retroceso glaciar en el nevado Cayambe se hace cada vez más evidente, a pesar de la presencia de datos estadísticamente no significativos en su estudio. No obstante, estos datos sugieren una conexión entre el cambio climático y la disminución de la cobertura glaciar (2021), encontró una desglaciación de la cobertura glaciar de la Sierra Nevada de Santa Marta – Colombia de 376.47 ha, entre los periodos 2000 al 2020 respectivamente; todo ello igualmente al anterior estudio por los factores climáticos que aquejan a todos los ecosistemas;



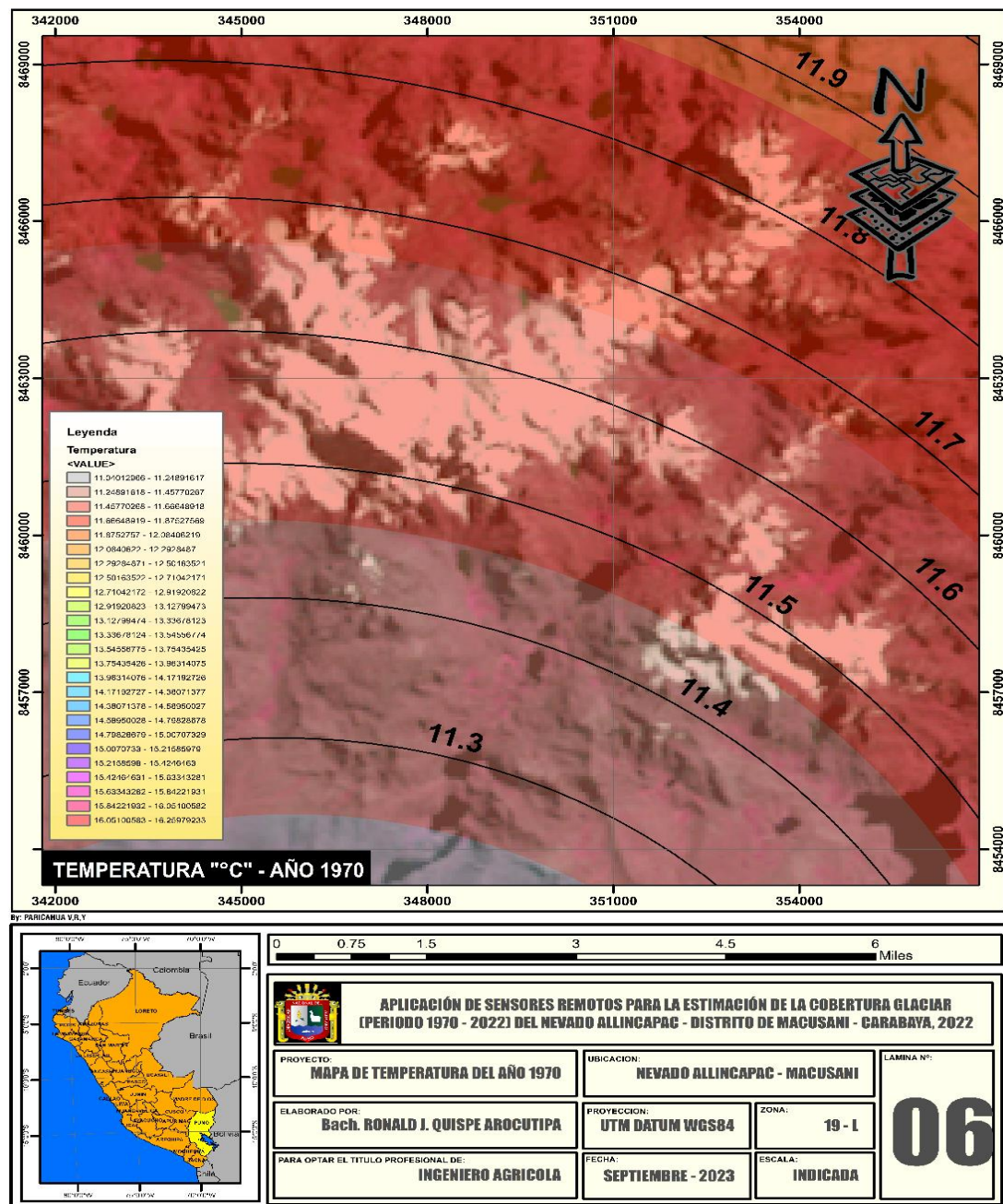
Adicionalmente, discrepancias se evidencian al comparar estos resultados con la investigación de Cuadros (2018), quien identificó que la tasa de retroceso glaciar en la cuenca de la laguna Parón del Parque Nacional Huascarán, durante el periodo de 1962 a 2014, fue de 0.068 km²/año y 1.942 m/año. A partir de estos hallazgos, se puede inferir que, en relación con las últimas cinco décadas, las tasas de desglaciación no mostrarán una disminución significativa en el futuro. Pero el glaciar habrá perdido más de la mitad de su extensión actual si el ritmo de deglaciación se duplica, y sobre todo se triplica, en el futuro. y finalmente con Cuadros (2014), encontró que la cobertura glaciar entre los periodos 1985 a 2010 de los nevados del distrito de Ananea sufrieron la pérdida del 38.48 de su cobertura, mientras que incremento el área superficial de su laguna con 0.55 km² en 25 años.

4.2. COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA ENTRE LOS PERIODOS 1970 – 2022, DEL NEVADO ALLINCAPAC

A continuación, se detalla la variación de la temperatura entre los periodos de 1970 a 2022 del nevado Allincapac, distrito de Macusani – Carabaya, ver las siguientes figuras.

Figura 13

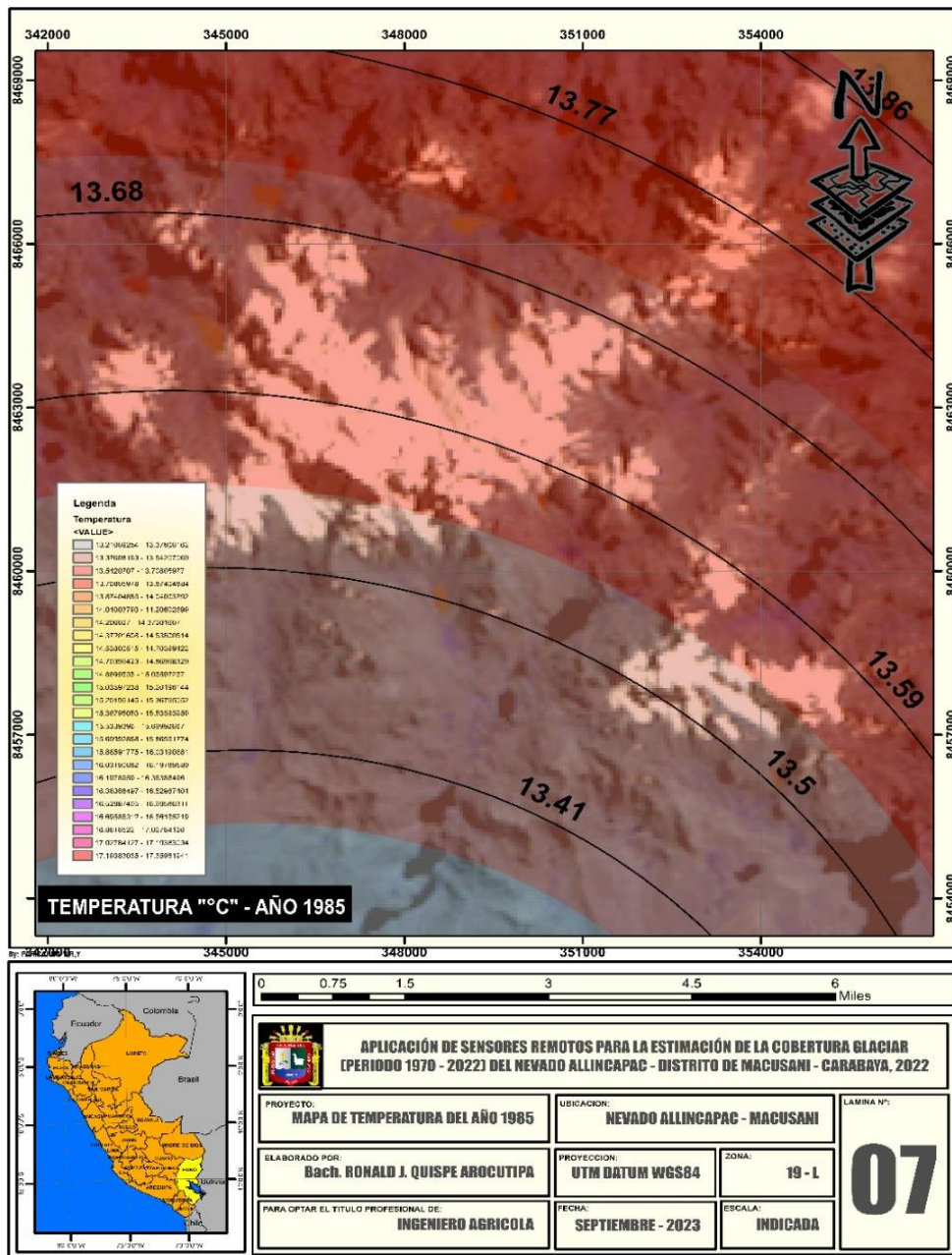
Temperatura ambiental del nevado Allincapac del año 1970



En la figura 13, se aprecia la temperatura ambiental del nevado Allincapac del año 1970; indicando que el rango de temperatura fluctúa entre 11.3 °C a 11.9 °C; dando una media de temperatura de 11.60 °C, respectivamente.

Figura 14

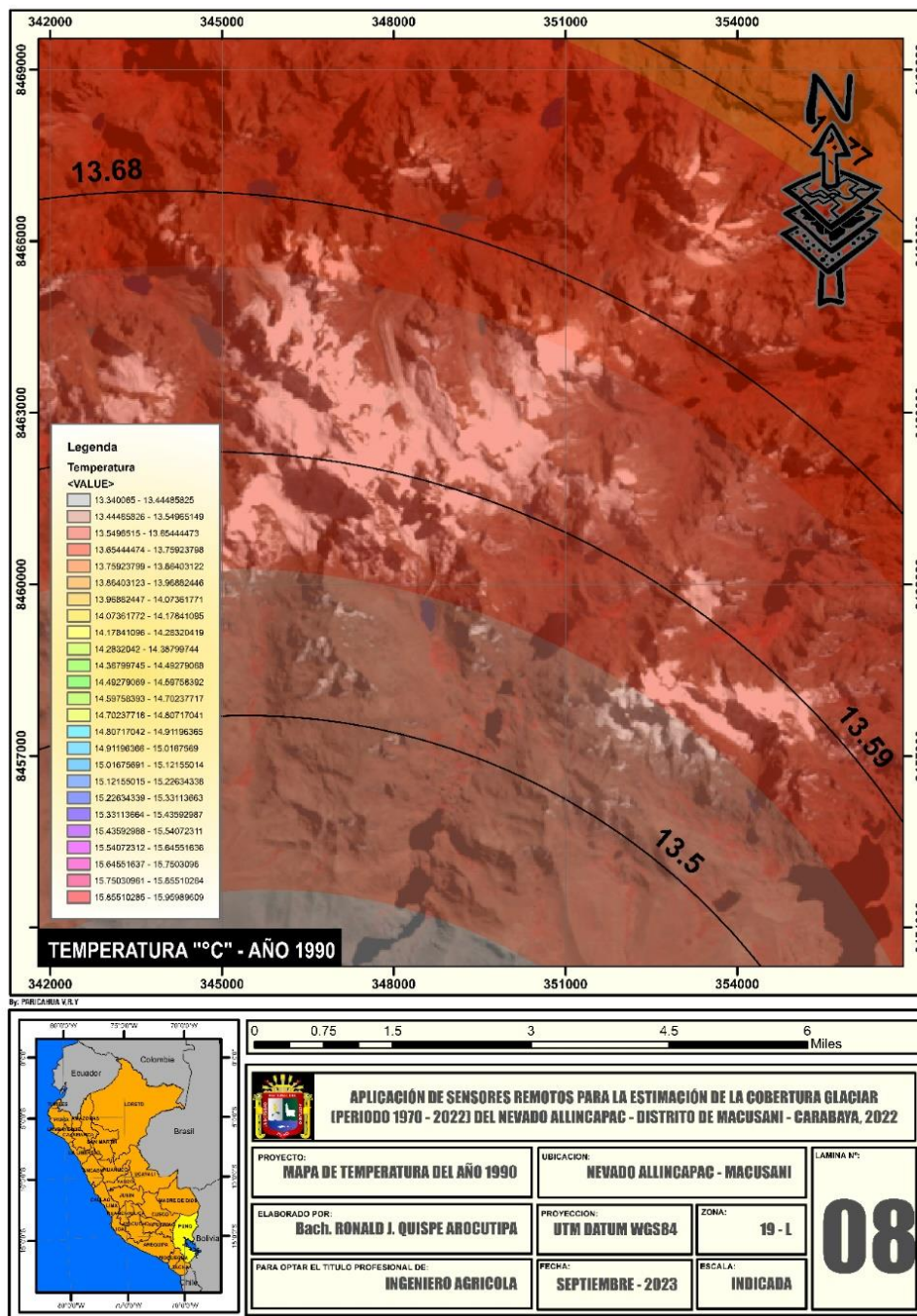
Temperatura ambiental del nevado Allincapac del año 1985



En la figura 14, se aprecia la temperatura ambiental del nevado Allincapac del año 1985; indicando que el rango de temperatura fluctúa entre 13.41 °C a 13.86 °C; dando una media de temperatura de 13.64 °C, respectivamente.

Figura 15

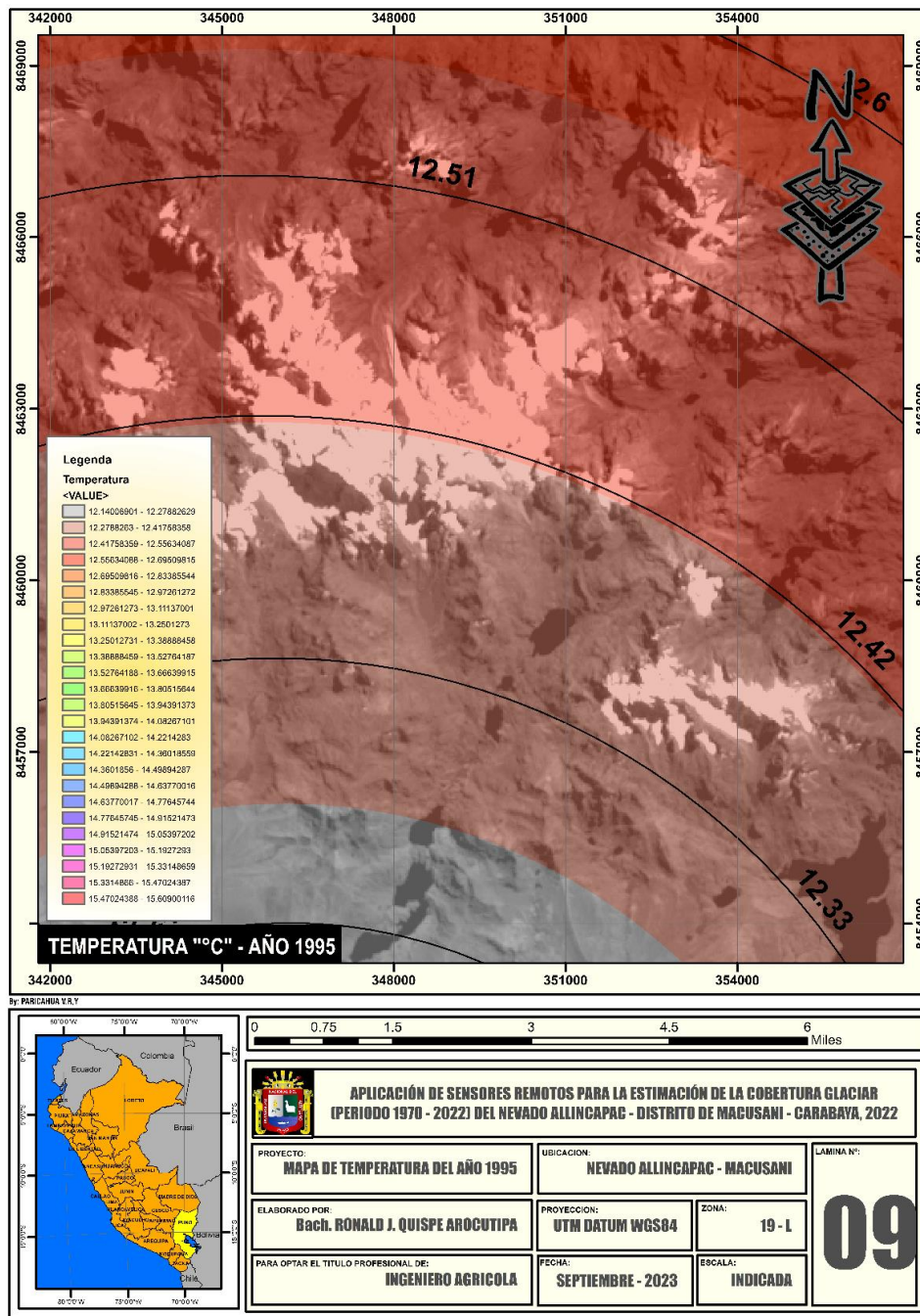
Temperatura ambiental del nevado Allincajac del año 1990



En la figura 15, se aprecia la temperatura ambiental del nevado Allincajac del año 1990; indicando que el rango de temperatura fluctúa entre 13.50 °C a 16.27 °C; dando una media de temperatura de 14.89 °C, respectivamente.

Figura 16

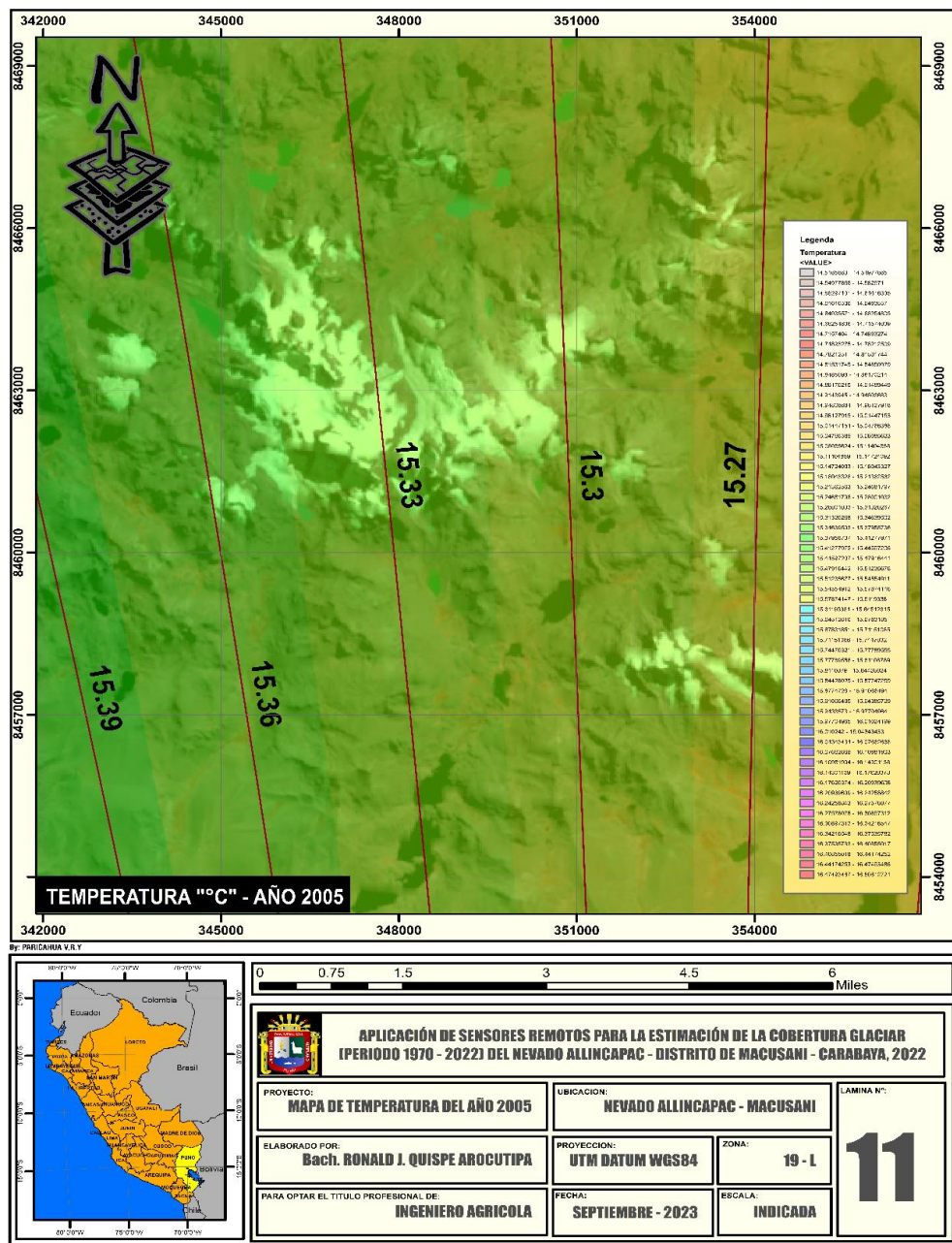
Temperatura ambiental del nevado Allincajac del año 1995



En la figura 16, se aprecia la temperatura ambiental del nevado Allincajac del año 1995; indicando que el rango de temperatura fluctúa entre 12.33 °C a 12.60 °C; dando una media de temperatura de 12.47 °C, respectivamente.

Figura 18

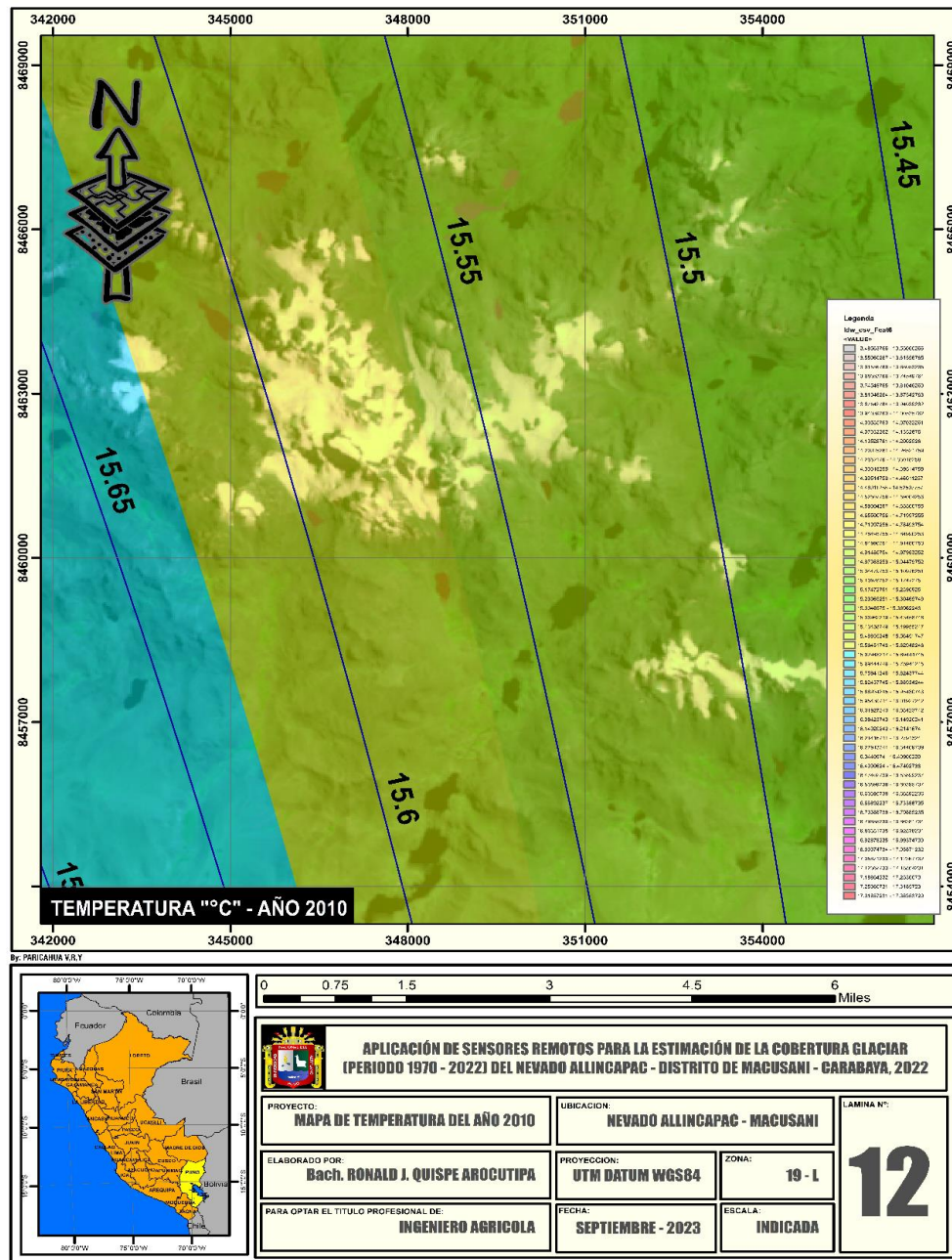
Temperatura ambiental del nevado Allincapac del año 2005



En la figura 18, se aprecia la temperatura ambiental del nevado Allincapac del año 2005; indicando que el rango de temperatura fluctúa entre 15.24 °C a 15.39 °C; dando una media de temperatura de 15.32 °C, respectivamente.

Figura 19

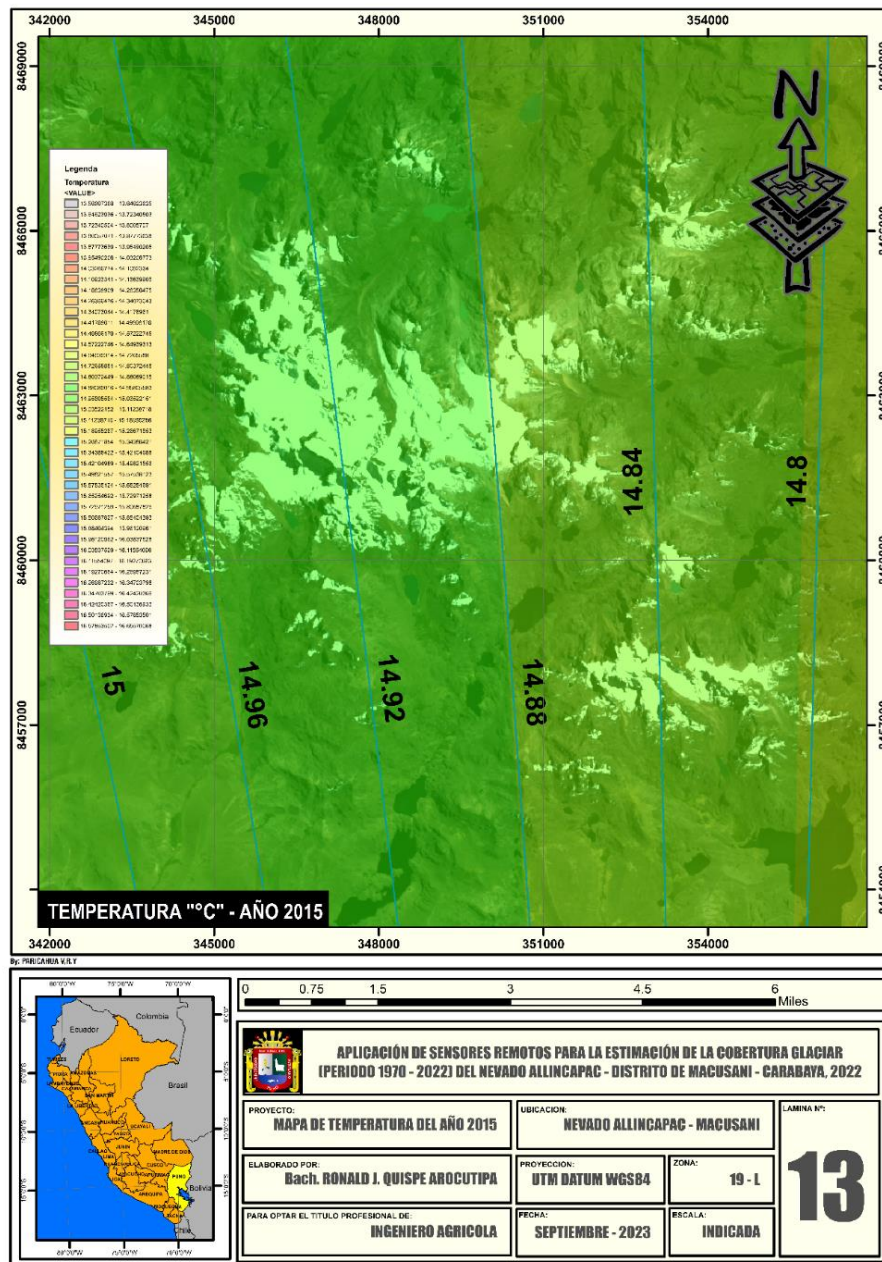
Temperatura ambiental del nevado Allincapac del año 2010



En la figura 19, se aprecia la temperatura ambiental del nevado Allincapac del año 2010; indicando que el rango de temperatura fluctúa entre 15.45 °C a 15.65 °C; dando una media de temperatura de 15.55 °C, respectivamente.

Figura 20

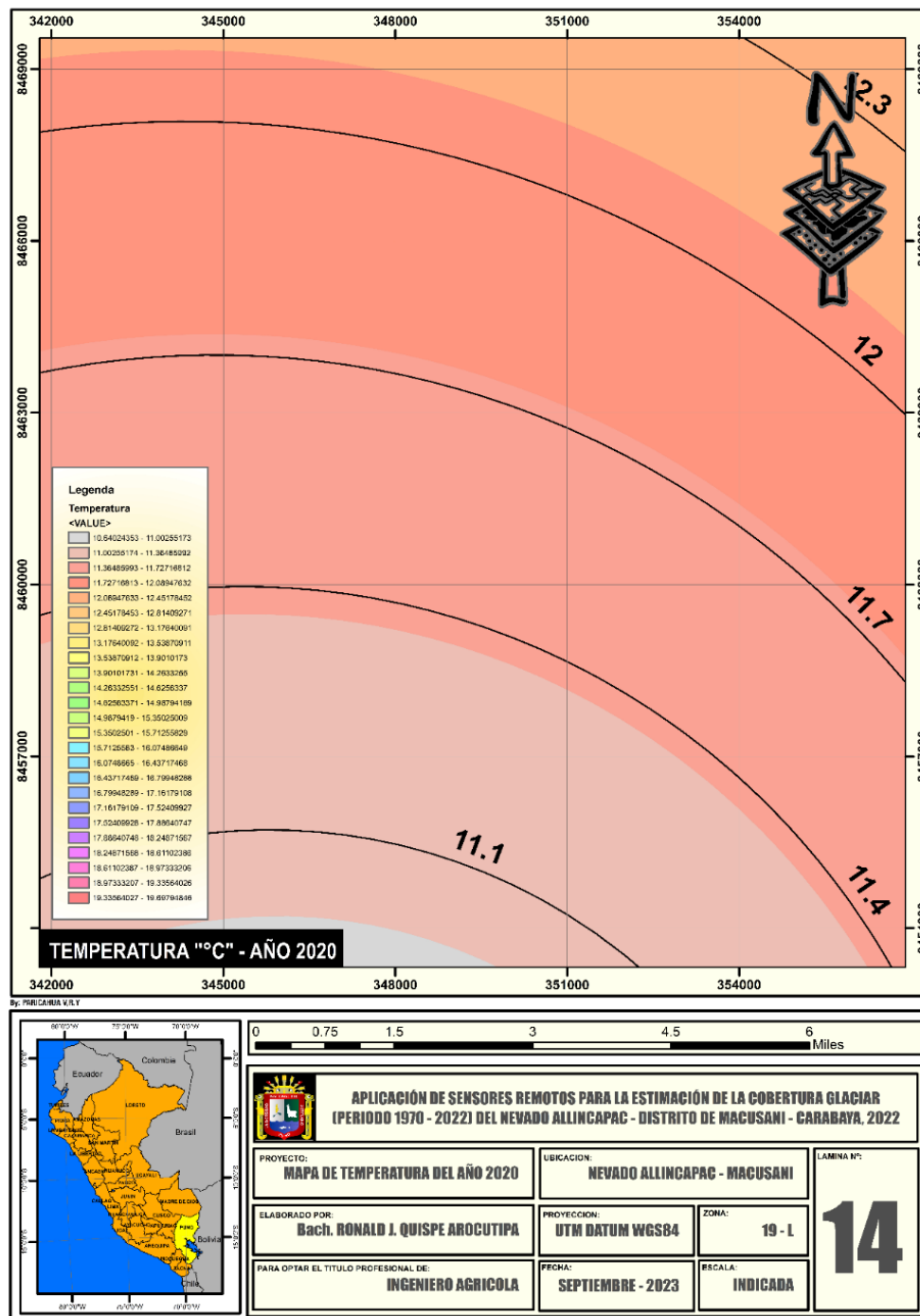
Temperatura ambiental del nevado Allincapac del año 2015



En la figura 20, se aprecia la temperatura ambiental del nevado Allincapac del año 2015; indicando que el rango de temperatura fluctúa entre 14.80 °C a 15.00 °C; dando una media de temperatura de 14.90 °C, respectivamente.

Figura 21

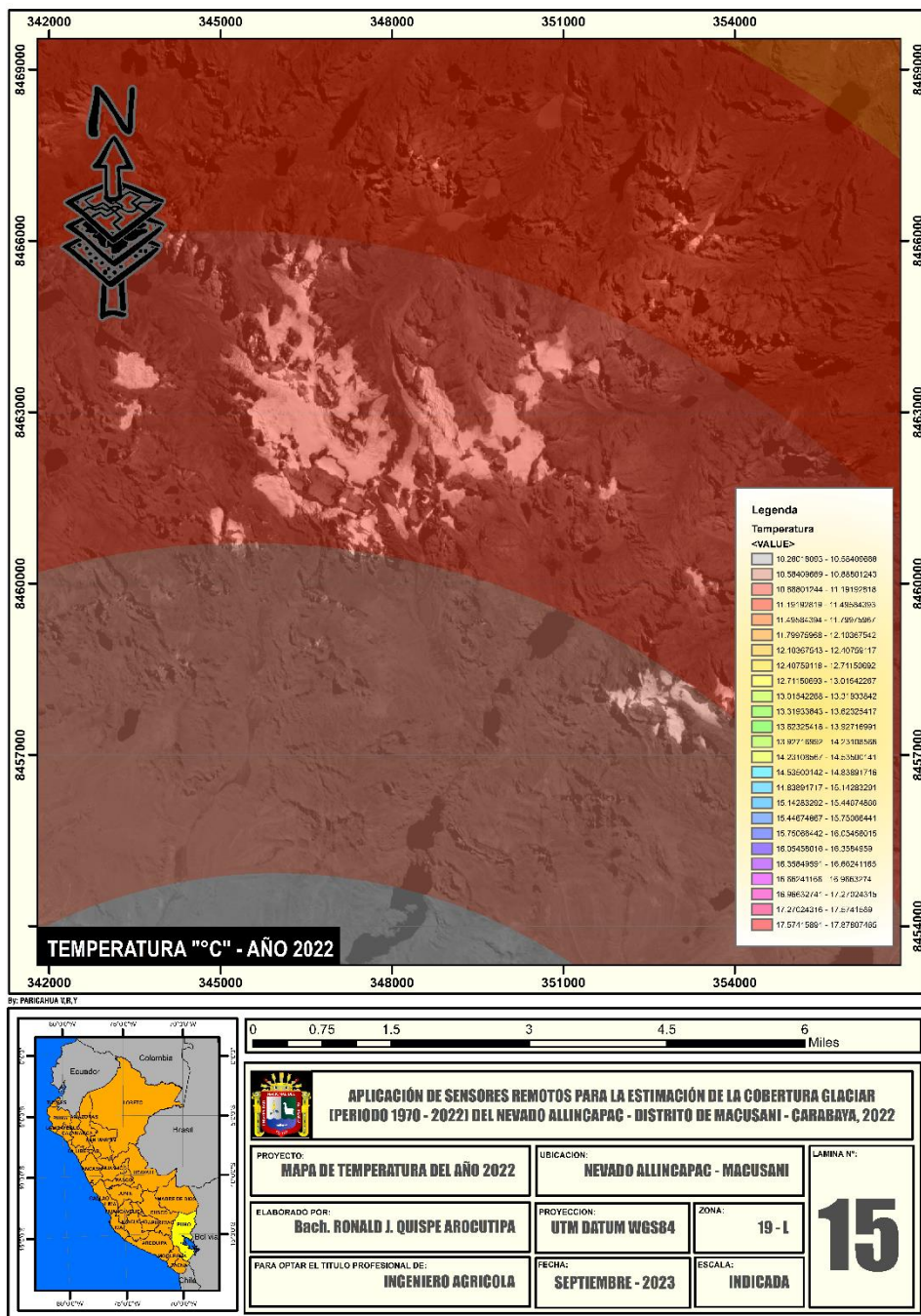
Temperatura ambiental del nevado Allincajac del año 2020



En la figura 21, se aprecia la temperatura ambiental del nevado Allincajac del año 2015; indicando que el rango de temperatura fluctúa entre 11.10 °C a 12.30 °C; dando una media de temperatura de 11.70 °C, respectivamente.

Figura 22

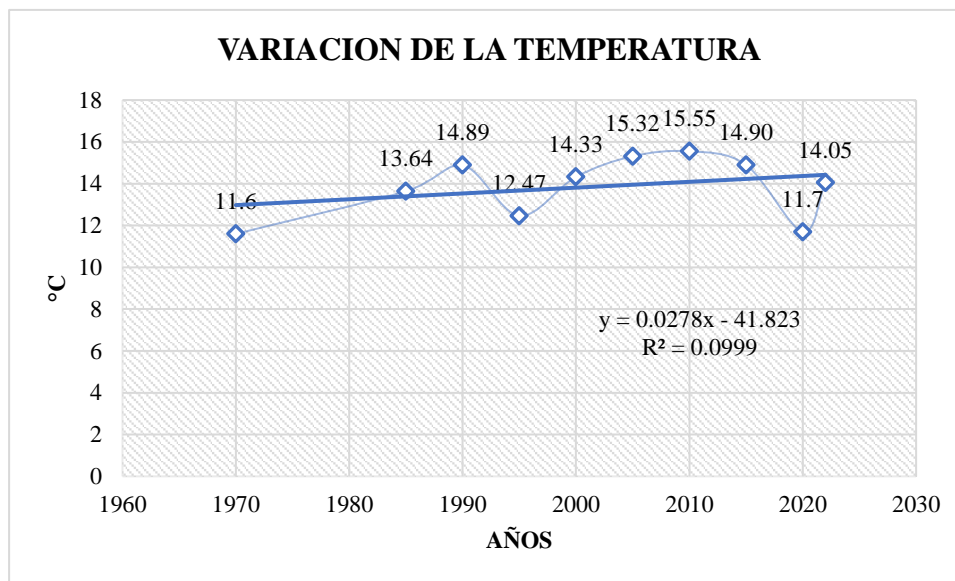
Temperatura ambiental del nevado Allincapac del año 2022



En la figura 22, se aprecia la temperatura ambiental del nevado Allincapac del año 2022 indicando que el rango de temperatura fluctúa entre 13.23 °C a 14.86 °C; dando una media de temperatura de 14.05 °C, respectivamente.

Figura 23

Variación de la temperatura ambiental del nevado Allincajac



En la figura 23, se aprecia la variación de la temperatura ambiental del nevado Allincajac entre los periodos 2000 al 2020; indicando que existe una tendencia de aumento de la temperatura del 0.03 % respectivamente.

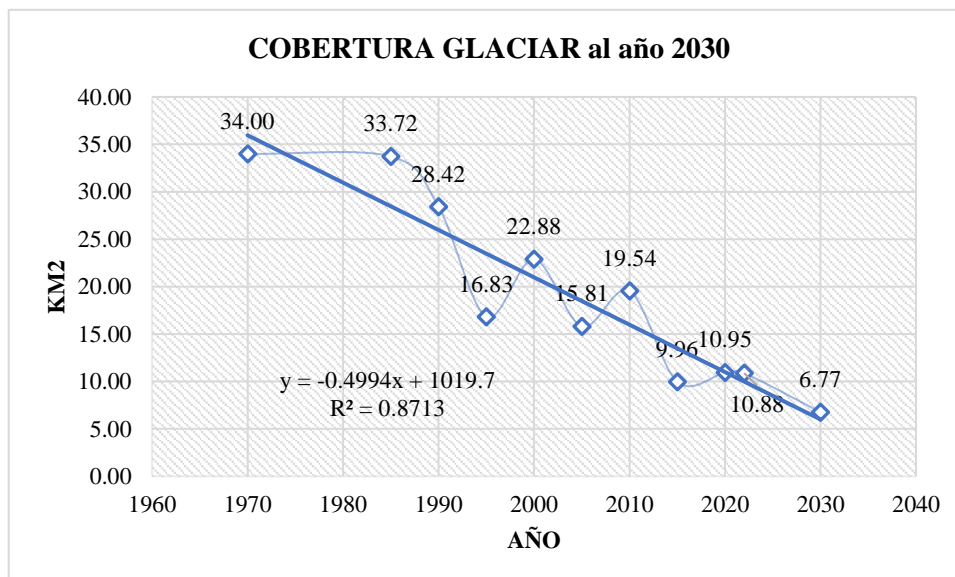
Dichos resultados con respecto al estudio realizado por Cabrera y Vega (2022), se asemejan a razón de que en el nevado Cayambe la temperatura ambiental va en aumento en el periodo 1990 al 2020, mientras que la precipitación va decreciendo, por lo que tienen una relación de 4 al 7 %; todo principalmente por el calentamiento global; mientras que con respecto al estudio realizado por Cuadros (2014), se asemejan debido a que la temperatura en los nevados del distrito de Ananea se incrementan al igual que las precipitaciones; por ende la cobertura glaciaria indica un retroceso acelerado, al igual que la temperatura y precipitación; todo ello igualmente por el cambio climático, en el periodo 1985 al 2010. Por último, en relación con el estudio de Sánchez (2021), también muestran características similares que llevaron a la conclusión de que el manto glaciario del nevado Coropuna había retrocedido. Se descubrió que las temperaturas mínimas se dan en las

zonas de acumulación, donde pueden alcanzar hasta $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ en 2014, y las máximas se dan en las zonas de ablación, donde pueden alcanzar hasta $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ en 1999. Este año, hay una zona de acumulación de 47 km^2 , pero en 2015, esta zona no es discernible. Una comparación estadística de estas zonas muestra una tendencia a la disminución de la zona de acumulación.

4.3. PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE LA COBERTURA GLACIAR PARA EL AÑO 2030 DEL NEVADO ALLINCAPAC

Figura 24

Cobertura glaciar al año 2030 del nevado AllinCAPAC



En la figura 24, se aprecia la cobertura glaciar al año 2030 del nevado AllinCAPAC; indicando que al año 2030 existirá una cobertura glaciar de 6.77 km^2 ; todo ello producto del cambio climático lo cual es equivalente a una pérdida de la cobertura glaciar de 20% respectivamente.



Con respecto a la hipótesis planteada: La estimación de la cobertura glaciar (periodo 1970 - 2022) es posible mediante la aplicación de sensores remotos en el nevado Allincajac - distrito de Macusani - Carabaya, 2022; se acepta la hipótesis planteada; a razón de que se determinó la cobertura glaciar por medio de sensores remotos (imágenes satelitales) en el nevado Allincajac del distrito de Macusani – provincia de Carabaya.

Em su investigación Cabrera y Vega (2022), se asemejan a razón de que a un escenario futuro la cobertura glaciar del nevado Cayambe ira decreciendo, determinando que para el año 2050 el glaciar tendrá un área de 6.1 km² y para el año 2080 desaparecerá; uno de los motivos es el cambio climático que genera el ser humano, causando mayor calor y así desapareciendo poco a poco los glaciares en todo el mundo.



CONCLUSIONES

- Según los resultados se concluye que gracias a los sensores remotos (imágenes satelitales Landsat y Sentinel se determinó la variación de la cobertura glaciaria en los últimos 52 años en intervalos de cada 5 años del nevado Allincahuasi va decreciendo con una pérdida glaciaria de 23.12 km² entre los periodos 1970 al 2022 lo cual es equivalente a una pérdida de la cobertura glaciaria del 32%; presentando una precisión y un índice kappa del 100%; lo cual es indicativo de que la imagen satelital concuerda con la realidad.
- Según los resultados se concluye que la temperatura en el nevado Allincahuasi entre los periodos 2000 al 2020; presenta una tendencia de incremento del 0.03% anual respectivamente; por ende, se prevé que si sigue existiendo un aumento de la temperatura ambiental la cobertura glaciaria será menor.
- Según los resultados se concluye al año 2030 la cobertura glaciaria en el nevado Allincahuasi; presentará una extensión de solo 6.77 km², equivalente a una variación de 20 %; siendo inferior a los periodos de análisis entre 1970 y 2022, equivalente a una variación de 32%.



RECOMENDACIONES

- Se recomienda emplear imágenes del satélite Sentinel 2 son una buena opción si se desea una clasificación que permita distinguir con mayor claridad las distintas coberturas. Además, permitiría observar las morrenas que rodean el pico nevado Allinacpac para futuras investigaciones.
- Para conocer a tiempo, a largo plazo y con recursos suficientes los efectos del cambio climático y cómo afectan a los glaciares -que son una importante fuente de recursos hídricos para las poblaciones que viven cerca de ellos, ya que el agua de los glaciares se utiliza para el riego, el uso doméstico y el consumo humano-, se recomienda apoyar este tipo de investigación a escala local y nacional.
- Se recomienda que los gobiernos locales y regionales den más prioridad a la conservación y protección de los glaciares y apoyen una legislación que haga lo mismo. Esta legislación debería limitar las actividades extractivas cerca de las montañas nevadas y tratar los glaciares como zonas intangibles.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abadi, M., & Agarwal, A. (2016). Large-Scale Machine Learning on Heterogeneous Distributed Systems. *TensorFlow*. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/1603.04467>
- ANA. (2014). *Inventario de glaciares del Perú*. Huaraz: Autoridad Nacional del Agua .
- ANA. (2014). *Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas*. . Huaraz: Autoridad Nacional del Agua.
- Avery, I., Mullet, B., & Wang, D. (2018). Deep Learning and Deforestation.
- Baena, G. (2017). *Metodología de la investigación serie integral por competencias*. Mexico: Grupo Editorial Patria.
- Brito, C. (2014). *Análisis espacial y temporal de la variación de cobertura nivo-glaciar en el nevado cayambe mediante imágenes satelitales landsat y sistemas de información geográfica (sig)*. Quito: Universidad Politecnica Nacional.
- Bulege, W., & Custodio, M. (2020). *Cambio climático y retroceso glaciar en la Cordillera Huaytapallana*. Huancayo: Universidad Continental.
- Bury, J., & Mark, B. (2013). *New Geographies of Water and Climate Change in Peru*. New York: Coupled Natural and Social Transformations in the Santa River Watershed Annals of the Association of American Geographers.
- Caballero, J., & Espinal, M. (2021). *Determinación de la variación de cobertura vegetal mediante Imágenes Satelitales en el Caserío Shiracmaca Huamachuco por la expansión minera 2000 - 2021*. Trujillo: Universidad César Vallejo.
- Cabrera, E., & Vega, J. (2022). *Análisis del retroceso glaciar en los andes del norte del Ecuador durante un período de 30 años empleando teledetección*. Ibarra: Universida Tecnica del Norte.



- Cogley, R., & Hock, L. (2011). *Glossary of Glacier Mass Balance and Related Terms*. Paris: Technical Documents in Hydrology No. 86, IACS Contribution No. 2, UNESCO-IHP.
- Colque, P. (2019). *Estimación de área glaciar utilizando redes neuronales convolucionales U-NET en imágenes multiespectrales sentinel 2 en el glaciar Ausangate*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano de Puno.
- Córdova, J., & Sánchez, L. (2020). *Análisis de la variación multitemporal de la cobertura vegetal entre los años 2010-2018, en la cuenca del río Neshuya, Ucayali, Perú*. Pucallpa: Universidad Nacional de Ucayali.
- Cornelia, B. (2014). *Análisis espacial y temporal de la variación de cobertura Nivel-Glaciar en el nevado Cayambe mediante imágenes satelitales Landsat y sistemas de información geográfica (SIG)*. Quito: Escuela politecnica nacional.
- Cortés, J. (2013). *La evolución del mayor glaciar de México vista desde el espacio, Programa de Posgrado en ciencias de la Tierra*. Mexico: Universidad Nacional Autónoma de Mexico.
- Cuadro, S. (2018). *Estimación de la pérdida del área glaciar en la cuenca de la laguna Parón – Parque Nacional Huascarán (Cordillera Blanca)*. Lima: Universidad Nacional Agraria.
- Cuadros, B. (2014). *Evolución de la cobertura glaciar del nevado Ananea entre 1985-2010*. Ananea: Revista científica Investigacion Andina.
- De la Cruz, F., & Gamarra, R. (2021). *Efecto de la variabilidad atmosférica en la cobertura vegetal del Refugio de vida silvestre Laquipampa entre 1990-2020*. Chiclayo: Universidad César Vallejo.



- Díaz, F. (2021). *Estimación del retroceso glaciar en la sierra nevada de Santa Marta para el periodo 2000-2020 a partir de imágenes Landsat*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada .
- Díaz, R. (2017). *Análisis multi-temporal entre 1975 y 2015 sobre cambios de la cobertura glaciar en los nevados Allin Capac y Chichi Capac, Perú*. Juliaca: Revista de Investigaciones Altoandinas.
- Espinosa, A. (2022). *Modelamiento matemático y uso de S.I.G. para la estimación de la reducción del volumen de agua en la laguna Aricota, región Tacna*. Callao. European Space Agency. (2019). Sentinel-2. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>, 1 - 20.
- Fernández, A. (2014, Julio 13). *Derretimos los glaciares: por qué es importante evitarlo*. Retrieved from Derretimos los glaciares: por qué es importante evitarlo.
- Fernández, A. (2018). *Cálculo de temperatura de superficie a partir de imágenes NOAA, Landsat y Sentinel*. Valencia - España.
- Flores, R. (2019). *Relación entre el comportamiento dinámico del área glaciar del nevado Santocoronado y las variaciones climáticas del entorno, Moquegua*. Moquegua: Universidad Nacional de Moquegua .
- Giraldo, U., & Vasquez, P. (2020). Evaluación y medición de la expansión territorial de la minería informal en la cuenca alta del Ramis, Puno, Perú, usando imágenes satelitales. *Espacio y Desarrollo*, 5-32.
- GIS&BEERS. (2020). *Tutoriales, herramientas y cursos SIG. Todo lo que deberías saber sobre imágenes Landsat 22 febrero. 2020*.
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Mexico: Mc Graw Hill Education.



- Huddart, D., & Stott, T. (2010). Past, Present and Future. Wiley Blackwell. *Earth Environments*, 1 - 20.
- Huss, E. (2015). *Quantifying glacier sensitivity to Late Glacial and Holocene climate changes in the Southern Peruvian Andes*. Estados Unidos : University of New Hampshire.
- INAIGEM. (2017). *Manual Metodológico de Inventario Nacional de Glaciares*. Ecuador: Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña.
- IPCC. (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Lima: Cambio climático 2007: Informe de síntesis.
- IPCC. (2014). Cambio Climático 2014. Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Contribución del Grupo de Trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. . *Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- López, J., Valero, B., Mark, B., Condom, T., Revuelto, J., Azorín, C., & Alejo, J. (2017). Hydrological and depositional processes associated with recent glacier recession in Yanamarey catchment, Cordillera Blanca (Peru). *Science of The Total Environment*, 579 - 596.
- Monterroso, M., Londoño, J., & Samsonov, S. (2018). *Estimación del retroceso glaciar en los volcanes Nevado del Ruiz, Tolima y Santa Isabel, Colombia a través de imágenes ópticas y Din SAR*. Colombia: Scielo.
- Montoya, H., & Fiestas, J. (2019). *Comunidades criofílicas de los glaciares del nevado de Allincapac, Andes del sur de Perú, departamento de Puno: variabilidad*



fenotípica de la cianobacteria Nostoc commune (Nostocales, Nostocaceae).

Lima: ARNALDOA.

- Navarrete, M., & Mejia, D. (2018). *Análisis multitemporal de cobertura vegetal, mediante el análisis de imágenes satelitales para diseñar estrategias de conservación en la microcuenca del río blanco, en la provincia del carchi.* Ibarra: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Peña, J. (2015). *Análisis multitemporal del retroceso glaciar de la sierra nevada del cocuy ubicada en los departamentos de Boyacá y Arauca entre los años 1992, 2003 y 2014.* Bogota: Universidad Militar Nueva Granada.
- Pozo, G. (2018). *Análisis multitemporal de la deforestación y cambio de la cobertura del suelo de la ciudad de Puerto Ayora – Santa Cruz mediante el uso de la teledetección y sistemas de información geográfica.* Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Naturales. Retrieved from <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/29495>
- Rabatel, A., & Francou, A. (2013). Current state of glaciers in Tropical Andes: a multi-century perspective on glacier evolution and climate change. *The Cryosphere.*, 81 - 102.
- Rosales, O. (2017). *Análisis Multitemporal del Uso del Suelo y Cobertura Vegetal de la Cuenca del Río Tahuando y Proyección de Cambios al Año 2031, en el Cantón Ibarra, Provincia de Imbabura.* Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
- Sanchez, J. (2021). *Uso de sensoramiento remoto, para determinar la temperatura superficial y monitorear el retroceso glaciar del nevado Coropuna – Arequipa.* Tacna: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.
- Serrano, M. (2018). *Impacto del cambio climático en el retroceso glaciar de la subcuenca del río Sahuanay, provincia de Abancay en el 2017.* Lima.



- Tordocillo, J. (2011). *Estimación del retroceso y flujo glaciar por teledetección del nevado Champará*. Callao.
- Valenzuela. (2020). *Modelamiento con herramientas SIG y uso de sensores remotos de la variabilidad hidrica y sus efectos desencadenantes en las amenazas naturales en la cuenca del rio Totare, Colombia*. Lujan.
- Veettil, B., & Pereira, S. (2016). Un analisis comparación del retroceso glaciar en los Andes Tropicales usando teledetección.
- Veettil, B., & Ruiz, S. (2016). Un análisis comparativo del retroceso glaciar en los Andes Tropicales usando teledetección. *Investig. Geogr.*, 3 - 36. Retrieved from <https://biblat.unam.mx/es/revista/investigaciones-geograficas-santiago/articulo/un-analisis-comparativo-del-retroceso-glaciar-en-los-andestropicales-usando-teledeteccion>
- Yao, X., & Liu, S. (2018). Definition and classification system of glacial lake for inventory and hazards study. *Journal of Geographical Sciences*, 193 - 205.



ANEXOS

Anexo 1. Validación de índice Kappa para el año 1970 y 1985

The screenshot displays the ArcMap interface with two validation tables and a map layout. The map layout includes four satellite images: 'IMAGEN SATELITAL AÑO 1970', 'IMAGEN SATELITAL AÑO 1985', 'COBERTURA GLACIAR AÑO 1970', and 'COBERTURA GLACIAR AÑO 1985'. A legend and a metadata box are also visible on the map.

Validation Table 1 (Top):

OBJECTID	ClassValue	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	Total	U_Accuracy	Kappa
-1	C_1	16	0	0	0	0	16	1	0
-1	C_2	0	20	0	0	0	20	1	0
-1	C_3	0	0	12	0	0	12	1	0
-1	C_4	0	0	0	10	0	10	1	0
-1	C_5	0	0	0	0	10	10	1	0
-1	Total	16	20	12	10	10	68	0	0
-1	P_Accuracy	1	1	1	1	1	0	0	0
-1	Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0

Validation Table 2 (Bottom):

OBJECTID	ClassValue	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	Total	U_Accuracy	Kappa
-1	C_1	10	0	0	0	0	10	1	0
-1	C_2	0	19	0	0	0	19	1	0
-1	C_3	0	0	22	0	0	22	1	0
-1	C_4	0	0	0	10	0	10	1	0
-1	C_5	0	0	0	0	10	10	1	0
-1	Total	10	19	22	10	10	71	0	0
-1	P_Accuracy	1	1	1	1	1	0	0	0
-1	Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0

Anexo 2. Validación de índice Kappa para el año 1990 y 1995

The screenshot displays the ArcMap interface with the following elements:

- Table of Contents:** Lists layers including 'New Data Frame', 'imagen satelital1', 'GLACIAR 1', 'DA:TESIS:RR:BORRADOR', '1990000000000000', '199000000000000000', 'C:\Users\Alexander\Deco\Extract_Isoc4', 'New_Shapefile', 'New_Shapefile', 'DA:TESIS:RR:BORRADOR', '199000000', 'imagen satelital1', and 'GLACIAR 2'.
- Main Map Area:** Shows four satellite images in a 2x2 grid:
 - Top-left: IMAGEN SATELITAL - AÑO 1990
 - Top-right: IMAGEN SATELITAL - AÑO 1995
 - Bottom-left: COBERTURA GLACIAR - AÑO 1990
 - Bottom-right: COBERTURA GLACIAR - AÑO 1995
- Table (Left):** Confusion matrix for '199000000'.

OBJECTID	ClassValue	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	Total	U_Accuracy	Kappa
-1\C_1	11	0	0	0	0	0	11	1	0
-1\C_2	0	13	0	0	0	0	13	1	0
-1\C_3	0	0	17	0	0	0	17	1	0
-1\C_4	0	0	0	10	0	0	10	1	0
-1\C_5	0	0	0	0	10	0	10	1	0
-1>Total		11	13	17	10	10	61	0	0
-1\U_Accuracy		1	1	1	1	1	0	0	0
-1\Kappa		0	0	0	0	0	0	0	0
- Table (Right):** Confusion matrix for '199500000'.

ClassValue	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	Total	U_Accuracy	Kappa
C_1	14	0	0	0	0	14	1	0
C_2	0	18	0	0	0	18	1	0
C_3	0	0	12	0	0	12	1	0
C_4	0	0	0	10	0	10	1	0
C_5	0	0	0	0	10	10	1	0
Total	14	18	12	10	10	64	0	0
U_Accuracy	1	1	1	1	1	0	0	0
Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0
- Legend:** COBERTURA GLACIAR. Includes a map of Peru and a scale of 02.

Anexo 3. Validación de índice Kappa para el año 2000 y 2005

The screenshot displays the ArcMap interface with the following elements:

- Table of Contents:** Lists various data layers including 'AÑO 2000 - ArcMap', 'New Data Frame', 'imagen satelitallll', 'GLACIAR 1', 'D:\TESS_RR BORRADO\2000\2000000000000', '2000000000000000', 'CiUsers\Alexander\0', 'isocluster17', '2000', 'GLACIAR 2', 'D:\TESS_RR BORRADO\2005\2005555', 'imagen satelitallll', 'D:\TESS_RR BORRADO\2005\2005555', 'adadadad', '2005555', 'D:\TESS_RR BORRADO\2005\2005555', 'New_Shapefile', 'isocluster18', and '2005555'.
- Table:** Shows the confusion matrix results for the year 2000. The table has columns for Class Value (C.1 to C.5), Total, U_Accuracy, and Kappa. The data is as follows:

Class Value	C.1	C.2	C.3	C.4	C.5	Total	U_Accuracy	Kappa
C.1	10	0	0	0	0	10	1	0
C.2	0	14	0	0	0	14	1	0
C.3	0	0	20	0	0	20	1	0
C.4	0	0	0	10	0	10	1	0
C.5	0	0	0	0	10	10	1	0
Total	10	14	20	10	64	64	0	0
U_Accuracy	1	1	1	1	1	1	1	0
Kappa	0	0	0	0	0	0	0	1
- Table:** Shows the confusion matrix results for the year 2005. The table has columns for Class Value (C.1 to C.5), Total, U_Accuracy, and Kappa. The data is as follows:

Class Value	C.1	C.2	C.3	C.4	C.5	Total	U_Accuracy	Kappa
C.1	10	0	0	0	0	10	1	0
C.2	0	17	0	0	0	17	1	0
C.3	0	0	20	0	0	20	1	0
C.4	0	0	0	10	0	10	1	0
C.5	0	0	0	0	10	10	1	0
Total	10	17	20	10	67	67	0	0
U_Accuracy	1	1	1	1	1	1	1	0
Kappa	0	0	0	0	0	0	0	1
- Map View:** Displays four satellite images: 'MAGEN SATELITAL - AÑO 2005' (top-left), 'MAGEN SATELITAL - AÑO 2000' (top-right), 'COBERTURA GLACIAR - AÑO 2005' (bottom-left), and 'COBERTURA GLACIAR - AÑO 2000' (bottom-right). A legend on the right side of the map view includes a title 'LEYENDA COBERTURA GLACIAR', a scale bar, and a map of Peru.

Anexo 4. Validación de índice Kappa para el año 2010 y 2015

The screenshot displays two validation tables in ArcMap. The left table, titled 'MAGEN SATELITAL - AÑO 2010', shows a confusion matrix with an overall accuracy of 0.97 and a kappa value of 0.94. The right table, titled 'COBERTURA GLACIAR - AÑO 2010', shows a confusion matrix with an overall accuracy of 0.97 and a kappa value of 0.94. Both tables include columns for Class Value, C_1 through C_5, Total, U_Accuracy, and Kappa.

Class Value	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	Total	U_Accuracy	Kappa
C_1	11	0	0	0	0	11	1	0
C_2	0	26	0	0	0	26	1	0
C_3	0	0	11	0	0	11	1	0
C_4	0	0	0	10	0	10	1	0
C_5	0	0	0	0	10	10	1	0
Total	11	26	11	10	10	68	0	0
P_Accuracy	1	1	1	1	1	0	0	0
Kappa	0	0	0	0	0	0	0	1

Class Value	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	Total	U_Accuracy	Kappa
-1 C_1	10	0	0	0	0	10	1	0
-1 C_2	0	22	0	0	0	22	1	1
-1 C_3	0	0	14	0	0	14	1	1
-1 C_4	0	0	0	10	0	10	1	1
-1 C_5	0	0	0	0	10	10	1	1
-1 Total	10	22	14	10	10	66	0	0
-1 P_Accuracy	1	1	1	1	1	0	1	1
-1 Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Ronald Jordan Quispe Arco tupa,
identificado con DNI 47557755 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
INGENIERIA AGRICOLA

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
"APLICACIÓN DE SENSORES REMOTOS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA COBERTURA
GLACIAR DEL NEVADO ALLINCAPAC (1970-2022), DISTRITO DE
MACUSANI - CDRABAYA"

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 20 de mayo del 2024



FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Ronald Jordan Quispe Arcoyupa,
identificado con DNI 47557755 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
INGENIERIA AGRICOLA

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

"APLICACIÓN DE SENSORES REMOTOS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA
COBERTURA GLACIAR DEL NEVADO ALLINCAPAC (1970-2022),
DISTRITO DE MACUSANI - CARABAYA"

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 20 de mayo del 20 24


FIRMA (obligatoria)

