

# UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**TESIS**

**EVOLUCIÓN DE LA COBERTURA GLACIAL DE LOS NEVADOS BELLA  
DURMIENTE, SAN FRANCISCO Y SU RELACIÓN CON LA TEMPERATURA EN  
EL DISTRITO DE ANANEA - PUNO, DURANTE EL PERIODO 2013 - 2023.**

**PRESENTADA POR:**

**HERACLIO HENRY HIRPANOCA CABRERA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**PUNO - PERÚ**

**2024**



Repositorio Institucional ALCIRA by [Universidad Privada San Carlos](https://www.upsc.edu.pe/) is licensed under a [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



6.11%

SIMILARITY OVERALL

SCANNED ON: 12 JUN 2024, 12:13 PM

### Similarity report

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

● IDENTICAL  
1.29%

● CHANGED TEXT  
4.81%

## Report #21657771

HERACLIO HENRY HIRPANOCA CABRERA TÍTULO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN. EVOLUCIÓN DE LA COBERTURA GLACIAL DE LOS NEVADOS BELLA DURMIENTE, SAN FRANCISCO Y SU RELACIÓN CON LA TEMPERATURA EN EL DISTRITO DE ANANEA - PUNO, DURANTE EL PERIODO 2013 - 2023. AUTOR. Heraclio Henry, Hirpanoca Cabrera ASESOR. M.Sc. Fredy Aparicio, Castillo Suaquita. ÁREA Y LÍNEA DE INVESTIGACIÓN. Área de ingeniería Tecnológica. Sub Área de Ingeniería Ambiental. Línea de investigación: Ciencias Ambientales. I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, OBJETO DE ESTUDIO O SOLUCIÓN. A escala mundial, el mayor reto al que nos enfrentamos es el cambio climático, las regiones con nevadas del mundo han ido perdiendo cantidades significativas de cubierta glaciara, esto se debe a que las temperaturas globales están aumentando debido a prácticas antropogénicas y procesos naturales insuficientes. Como resultado, entre otros factores, la desglaciación gradual de las montañas nevadas del mundo es un problema para el medio ambiente en su conjunto (Ventura, 2020). Muchos municipios costeros peruanos, entre ellos Lima, la capital del país, dependen cada vez más del agua procedente de los glaciares. El aumento de la demanda de recursos hídricos para el sector agrícola ha planteado numerosos problemas de gestión. No obstante, hay que observar el comportamiento de las minúsculas cuencas hidrográficas de las cordilleras y/o valles, ya que los glaciares son la principal fuente de abastecimiento (Jiménez & Tecse, 2021). Perú todavía contiene importantes

# UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

## FACULTAD DE INGENIERÍAS

### ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

#### TESIS

**EVOLUCIÓN DE LA COBERTURA GLACIAL DE LOS NEVADOS BELLA  
DURMIENTE, SAN FRANCISCO Y SU RELACIÓN CON LA TEMPERATURA EN  
EL DISTRITO DE ANANEA - PUNO, DURANTE EL PERIODO 2013 - 2023.**

**PRESENTADA POR:**

**HERACLIO HENRY HIRPANOCA CABRERA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

:

  
Dr. ESTEBAN ISIDRO LEON APAZA

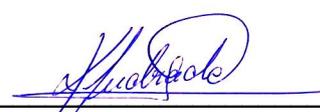
PRIMER MIEMBRO

:

  
Mg. JULIO WILFREDO CANO OJEDA

SEGUNDO MIEMBRO

:

  
Mg. KATIA ELIZABETH ANDRADE LINAREZ

ASESOR DE TESIS

:

  
M,Sc. FREDY APARICIO CASTILLO SUAQUITA

Área: Ingeniería, Tecnológica.

Sub Área: Ingeniería Ambiental.

Líneas de Investigación: Ciencias Ambientales.

Puno, 22 de julio del 2024.

## DEDICATORIA

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

A mi padre justo que desde el cielo me guía mis pasos y mi madre por que con su paciencia y esfuerzo me han permitido cumplir un sueño más, por inculcarme el ejemplo de valores éticos, responsabilidad y respeto.

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

***Heraclio Henry Hirpanoca Cabrera***

## AGRADECIMIENTOS

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

## ÍNDICE GENERAL

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

### CAPÍTULO I

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

<b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>13</b>
1.1.1 Problema General	14
1.1.2 Problemas específicos	14
<b>1.2. ANTECEDENTES</b>	<b>15</b>
1.2.1. Antecedentes internacionales	15
1.2.2. Antecedentes nacionales	16
1.2.3. Antecedentes locales	18
<b>1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>19</b>
1.3.1. Objetivo general	19
1.3.2. Objetivos específicos	19

### CAPÍTULO II

#### MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

<b>2.1. MARCO TEÓRICO</b>	<b>20</b>
2.1.1. Cobertura glaciár	20
2.1.2. Desglaciación	20
2.1.3. Observación Remota	21
2.1.4. El Espectro Electromagnético	22
2.1.5. Resolución Espacial	23
2.1.6. Imágenes Satelitales	23
2.1.7. Cambio Climático y los glaciares	25
<b>2.2. MARCO CONCEPTUAL</b>	<b>26</b>
<b>2.3. MARCO TEÓRICO NORMATIVO</b>	<b>27</b>
<b>2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>28</b>
2.4.1. Hipótesis general	28
2.4.2. Hipótesis específicas	28
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b>	
<b>3.1. ZONA DE ESTUDIO</b>	<b>30</b>
<b>3.2. TAMAÑO DE MUESTRA</b>	<b>31</b>
3.2.1 Población	31
3.2.2 Muestra	31
<b>3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS</b>	<b>31</b>
3.3.1 Métodos	31
3.3.2 Materiales	32
<b>3.4. METODOLOGÍA POR OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>32</b>
<b>3.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES</b>	<b>35</b>
<b>3.6. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO</b>	<b>35</b>

## CAPÍTULO IV

### EXPOSICION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS

<b>4.1. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN ESPACIO TEMPORAL DE LA COBERTURA GLACIAL DE LOS NEVADOS: BELLA DURMIENTE Y SAN FRANCISCO DEL DISTRITO DE ANANEA DURANTE EL PERIODO 2013 - 2023.</b>	<b>38</b>
<b>4.2. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD TEMPORAL DE LA TEMPERATURA EN EL DISTRITO DE ANANEA DURANTE EL PERIODO 2013 - 2023.</b>	<b>45</b>
<b>4.3. EXPOSICIONES Y ANÁLISIS DE LA CORRELACIÓN ENTRE LA VARIACIÓN DE LA COBERTURA GLACIAL DE LOS NEVADOS: BELLA DURMIENTE, SAN FRANCISCO Y LA TEMPERATURA EN EL DISTRITO DE ANANEA DURANTE EL PERIODO 2013 - 2023.</b>	<b>49</b>
<b>4.4. PROCESO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS</b>	<b>50</b>
4.4.1. Prueba de hipótesis para el objetivo específico 1.	51
4.4.2. Prueba de hipótesis para el objetivo específico 2.	51
4.4.3. Prueba de hipótesis para el objetivo específico 3.	52
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>54</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>56</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>57</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>63</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 01:</b> Ubicación geopolítica del nevado.	31
<b>Tabla 02:</b> Operacionalidad de Variables.	35
<b>Tabla 03:</b> Grado de correlación.	37
<b>Tabla 04:</b> Cambios temporales de la cobertura glaciar Bella durmiente, 2013 - 2023.	39
<b>Tabla 05:</b> Cambios temporales de la cobertura glaciar de San Francisco, 2013 - 2023.	40
<b>Tabla 06:</b> Estadística descriptiva del área glaciar, periodo (2013 - 2023).	42
<b>Tabla 07:</b> Pruebas de normalidad para la variable cobertura glaciar.	45
<b>Tabla 08:</b> Estadística descriptiva de las temperaturas, periodo (2013 - 2023).	47
<b>Tabla 09:</b> Pruebas de normalidad para la variable temperaturas.	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 01:</b> Desglaciación en los Andes peruanos	21
<b>Figura 02:</b> Elemento de un programa de detección a distancia	22
<b>Figura 03:</b> Espectro electromagnético	23
<b>Figura 04:</b> Niveles digitales (ND)	24
<b>Figura 05:</b> Cambio Climático y los glaciares	26
<b>Figura 06:</b> Ubicación del nevado.	30
<b>Figura 07:</b> Cambio de la cobertura glaciar durante el 2013 y 2023.	41
<b>Figura 08:</b> Cambio de la cobertura glaciar Bella durmiente durante el 2013 y 2023.	43
<b>Figura 09:</b> Cambio de la cobertura glaciar de San Francisco durante el 2013 y 2023.	43
<b>Figura 10:</b> Mapa de cambio temporal de la cobertura glaciar durante el 2013 y 2023.	44
<b>Figura 11:</b> Regresión lineal del área de las cubiertas glaciares, con respecto al tiempo.	44
<b>Figura 12:</b> Gráfico de temperaturas máximas y mínimas durante el 2013 - 2023.	46
<b>Figura 13:</b> Gráfico de temperaturas máximas y mínimas durante el 2013 - 2023.	48
<b>Figura 14:</b> Regresión lineal del área de las cubiertas glaciares, con respecto a la Tmax.	49
<b>Figura 15:</b> Regresión lineal del área de las cubiertas glaciares, con respecto a la Tmin.	50
<b>Figura 16:</b> Correlación Spearman de las variables del 2013 - 2023.	53

## INDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>Anexo 01:</b> Matriz de consistencia.	64
<b>Anexo 02:</b> Descarga de imágenes satelitales Landsat 8, de la plataforma Google Earth Engine.	66
<b>Anexo 03:</b> Descarga de temperaturas (TerraClimate)	67
<b>Anexo 04:</b> Proceso en R	68
<b>Anexo 05:</b> Proceso del NDSI en R	69
<b>Anexo 06:</b> Mejoramiento de la imagen satelital en R	70
<b>Anexo 07:</b> Proceso de extracción en R.	71
<b>Anexo 08:</b> Panel fotográfico.	72

## RESUMEN

El retroceso glaciar es uno de los signos del cambio climático. La presente investigación tuvo como objetivo determinar la evolución de la cobertura glaciar de los nevados: Bella Durmiente, San Francisco y su relación con la temperatura en el distrito de Ananea - Puno, durante el periodo 2013 - 2023, se evaluaron mediante los softwares de R-Studio (v4.3.3) y QGis (v3.34.4). Los materiales utilizados fueron las fotografías aéreas de Landsat 8 de colección 1 y Nivel 2, las fotografías fueron obtenidas de la plataforma geomática Google Earth Engine (GEE) corregidas de valores digitales a reflectancia (TOA). Para calcular la cantidad de cubierta de nieve se utilizó el índice diferencial normalizado de la cubierta de nieve (NDSI>0,4), sugerido por (Dozier, 2018). Los resultados obtenidos indican un retroceso de la cobertura glaciar, en el año 2013 presentaba 104.86 Ha, 56.98 Ha y en el año 2023 llegó a 80.91 y 40.42 Ha, durante los 11 años de estudios el nevados Bella durmiente y San Francisco tuvieron una variación de -4.50 Ha y una tasa de cambio de -26.97%, mediante el análisis estadístico de Spearman, existe una correlación negativa  $r = -0.94$  respecto a los años, correlación negativa considerable  $r = -0.82$  y  $-0.71$ ; entre las variables de temperatura máxima, mínima y una correlación moderada  $r = 0,17$  de la precipitación acumulada, también los valores de - p (bilateral) fueron significativas ( $<0,0001$ ), comparado con el nivel de significación es menor a (0,05). Se concluye que las coberturas glaciares durante los últimos 11 años, ha decrecido estadísticamente significativamente, debido al aumento exponencialmente de las temperaturas máximas y mínimas, del nevado Bella durmiente y San Francisco.

**Palabras clave:** Clima, Cobertura glaciar, Desglaciación, Imagen landsat, Teledetección.

## ABSTRACT

Glacial retreat is one of the signs of climate change. The objective of this research was to determine the evolution of the glacial coverage of the snow-capped mountains: Bella Durmiente, San Francisco and its relationship with the temperature in the district of Ananea - Puno, during the period 2013 - 2023. They were evaluated using the software of R-Studio (v4.3.3) and QGis (v3.34.4). The materials used were Landsat 8 aerial photographs of collection 1 and Level 2, the photographs were obtained from the Google Earth Engine (GEE) geomatics platform corrected from digital values to reflectance (TOA). To calculate the amount of snow cover, the normalized differential snow cover index (NDSI>0.4) was used, suggested by (Dozier, 2018). The results obtained indicate a decline in glacial coverage, in 2013 it had 104.86 Ha, 56.98 Ha and in 2023 it reached 80.91 and 40.42 Ha, during the 11 years of studies the snow-capped Bella Durmiente and San Francisco had a variation of -4.50 Ha and a change rate of -26.97%, through Spearman's statistical analysis, there is a negative correlation  $r = -0.94$  with respect to the years, considerable negative correlation  $r = -0.82$  and  $-0.71$ ; between the variables of maximum and minimum temperature and a moderate correlation  $r = 0.17$  of the accumulated precipitation, also the values of  $-p$  (bilateral) were significant ( $<0.0001$ ), compared to the level of significance is less than (  $0.05$ ). It is concluded that glacial coverage during the last 11 years has decreased statistically significantly, due to the exponential increase in maximum and minimum temperatures of the snow-capped Sleeping Beauty and San Francisco.

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

## INTRODUCCIÓN

En el nevado Bella durmiente y San Francisco, los cambios de factores abióticos, la minería influye en el rápido proceso de deglaciación que incluyen la reducción de la superficie glaciar, el retroceso de los frentes glaciares, la expansión y el desarrollo de nuevas lagunas y la presencia de glaciares colgantes (Molano et al., 2022).

La importancia de este estudio radica en el análisis de datos medioambientales en la plataforma Google Earth Engine, una plataforma a escala planetaria que recopila más de 40 años de imágenes de satélite recientes e históricas de todo el mundo y ofrece las herramientas y la potencia informática necesarias para analizar y extraer conocimientos de este enorme acervo de datos (Bolívar, 2018).

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

En el estado de Cusco, evaluaron la regresión glaciar de los picos nevados de Salkantay y Verónica mediante un estudio multitemporal, en sus resultados presentaron: que los nevados habían experimentado una tasa de retroceso glaciar notablemente elevada durante un periodo de 30 años (1990-2020). Salkantay perdió 1691,65 ha (16,9165 km<sup>2</sup>) de superficie glaciar, y Verónica 1851,47 ha (18,5147 km<sup>2</sup>); estos cambios se consideraron significativos para ambas montañas. Se prevé que el retroceso de los glaciares continúe de forma exponencial debido a los numerosos cambios climáticos de los últimos años, esto tendría efectos perjudiciales para toda la vida dentro de la esfera de influencia de las montañas nevadas (Follanos y Sarmiento, 2020).

La investigación tiene como hipótesis; el retroceso de la cobertura glaciar del nevado Bella durmiente y San Francisco es significativo por la influencia de los elementos climáticos, período 2013 - 2023.

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

La investigación consta de cuatro capítulos:

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

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

En el Capítulo III, se llevó a cabo la parte metodológica, donde se aborda sobre el retroceso de la cobertura glaciar del nevado Bella durmiente y San Francisco por influencia de elementos climáticos, período 2013 - 2023, también está conformado el tamaño de la muestra y los métodos estadísticos.

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

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

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

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

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

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

Debido a su ubicación por encima de los 5.000 metros sobre el nivel del mar, los glaciares de los nevados Bella Durmiente y San Francisco son susceptibles a la variabilidad climática y, por tanto, no son inmunes a los problemas mencionados (Baraer et al., 2014).

La cubierta glaciaria de estos montes nevados es importante para el medio ambiente porque controla los procesos climáticos, y también lo es para la economía y la sociedad, ya que abastece de agua a los habitantes del distrito de Ananea. Para comprender el alcance de los procesos de pérdida de glaciares y las zonas afectadas, es crucial conocer los cambios temporales que se han producido en estos nevados (Xiao et al., 2022). As a result, the changes in glacier cover are tracked using remote sensing as a temporal informatics tool (Wang et al., 2021), a medida que han ido aumentando la sofisticación y la variedad de las tecnologías de teledetección para vigilar la superficie terrestre (Sagredo et al., 2014). Además, si no tienes acceso a los glaciares, es tu única forma de estudiarlos.

### **1.1.1 Problema General**

¿Cómo es la evolución de la cobertura glaciaria de los nevados: Bella Durmiente, San Francisco y su relación con la temperatura en el distrito de Ananea - Puno, durante el periodo 2013 - 2023?

### **1.1.2 Problemas específicos**

- ¿Cómo es la variación espacio temporal de la cobertura glaciaria de los nevados: Bella Durmiente y San Francisco del distrito de Ananea durante el periodo 2013 - 2023?
- ¿Cómo es la variabilidad temporal de la temperatura en el distrito de Ananea durante el periodo 2013 - 2023?

- ¿Cuál es la correlación entre la variación de la cobertura glacial de los nevados: Bella Durmiente, San Francisco y la temperatura en el distrito de Ananea durante el periodo 2013 - 2023?.

## 1.2. ANTECEDENTES

### 1.2.1. Antecedentes internacionales

- Ruiz (2018), creó un modelo para comprender la evolución de un depósito artificial de hielo o glaciar en su tesis "Análisis geomorfológico, sedimentológico y cronoestratigráfico de los depósitos glaciares, periglaciares y glucogénicos en la cordillera de los Andes y zonas adyacentes entre los paralelos 42° y 43° LS, desde el último período glaciar". Esta metodología se basó en mediciones del balance energético de la cubierta glaciar realizadas durante un periodo de 5 años y configuradas como un cono geométrico. Se descubrió que el glaciar puede desarrollar un volumen de 200 a 400 m<sup>3</sup>, y una altura de 2100 m sobre el nivel del mar cuando se añadió a estos datos un factor de extensión.
- Silva y Gonzales (2020), en la bahía de Larsen B, situada al noreste de la península Antártica, analizaron específicamente glaciares que desembocan sus aguas ha depósito de agua dulce, en sus resultados reportaron que: el mayor recurso de agua dulce del mundo se encuentra en forma de hielo en la Antártida. Argentina y las demás naciones signatarias del Tratado Antártico están alarmadas por el informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, que prevé un aumento de 1,1 °C de la temperatura media mundial. El Instituto Antártico Argentino lleva décadas estudiando continuamente los glaciares de la Península Antártica para determinar cómo repercute este aumento de la temperatura en las masas de hielo. En los últimos años se ha observado un retroceso más rápido de los glaciares de la bahía Larsen B, al noreste de la península antártica

- Zhang et al. (2022), en Asia central, realizaron una investigación sobre el efecto del cambio climático en el flujo de los glaciares y las cuencas glaciares de la montaña Harlik de las montañas Tianshan orientales, en sus resultados reportaron: durante los cuarenta años anteriores, el volumen total de los glaciares había disminuido en 0,018 km<sup>3</sup> y la superficie glaciar se había reducido en un 13%. Tanto para la escorrentía anual como para la escorrentía mensual (de mayo a septiembre;  $p < 0,01$ ), se observó una tendencia significativa al aumento ( $p < 0,01$ ). El río Yushugou recibió una importante recarga de la escorrentía glaciar, según los datos de simulación, y el balance de masa glaciar a escala de cuenca de los 38 años anteriores mostró una tendencia negativa.
- Molano et al. (2022), en Colombia, evaluaron el retroceso de glaciares mediante clasificación de fotografías aéreas multisensor en la Sierra Nevada del Cocuy, en sus resultados reportaron que en el transcurso de 34 años, la cobertura glaciar ha disminuido en 1099,59 ha (1987-2021). Según el análisis, la superficie cubierta por glaciares se redujo aproximadamente un 37,92% en comparación con la imagen original de 1987. El Niño y otras variables de variabilidad climática, así como las vinculadas al calentamiento global, como el aumento de la temperatura media anual y el descenso de las precipitaciones, tienen un gran impacto en el ritmo de retroceso de los glaciares.

### 1.2.2. Antecedentes nacionales

- Follanos y Sarmiento (2020), en Cusco, evaluaron la regresión glaciar de los picos nevados de Salkantay y Verónica mediante un estudio multitemporal, en sus resultados presentaron: que los nevados habían experimentado una tasa de retroceso glaciar notablemente elevada durante un periodo de 30 años (1990-2020). Salkantay perdió 1691,65 ha (16,9165 km<sup>2</sup>) de superficie glaciar, y Verónica 1851,47 ha (18,5147 km<sup>2</sup>); estos cambios se consideraron significativos para ambas

montañas. Se prevé que el retroceso de los glaciares continúe de forma exponencial debido a los numerosos cambios climáticos de los últimos años, esto tendría efectos perjudiciales para toda la vida dentro de la esfera de influencia de las montañas nevadas.

- Blancas et al. (2020), evaluaron los cambios en los patrones de cobertura de nieve y las áreas nevadas en el sur de Perú hasta 2030. Sus resultados muestran un notable descenso de las áreas nevadas, especialmente entre 2002 y 2009. Utilizando información del sistema PISCO (SENAMHI), se identificaron tendencias en el aumento de las anomalías de temperatura máxima y mínima del orden de  $0,5^{\circ}\text{C}$ . Finalmente, al estimar el área nevada en 2030 mediante la técnica de Markov, se descubrió una disminución mayor a la observada durante el periodo de análisis.
- Quispe (2023), en Junín, analizó el impacto del retroceso glaciar del nevado Huaytapallana sobre los humedales dentro del Área de Conservación Regional Huaytapallana entre 1990 y 2020, tanto en términos espaciales como temporales, en los resultados mostró tras 30 años de análisis, se estimó que la superficie glaciar era de  $27,73 \text{ km}^2$  en 1990 y de  $15,71 \text{ km}^2$  en 2020, lo que supone una disminución del 56,65%. A partir de los datos recogidos sobre la cobertura glaciar, se determinó una tasa de 0,42. El índice de temperatura de la superficie terrestre, que se correlacionó con la reducción de la cubierta glaciar y dio lugar a una pérdida de superficie de  $28,93 \text{ km}^2$ , se calculó utilizando la función del índice diferencial de nieve normalizado (NDSI)/año de retroceso de los glaciares, basándose en datos empíricos, el análisis del estudio determina que existe una conexión negativa (inversa) estadísticamente significativa entre las variables.
- Calderon y Mora (2022), en Cusco, realizaron una modelación por teledetección del retroceso glaciar de la cordillera de Vilcabamba debido al cambio climático entre 2013 y 2021, en sus resultados reportaron mediante el índice de temperatura de la

superficie terrestre, que se correlacionó con la reducción de la cubierta glaciar y dio lugar a una pérdida de superficie de 28,93 km<sup>2</sup> que se calculó utilizando la función del índice diferencial de nieve normalizado (NDSI), con temperaturas medias entre -7,46°C y 13,28°C, y una superficie de 48,92 km<sup>2</sup> prevista hasta 2030 utilizando una ecuación de regresión lineal para la estimación futura.

- Aedo y Quispe (2022), en Cusco, estimaron el retroceso del Nevado Chicón y la predicción mediante un análisis multitemporal que abarca el periodo 1985-2021, en sus resultados mostraron que el:  $R^2$  modificada del modelo, que muestra un valor de 0,7647 en los resultados, indica que tiene un muy buen grado de explicación, explicando el 76,47% de la variabilidad de la superficie total en km<sup>2</sup> del nevado Chicón. Según la prueba de  $(\text{Prob} > F) = 0,00$ , se establece que el modelo es significativo y que la variable independiente, años, influye en la variación de la superficie total del campo de nieve Chicón.

### 1.2.3. Antecedentes locales

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

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

### **1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Determinar la evolución de la cobertura glacial de los nevados: Bella Durmiente, San Francisco y su relación con la temperatura en el distrito de Ananea - Puno, durante el periodo 2013 - 2023.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Conocer la variación espacio temporal de la cobertura glacial de los nevados: Bella Durmiente y San Francisco del distrito de Ananea durante el periodo 2013 - 2023.
- Identificar la variabilidad temporal de la temperatura en el distrito de Ananea durante el periodo 2013 - 2023.
- Establecer la correlación entre la variación de la cobertura glacial de los nevados: Bella Durmiente, San Francisco y la temperatura en el distrito de Ananea durante el periodo 2013 - 2023.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

#### 2.1. MARCO TEÓRICO

##### 2.1.1. Cobertura glaciar

Un glaciar se define como cualquier masa de agua en estado sólido que se forma de manera natural, ha existido por al menos diez años, y puede presentar neviza y nieve en su superficie de manera ocasional o estacional. Además, puede contener material rocoso en su superficie o en su interior y muestra signos de movimiento, ya sea en el presente o en el pasado, sin importar su tamaño, forma o ubicación.

Un glaciar es una masa de hielo compacta que se forma a partir de la acumulación de nieve que, al permanecer en el mismo lugar durante mucho tiempo, se transforma en hielo. Estas enormes masas pueden desplazarse lentamente, formando grietas y lagos, y contienen más del 75 % del agua dulce del planeta.

##### 2.1.2. Desglaciación

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

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



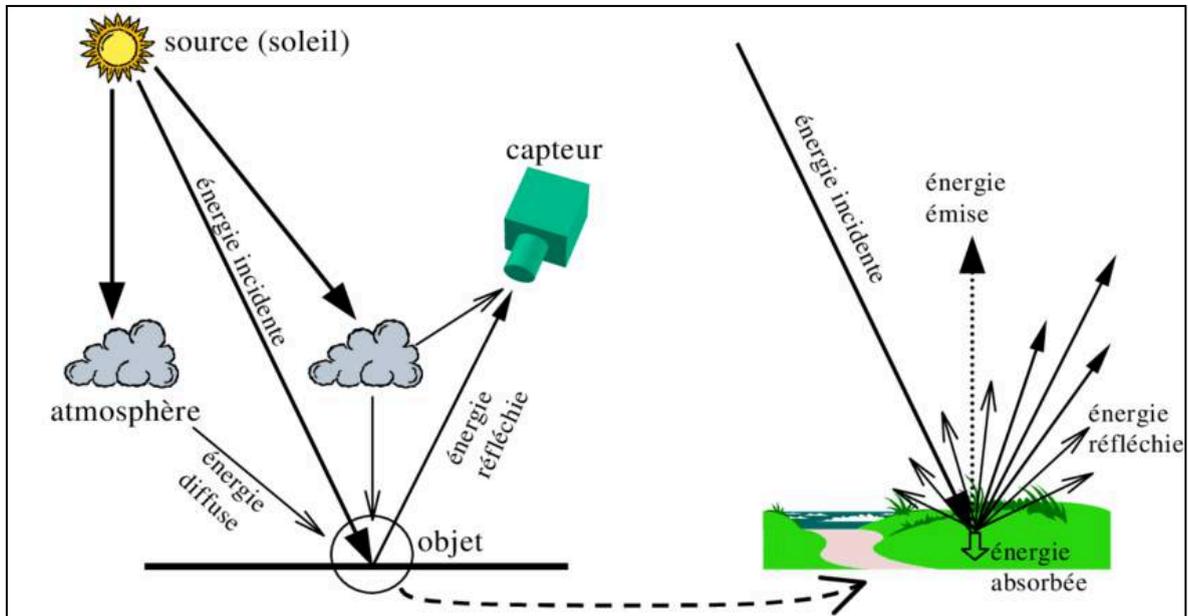
**Figura 01:** Desglaciación en los Andes peruanos

### 2.1.3. Observación Remota

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

Las imágenes de satélite, como las de LANDSAT, se utilizan para la observación a distancia. Estas imágenes tienen 8 bandas espectrales, que al combinarse producen una variedad de imágenes con diferentes colores que pueden utilizarse para trabajos de tipo

interpolación. Como resultado, sus aplicaciones son variadas, incluyendo la vigilancia y/o el análisis térmico. Todo ello es posible gracias a que la resolución espacial de estas imágenes oscila entre 15, 30, 60 y 120 m



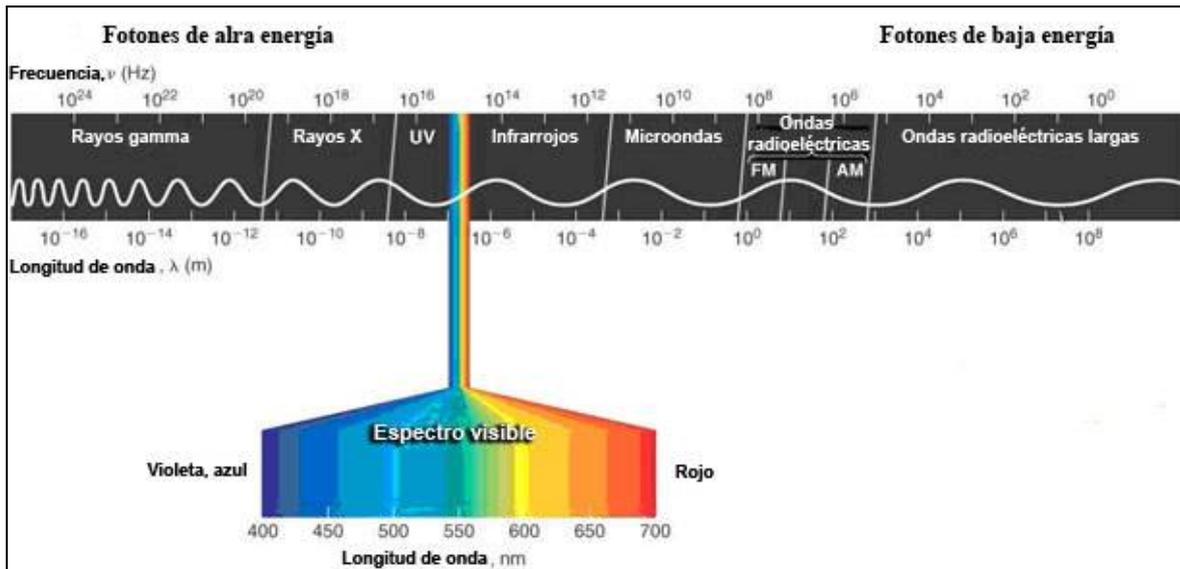
**Figura 02:** Elemento de un programa de detección a distancia

#### 2.1.4. El Espectro Electromagnético

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

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

Los rayos gamma poseen las longitudes de onda más cortas y las frecuencias más altas que se conocen. Estas ondas de alta energía pueden recorrer grandes distancias a través del aire y son extremadamente penetrantes



**Figura 03:** Espectro electromagnético

### 2.1.5. Resolución Espacial

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

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

### 2.1.6. Imágenes Satelitales

#### 2.1.6.1 Pre procesamiento de imágenes satelitales

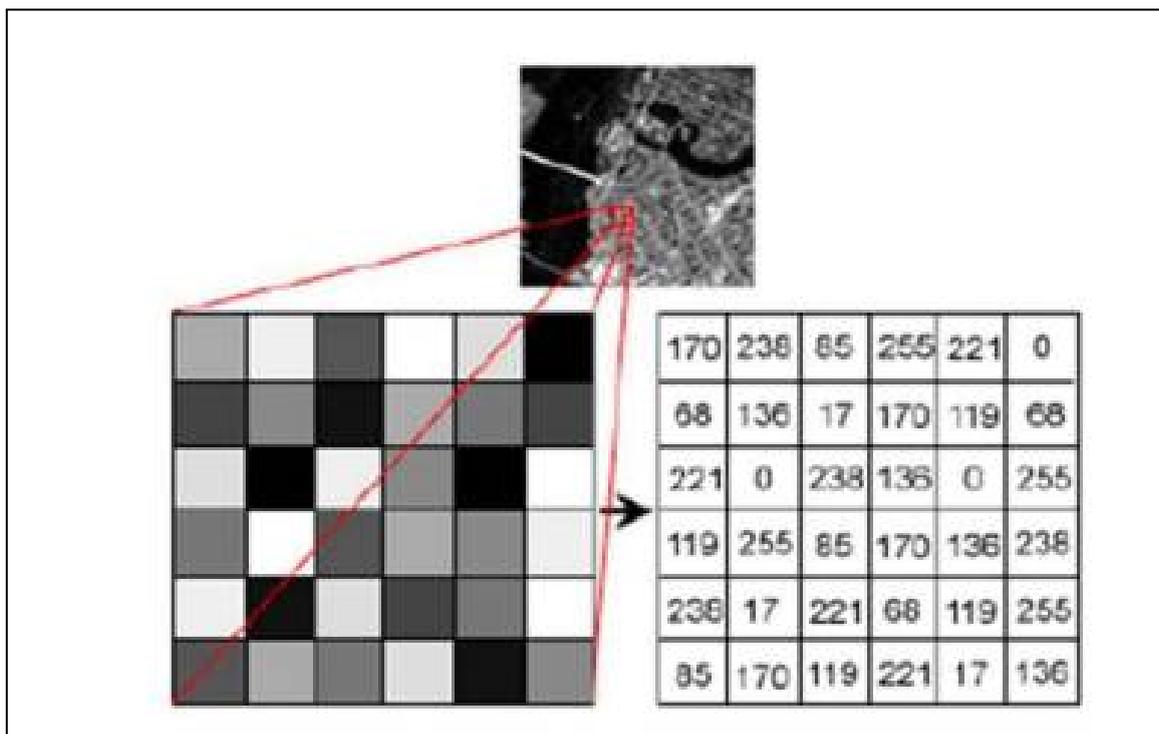
Es posible realizar toda una serie de investigaciones utilizando un conjunto de procedimientos y técnicas denominados preprocesamiento de imágenes de satélite. El preprocesamiento se realiza para garantizar que los resultados sean de mayor calidad cuando se utilicen para un fin determinado

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

### 2.1.6.2 ND (Niveles digitales)

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

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



**Figura 04:** Niveles digitales (ND)

### 2.1.6.3 Correcciones geométricas o georreferenciación

Las anomalías observadas en una imagen se reparan mediante técnicas geométricas y radiométricas durante los procesos de corrección de imágenes

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

#### 2.1.6.4 Correcciones atmosféricas

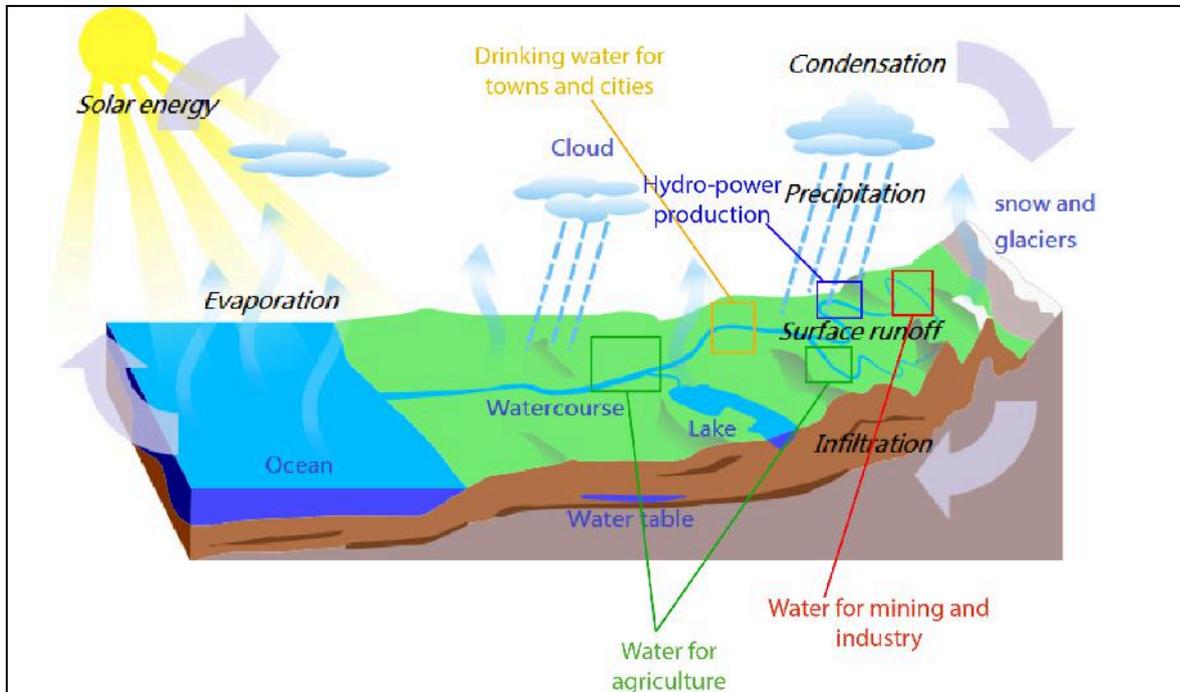
indica que las relaciones duales, que son necesarias para enfocar las simulaciones de los modelos de radiación que tenemos para la atmósfera, se crean cuando se utilizan modelos sin fluctuaciones en la línea de tierra. Como resultado de la comparación funcional, esta conclusión, que se considera en términos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

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

#### 2.1.7. Cambio Climático y los glaciares

El consumo de hidrocarburos, gases y carbón, que es de donde procede la mayor parte del dióxido de carbono liberado a la atmósfera, así como la tala de árboles y los incendios forestales, son otras causas humanas del cambio climático. Todos los elementos mencionados contribuyen al «efecto invernadero», que disminuye la cobertura de los glaciares y aumenta el calentamiento global, porque estos gases atrapan el calor del sol. La desaparición de los glaciares, que son los mayores proveedores de agua dulce del mundo, sería desastrosa porque podría desencadenar la extinción de ecosistemas enteros que dependen de ellos para abastecerse de agua dulce. El deshielo de las capas

de hielo, conocido como glaciación, que tiene como consecuencia el adelgazamiento de las capas de hielo y/o la pérdida de superficie glaciar, viene indicado por la presencia de glaciares



**Figura 05.** Cambio Climático y los glaciares

## 2.2. MARCO CONCEPTUAL

- **Glaciar:** Una cantidad significativa de hielo que se ha desarrollado en la superficie de la tierra como resultado de la acumulación y compactación de la nieve y que se ha desplazado hacia abajo por la fuerza de la gravedad
- **Temperatura:** Es un número gradiente físico que describe la energía interna de un sistema termodinámico, más concretamente, la energía cinética media de las partículas constituyentes del sistema, que indica su movimiento. Como no tiene nada que ver con la masa física del cuerpo, es una propiedad intrínseca
- **Cambio climático:** Abarca cualquier alteración del clima provocada por la actividad humana o por fenómenos naturales cíclicos. También se incluye el aumento de la temperatura global

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

### 2.3. MARCO TEÓRICO NORMATIVO

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

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

## **Artículo 4.- Competencias y fines generales de la Entidad**

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

- a) De acuerdo con la legislación vigente, la Autoridad Nacional del Agua, y los gobiernos regionales y locales, elaboran y recomiendan la aprobación de la Política Nacional y el Plan Nacional para los Glaciares y Ecosistemas de Montaña.
- b) Investigar y seguir el comportamiento y la evolución de los glaciares y los ecosistemas de montaña, así como el impacto de la presión del medio ambiente y otras causas, y desarrollar las medidas preventivas necesarias.

## **2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **2.4.1. Hipótesis general**

La evolución de la cobertura glacial de los nevados: Bella Durmiente, San Francisco y su relación con la temperatura en el distrito de Ananea - Puno, durante el periodo 2013 - 2023, es significativa.

### **2.4.2. Hipótesis específicas**

- La variación espacio temporal de la cobertura glacial de los nevados: Bella Durmiente y San Francisco del distrito de Ananea, es descendente durante el periodo 2013 - 2023.
- La variabilidad temporal de la temperatura en el distrito de Ananea, es ascendente durante el periodo 2013 - 2023.
- La correlación entre la variación de la cobertura glacial de los nevados: Bella Durmiente, San Francisco y la temperatura en el distrito de Ananea durante el

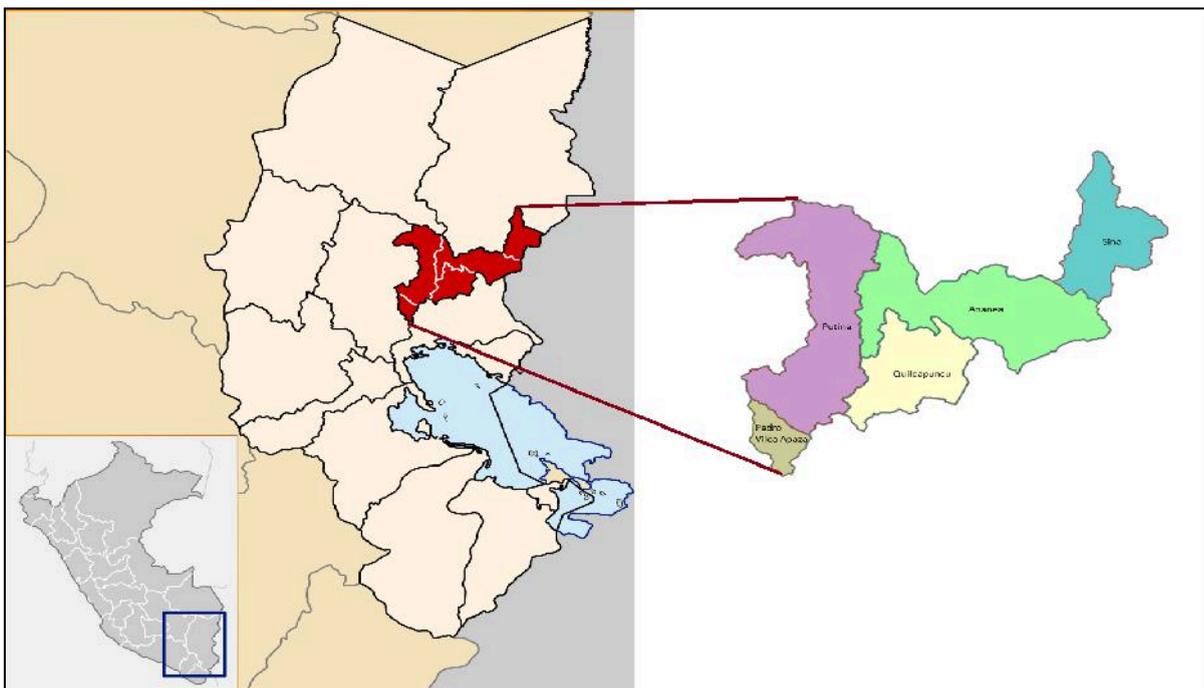
periodo 2013 - 2023, es significativa.

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. ZONA DE ESTUDIO

Los dos nevados objeto de este estudio están situados en la localidad peruana de Ananea, que se encuentra en el distrito de Ananea, centro poblado de La Rinconada, región Puno, provincia de San Antonio de Putina. Sirve también como capital del distrito de Ananea. La Rinconada se encuentra a 5015 msnm, y está situada a 4650 msnm.



**Figura 06:** Ubicación del nevado.

#### Ubicación Geopolítica

**Tabla 01:** Ubicación geopolítica del nevado.

Regiones	Provincias	Distritos
→ Puno	→ San Antonio de Putina	→ Ananea

### 3.2. TAMAÑO DE MUESTRA

#### 3.2.1 Población

La población del estudio está formada por todos los nevados altoandinos, incluidos el Lunar, el Bella Durmiente y el San Francisco, en la zona de Ananea. Estas montañas forman parte de la cordillera oriental de los Andes.

#### 3.2.2 Muestra

El investigador elige la muestra basándose en los atributos de la unidad de estudio y no utilizando ningún tipo de probabilidad. Como resultado, Bella Durmiente y San Francisco, situados en la zona altoandina de Ananea a una altitud media de 5557 m.s.n.m, comprende toda la superficie de los nevados.

### 3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS

#### 3.3.1 Métodos

##### Tipo de investigación

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

##### Diseño de Investigación.

El trabajo de investigación fue no experimental, pues no se manipularon las variables, lo que se hizo es observar las unidades empíricas o variables tal y como se dan en su contexto natural para después analizarlos, el diseño de investigación por su alcance temporal será seccional o transversal, toda vez que se recolectarán los datos en un solo

momento, en un tiempo único, su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelacionar en un momento determinado

### 3.3.2 Materiales

#### Equipos

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

#### Programas

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

### 3.4. METODOLOGÍA POR OBJETIVOS ESPECÍFICOS

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

**Técnica de observación:** Es el proceso de examinar atentamente una cosa para asimilar plenamente la naturaleza del todo, incluido su conjunto de datos, hechos y fenómenos.

**Metodología para el objetivo específico O1:** Conocer la variación espacio temporal de la cobertura glacial de los nevados: Bella Durmiente y San Francisco del distrito de Ananea durante el periodo 2013 - 2023.

Se utilizaron imágenes satelitales Landsat 8 y 9, que fueron obtenidas del USGS (Servicio Geológico de los Estados Unidos) del área de estudio, para establecer los niveles de retroceso glacial del nevado Bella Durmiente y San Francisco del distrito de Ananea. Las imágenes satelitales facilitaron el acceso a los datos geoespaciales, los cuales fueron utilizados para determinar si existe un retroceso del nevado Bella Durmiente y San Francisco del distrito de Ananea.

- **Definición del área (Bella Durmiente y San Francisco del distrito de Ananea).**

Sólo será esencial una escena de la imagen satelital del USGS, que cubra toda el área de estudio. La coordenada UTM utilizada para mejorar la georreferenciación fue WGS84, y esto se logró utilizando el software Qgis.

#### - **Cálculo del Índice Diferencial Normalizado de Nieve (NDSI)**

En este estudio, la diferencia normalizada se calculó mediante dos bandas los cuales son el espectro visible y el infrarrojo cercano o infrarrojo de onda corta, se utilizó para calcular el NDSI (Índice de Diferencia Normalizada). Esta información se introdujo en la Calculadora Raster/Raster, donde los cálculos se realizaron utilizando las siguientes fórmulas.

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

**Donde:**

- NDSI (Landsat 8) = (B3 – B6) / (B3 + B6)
- NDSI (Landsat 4 – 7) = (B2 – B5) / (B2 + B5)

#### - **Cálculo del Índice Glaciar Diferencial Normalizado (NDGI)**

Las diferencias normalizadas del espectro visible y de las bandas del infrarrojo cercano o del infrarrojo de onda corta se introdujeron en la calculadora de raster para calcular el NDGI (Índice de Diferencia Normalizada) de esta investigación. A continuación, se utilizaron las siguientes fórmulas para completar el cálculo en este índice.

$$NDGI = \frac{(NIR - Green)}{(NIR + Green)}$$

**Donde:**

- NDGI (Landsat 8) = (B3 – B4) / (B3 + B4)
  - NDGI (Landsat 4 – 7) = (B2 – B3) / (B2 + B3)
- **Extracción de cobertura de nieve periodo (2018-2023)**

Esta condición se establece en el USGS, razón por la cual no se realiza ningún procedimiento adicional para eliminar las perturbaciones atmosféricas en las imágenes extraídas del United States Geological Survey. Para esto se ingresa a Raster/Calculator raster, se establece que el proceso de extracción de píxeles mayores a  $(0.4 - 1) \mu\text{m}$  umbral se establece a partir del índice NDSI, siendo que este valor menciona la cubierta de nieve.

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

- **Determinación de tasa de cambio anual**

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

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

**Donde:**

$Td$  = Tasa de desglaciación en porcentajes

$S_2$  = Área de nieve en el año final

$S_1$  = Área de nieve en el año inicial.

$n$  = Número de años del periodo de análisis.

**Metodología para el objetivo específico O2:** Identificar la variabilidad temporal de la temperatura en el distrito de Ananea durante el periodo 2013 - 2023.

Los datos hidrometeorológicos se han obtenido del (TerraClimate), pertenecientes a la región de estudio (nevado Bella Durmiente y San Francisco del distrito de Ananea). TerraClimate es un sistema para la visualización y descarga de datos climáticos a escala global basado íntegramente en aplicaciones de código abierto. Se descargaron las

temperaturas mensualmente, durante los años 2013 y 2023, posteriormente se tabularon para analizarlos.

**Metodología para el objetivo específico O3:** Establecer la correlación entre la variación de la cobertura glacial de los nevados: Bella Durmiente, San Francisco y la temperatura en el distrito de Ananea durante el periodo 2013 - 2023.

En esta parte del objetivo se verá si existe alguna relación del retroceso glacial con respecto a las temperaturas, en función a los objetivos 1 y 2.

### 3.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

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

Efecto o variable dependiente (VD): Retroceso de la cobertura glacial del nevado Allinapac.

**Tabla 02:** Operacionalidad de Variables.

Variables	Indicadores	Unidad de Medición	Tipos de variables
<b>Temperaturas</b>			
(VI) Influencia de las temperaturas	Máximas	°C	Independiente
	Mínimas	°C	
	Mensual	°C	
	Anual	°C	
(VD) Retroceso de la cobertura glaciar	Áreas	Ha %	Dependiente

### 3.6. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO

#### Tratamiento de pruebas estadísticas

Una de las fases más importantes en la investigación cuantitativa, consiste en el procesamiento, análisis e interpretación de los datos recolectados mediante las

fotografías aéreas, para lo cual en este trabajo de investigación se aplicará la estadística inferencial, aquella que ayuda al investigador a encontrar significatividad a sus resultado

### **Pruebas de normalidad**

Para determinar una adecuada prueba estadística de correlación que expliquen las relaciones entre variables, primeramente, se determinó el supuesto paramétrico de normalidad de los datos.

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

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

### **Coefficiente de correlación (r)**

Según Asuero et al. (2006), se refiere a la fuerza de la asociación lineal que establece la fuerza de la relación entre dos variables. Cuando se realizan pruebas paramétricas, el coeficiente de correlación se calcula mediante el método de Pearson; en caso contrario (Artusi et al., 2002), se utiliza el método de Spearman. Para interpretar la fuerza de la relación, los rangos del coeficiente de correlación se fijan entre -1 y +1, se utiliza la tabla 03.

**Tabla 03:** Grado de correlación.

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

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

**Para contrastar las hipótesis:**

Se procedió del siguiente modo; teniendo en cuenta que se quiere evaluar el retroceso de la cobertura glaciaria del nevado Ananea de la cordillera Apolobamba causado por la influencia de los elementos climáticos, período 2015 - 2023, se usó el procedimiento estadístico de prueba de hipótesis Regresión Lineal Simple de Pearson, en el software estadístico R-Studio, aplicando el siguiente criterio, un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$  y un nivel de confianza al 95%.

**Criterio para decidir:**

P-valor =  $< \alpha$ , se rechaza la  $H_0$  (Se acepta la  $H_A$ ).

P-valor =  $> \alpha$ , se acepta la  $H_0$  (Se rechaza la  $H_A$ ).

## CAPÍTULO IV

### EXPOSICION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS

#### 4.1. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN ESPACIO TEMPORAL DE LA COBERTURA GLACIAL DE LOS NEVADOS: BELLA DURMIENTE Y SAN FRANCISCO DEL DISTRITO DE ANANEA DURANTE EL PERIODO 2013 - 2023.

Se estimó el área del retroceso de la cobertura glaciaria del nevado Bella durmiente y San Francisco durante los periodos 2013 y 2023. De acuerdo con las imágenes satelitales Landsat-8, obtenidas de la plataforma geomática Google earth engine (GEE) ya corregidas de valores digitales a reflectancias (TOA), tan solo se aplicaron el lenguaje de programación JavaScript, la adquisición de descarga se tomaron con una cobertura de nubosidad menor ( $<$ ) al 5% como se muestra en el (Anexo 02), el cálculo del Índice Diferencial Normalizado de Nieve (NDSI) se desarrolló en el software R-Studio.

**Tabla 04:** Cambios temporales de la cobertura glaciar Bella durmiente, 2013 - 2023.

Periodos	Cobertura glaciar Bella durmiente			
	Área en (Ha)	Variación del área en (Ha)	Tasa de cambio en (%)	Porcentajes (%)
2013	104.86	0	0	9
2014	112.61	7.75	7.39	10
2015	203.1	91.20	80.99	18
2016	86.56	-117.25	-57.53	8
2017	103.02	16.45	19.01	9
2018	96.39	-6.62	-6.43	8
2019	90.34	-6.05	-6.27	8
2020	78.73	-11.61	-12.85	7
2021	86.42	7.69	9.76	8
2022	105.61	19.19	22.20	9
2023	80.91	-24.70	-23.39	7
<b>Total</b>	<b>1149.27</b>	<b>-23.95</b>	<b>32.88</b>	<b>100%</b>

En la tabla 04, se muestra el cambio temporal de la cobertura glaciar del nevado Bella durmiente durante los periodos 2013 y 2023. Durante los 11 años de estudios el nevado Bella durmiente tuvo una variación de -23.95 Ha, también tuvo una tasa de cambio de -22.84 %. En el año 2016 tuvo una variación muy fuerte de -117.25 Ha y una tasa de cambio de -57%, pero para el año 2022 tuvo un aumento de la cobertura glaciar de +19.9 Ha y una tasa de cambio de +22.2%, con estos resultados obtenidos durante los 11 años podemos deducir que la cobertura glaciar del nevado Bella durmiente tiende a reducirse. Por otro lado coincide con (*Molano et al., 2022*) en sus resultados reportaron que en el transcurso de 34 años, la cobertura glaciar en la Sierra Nevada del Cocuy ha disminuido en 1099,59 ha (1987-2021). Según el análisis, la superficie cubierta por glaciares se

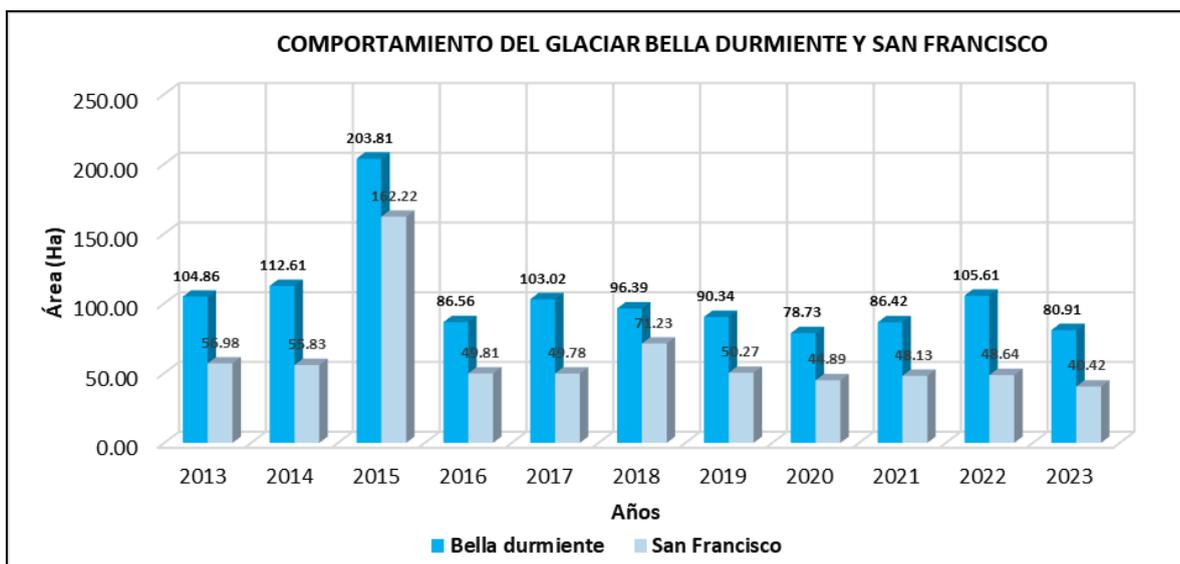
redujo aproximadamente un 37,92% en comparación con la imagen original de 1987; además coincide con el estudio realizado por *(Follanos & Sarmientos, 2020)* en sus resultados presentaron; que los nevados habían experimentado una tasa de retroceso glaciar notablemente elevada durante un periodo de 30 años (1990-2020). Salkantay perdió 1691,65 ha (16,9165 km<sup>2</sup>) de superficie glaciar, y Verónica 1851,47 ha (18,5147 km<sup>2</sup>).

**Tabla 05:** Cambios temporales de la cobertura glaciar de San Francisco, 2013 - 2023.

Periodos	Cobertura glaciar San Francisco			
	Área en (Ha)	Variación del área en (Ha)	Tasa de cambio en (%)	Porcentajes (%)
2013	56.98	0	0	8
2014	55.83	-1.16	-2.03	8
2015	162.22	106.39	190.57	24
2016	49.81	-112.41	-69.29	7
2017	49.78	-0.03	-0.06	7
2018	71.23	21.45	43.09	11
2019	50.27	-20.97	-29.44	7
2020	44.89	-5.38	-10.69	7
2021	48.13	3.23	7.21	7
2022	48.64	0.52	1.07	7
2023	40.42	-8.22	-16.90	6
<b>Total</b>	<b>678.20</b>	<b>-16.56</b>	<b>113.53</b>	<b>100%</b>

En la tabla 05, se muestra el cambio temporal de la cobertura glaciar del nevado San Francisco durante los periodos 2013 y 2023. Durante los 11 años de estudios el nevado San Francisco tuvo una variación de -16.56 Ha, también tuvo una tasa de cambio de -29.06%. En el año 2016 tuvo una variación muy fuerte de -112.41 Ha y una tasa de cambio de -69.2%, pero para el año 2021 tuvo un aumento de la cobertura glaciar de

+3.23 Ha y una tasa de cambio de +7.21%, con estos resultados obtenidos durante los 11 años podemos deducir que la cobertura glaciar del nevado San Francisco tiende a reducirse, estos resultados obtenidos concuerda con el estudio realizado por **(Zhou et al., 2022)** durante los cuarenta años anteriores, el volumen total de los glaciares de la montaña Harlik de las montañas Tianshan orientales había disminuido en 0,018 km<sup>3</sup> y la superficie glaciar se habría reducido en un 13% para ambos glaciares de Harlik y Tianshan.



**Figura 07:** Cambio de la cobertura glaciar durante el 2013 y 2023.

En la figura 07, se muestran los resultados de la cobertura glaciar del nevado Bella durmiente y San Francisco, durante los 11 años ya transcurridos, en el año 2013 la cobertura glaciar para ambos nevados fue de 104.86 Ha y 56.98 Ha que equivale al 9% y 8%, mientras tanto en el año 2023 la cobertura glaciar para ambos nevados fue de 80.91 Ha y 40.4 Ha que equivale al 7% y 6%, con estos resultados obtenidos en la presente investigación, claramente se ve el retroceso de la cobertura glaciar del nevado Bella durmiente y San Francisco. Por otro lado concuerda con **(Quispe, 2023)** en sus resultados mostró tras 30 años de análisis, se estimó que la superficie glaciar del Huaytapallana que tuvo un área de 27,73 km<sup>2</sup> en 1990 y de 15,71 km<sup>2</sup> en 2020, lo que supone una

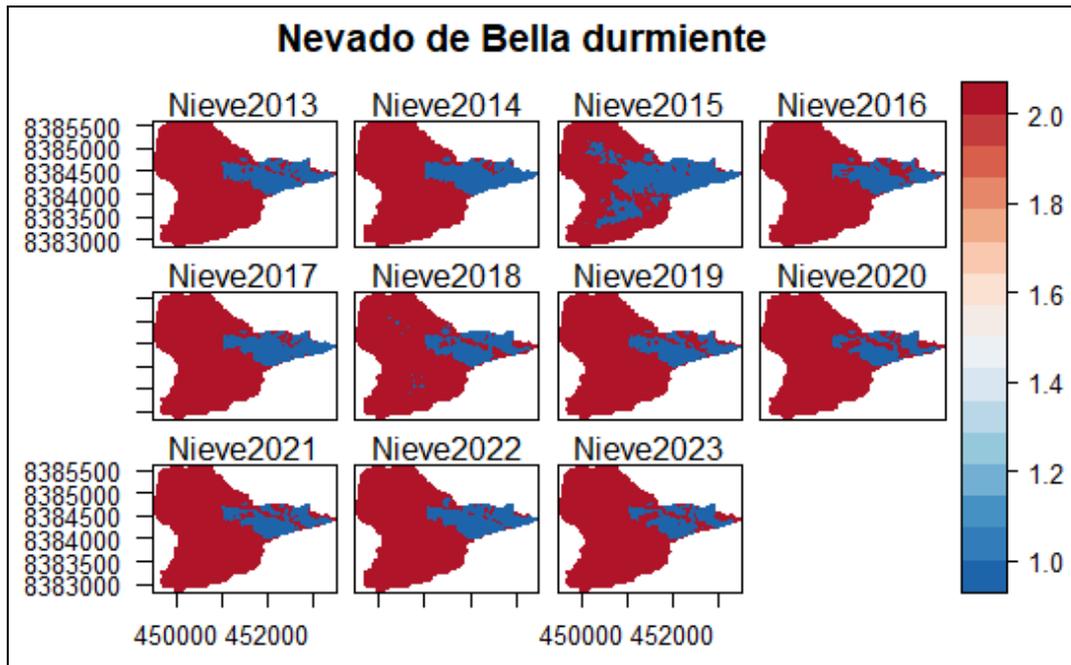
disminución del 56,65%. A partir de los datos recogidos sobre la cobertura glaciar, se determinó una tasa de 0,42.

**Tabla 06:** Estadística descriptiva del área glaciar, periodo (2013 - 2023).

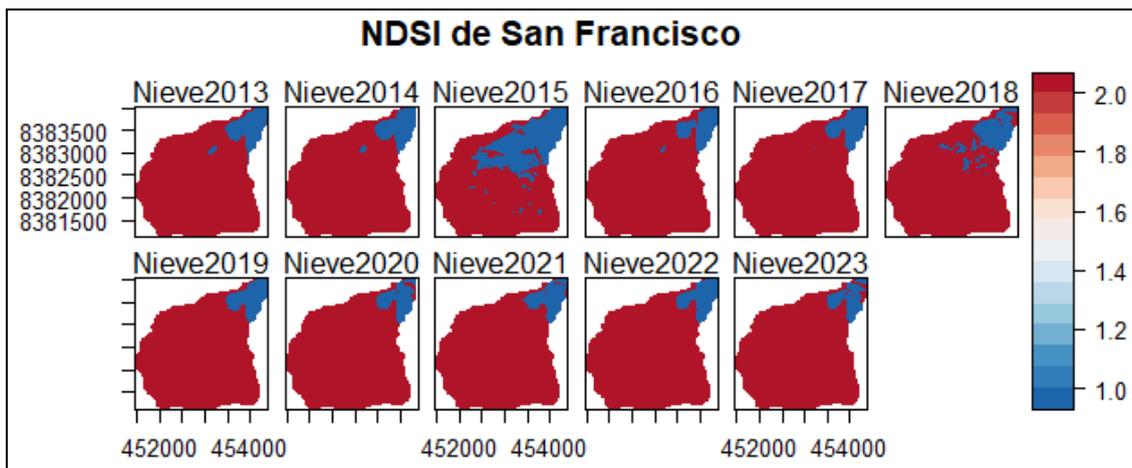
<b>Variable</b>	<b>Media</b>	<b>Mediana</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Curtosis</b>
<b>Nevado Bella durmiente (Ha)</b>	104.47	96.39	203.81	78.73	34.73	8.21
<b>Nevado San Francisco (Ha)</b>	61.65	49.81	162.2	40.4	34.2	9.4

Nivel de confianza(95.0%)

En la tabla 06, se muestra la estadística descriptiva de la cobertura glaciar del nevado Bella durmiente y San francisco, durante los periodos 2013 y 2023, las dos variable de cobertura glaciar presenta un promedio de 104.4 y 61.5 Ha, un máximo de 203.81, 162.2 Ha y un mínimo de 78.73 y 40.4 Ha, la curtosis nos muestra una distribución normal con un valor atípico de 8.2 y 9.4.



**Figura 08:** Cambio de la cobertura glaciar Bella durmiente durante el 2013 y 2023.



**Figura 09:** Cambio de la cobertura glaciar de San Francisco durante el 2013 y 2023.

En las figuras 08 y 09, se muestra la variación multitemporal de la cubierta glaciar durante los años 2013 y 2023. Donde los valores menores ( $<$ ) a 1.2 representan la cubierta glaciar, mientras tanto los valores mayores ( $>$ ) de 1.2 representan áreas sin cubierta glaciar, podemos deducir de acuerdo a las figuras 00, claramente desde el 2013 a 2023 los glaciares se redujeron sus áreas significativamente. La presencia de nieve o hielo se determinó utilizando el Índice Diferencial de Nieve Normalizado (NDSI), para distinguir la

nieve de los demás componentes de la imagen, como las nubes, se utiliza la relación normalizada entre la diferencia espectral y la diferencia de reflectancia en las bandas individuales.

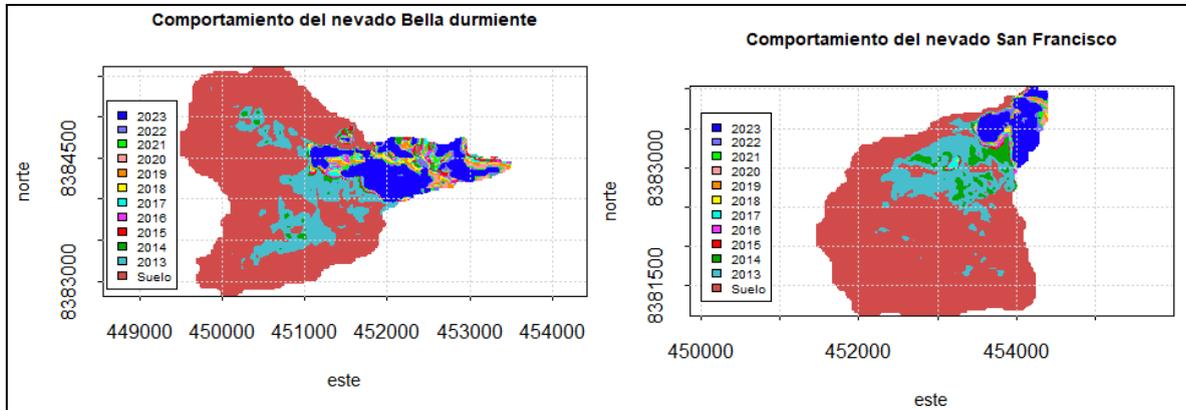


Figura 10: Mapa de cambio temporal de la cobertura glaciár durante el 2013 y 2023.

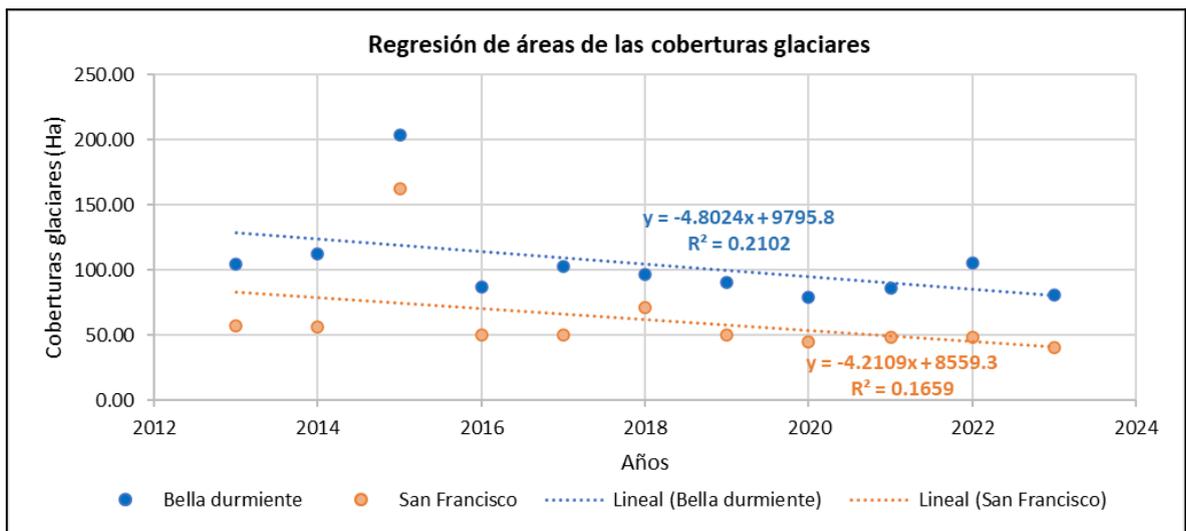


Figura 11: Regresión lineal del área de las cubiertas glaciáres, con respecto al tiempo.

En la figura 11, se presenta la correlación entre las áreas de coberturas glaciáres con respecto al tiempo, donde la ecuación nos muestra una tendencia negativa (-), con un coeficiente de correlación cuadrática  $R^2 = 0.210$  y  $R^2 = 0.165$ , lo que indica de la variable independiente (años), el 21.0% y 16.5% de la variabilidad con respecto a la variable

dependiente cobertura glaciar  $H_a$ , con la presente regresión lineal mostramos una tendencia decreciente de los glaciares del nevado Bella durmiente y San Francisco y es significativa su retroceso.

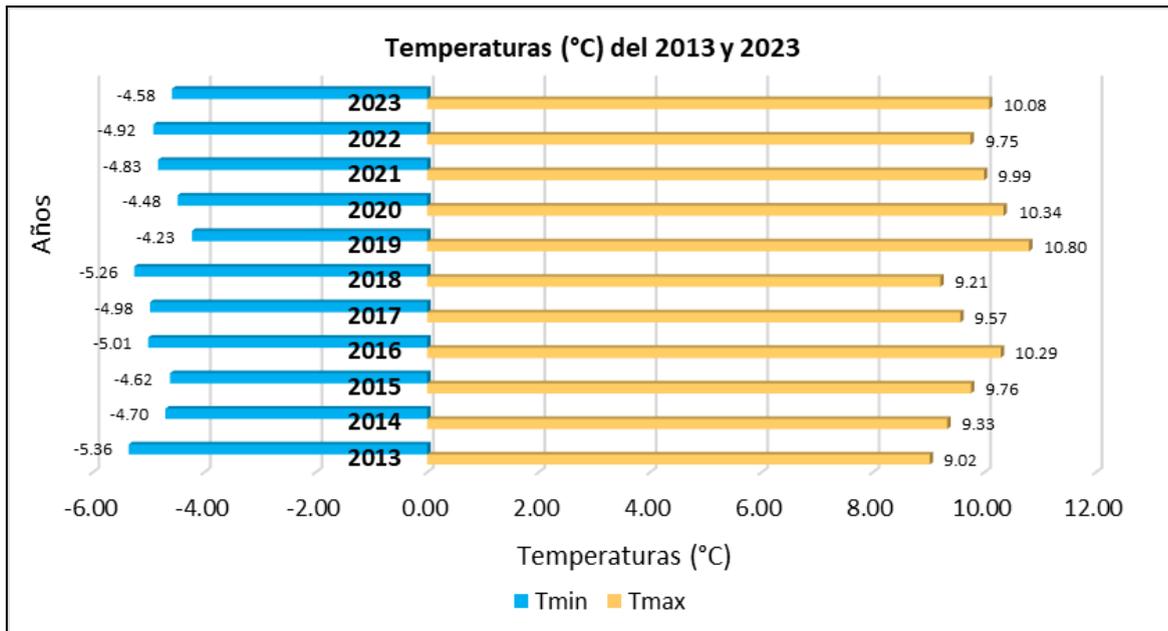
**Tabla 07:** Pruebas de normalidad para la variable cobertura glaciar.

<b>Normalidad de las coberturas glaciares mediante (Shapiro-Wilk)</b>		
<b>Variable</b>	<b>Statistic</b>	<b>p-value</b>
Nevado Bella durmiente	0.649	0.000106
Nevado San Francisco	0.545	0.00000526

En la tabla 07 se muestra, la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, donde los datos de la cobertura glaciar tienen una distribución no normal durante el periodo 2013 - 2023, de acuerdo al p-valor 0.000106 y 0.00000526, que es menor a 0.05 (con un nivel de significancia al 95%). Por ello concluimos que, los valores de la cobertura glaciar no se distribuyen de forma normal, por lo que se puede indicar que no cumple con el supuesto de normalidad, también indicamos que los valores de la cobertura glaciar son no paramétricos.

#### **4.2. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD TEMPORAL DE LA TEMPERATURA EN EL DISTRITO DE ANANEA DURANTE EL PERIODO 2013 - 2023.**

Para los periodos del 2013 y 2023, se obtuvieron los registros de las temperaturas, mediante la imagen satelital (TerraClima), para los nevado Bella durmiente y San Francisco, procesado a una escala mensual/anual como se puede visualizar en el (Anexo 03), para las variables de temperatura máxima y mínima (°C).



**Figura 12:** Gráfico de temperaturas máximas y mínimas durante el 2013 - 2023.

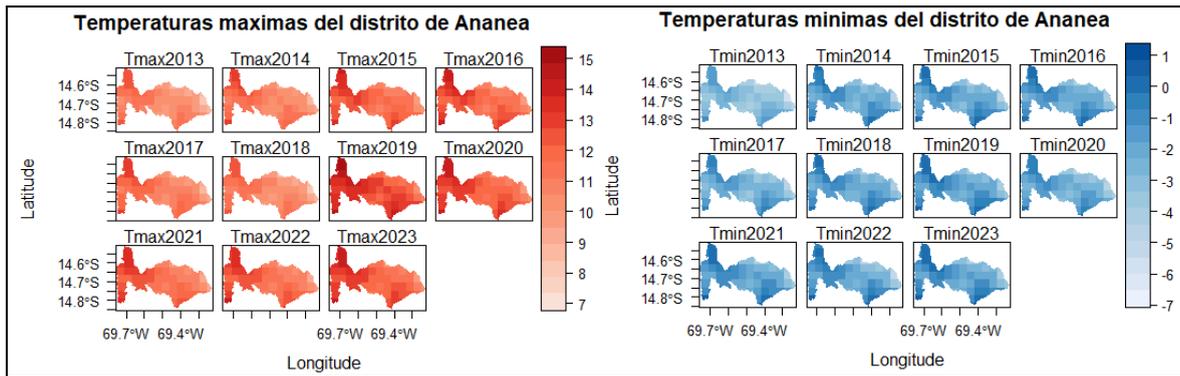
Analizando la figura 12, podemos afirmar que la temperatura máxima y mínimas durante el periodo de estudio, tuvo un incremento con el paso del tiempo, como por ejemplo en el año 2023, la temperatura maximas y minimas llegaron al pico más alto de 10.8 °C y -4.58 °C, en el año 2013 las temperaturas máximas y mínimas eran bajas con 9.02 °C y -5.36 °C, las temperaturas máximas y mínimas durante los 11 años de estudios tuvieron un incrementarse de +1.07 °C y +0.78, con estos resultados obtenidos podemos demostrar que el cambio climático se está viviendo y se evidencian los impactos de las sequías, por el aumento de las temperaturas en el nevado Bella durmiente y el nevado San Francisco. Por otro lado concuerda con (*Margonari et al., 2023*) en sus resultados reportaron que: el mayor recurso de agua dulce del mundo se encuentra en forma de hielo en la Antártida. Los países miembros del Tratado Antártico, entre ellos Argentina, están preocupados por el informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, según el cual la temperatura media mundial aumentará 1.1 °C.

**Tabla 08:** Estadística descriptiva de las temperaturas, periodo (2013 - 2023).

Variables	Media	Mediana	Máximo	Mínimo	Desviación estándar	Curtosis
Temperatura máxima (°C)	9.8	9.7	10.8	9.01	0.5	-0.5
Temperatura mínima (°C)	-4.8	-4.83	-4.2	-5.3	0.3	-0.3

\*\*\*Nivel de confianza(95.0%)

En la tabla 08, podemos apreciar la estadística descriptiva de la media y la desviación estándar, se puede interpretar como cuánto se desvía, en promedio, de la media un conjunto de puntuaciones. Se obtuvo una media (promedio) de temperatura máxima de 9.8°C y una desviación estándar de 0.5 °C, esta interrogante nos afirma que la temperatura máxima de la muestra se desvía en promedio de 0.5 °C respecto a la media, la curtosis nos muestra una distribución plana con un valor atípico de -0.5 °C. En cuanto para la temperatura mínima se obtuvo para su muestra una media (promedio) de -4.8 °C y una desviación estándar de 0.3 °C, esta interrogante nos afirma que la temperatura mínima de la muestra se desvía en promedio de 0.3 °C respecto a la media, la curtosis nos muestra una distribución plana con un valor atípico de -0.3 °C. También concuerda con el estudio realizado por **(Follanos & Sarmientos, 2020)** en sus resultados indica que estos cambios de las temperaturas se consideraron significativos para ambas montañas. Se prevé que el retroceso de los glaciares continúe de forma exponencial debido a los numerosos cambios climáticos de los últimos años, esto tendría efectos perjudiciales para toda la vida dentro de la esfera de influencia de las montañas nevadas.



**Figura 13:** Gráfico de temperaturas máximas y mínimas durante el 2013 - 2023.

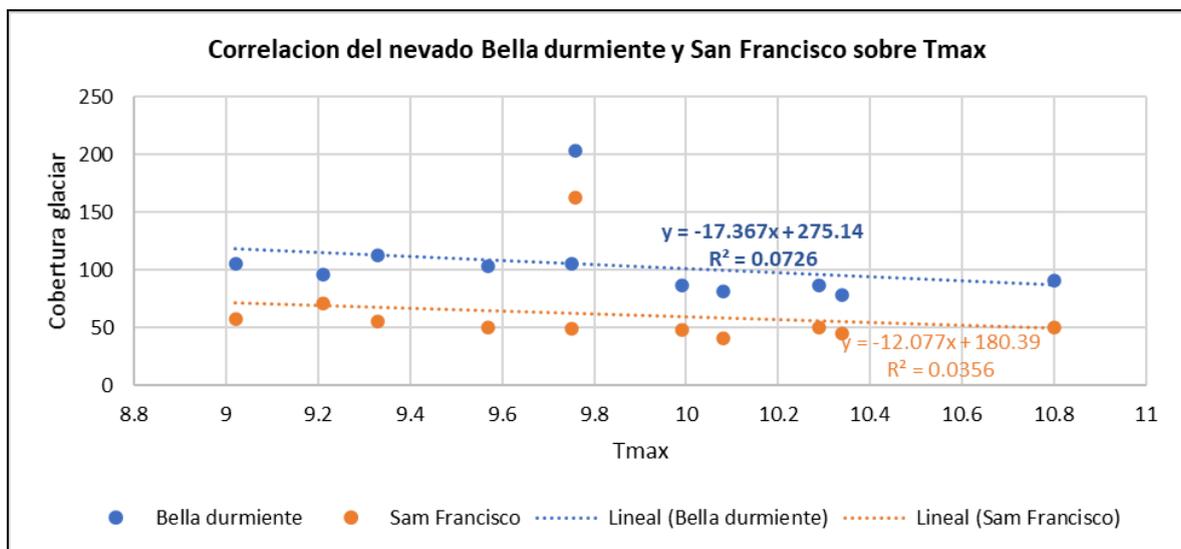
**Tabla 09:** Pruebas de normalidad para la variable temperaturas.

Normalidad de las temperaturas mediante (Shapiro-Wilk)		
Variable	Statistic	p-value
Temperatura máxima (°C)	0.981	0.973
Temperatura mínima (°C)	0.984	0.984

En la tabla 09, se muestran la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, donde los datos de las temperaturas, tienen una distribución normal durante el periodo 2013 - 2023, de acuerdo al p-valor = 0.973 y p-valor = 0.984, para las temperaturas máximas y mínimas es mayor (>) a 0.05 (con un nivel de significancia al 95%). Por ello concluimos que, los valores de las temperaturas se distribuyen de forma normal, por lo que se puede indicar que cumple con el supuesto de normalidad, indicando que los valores son paramétricos.

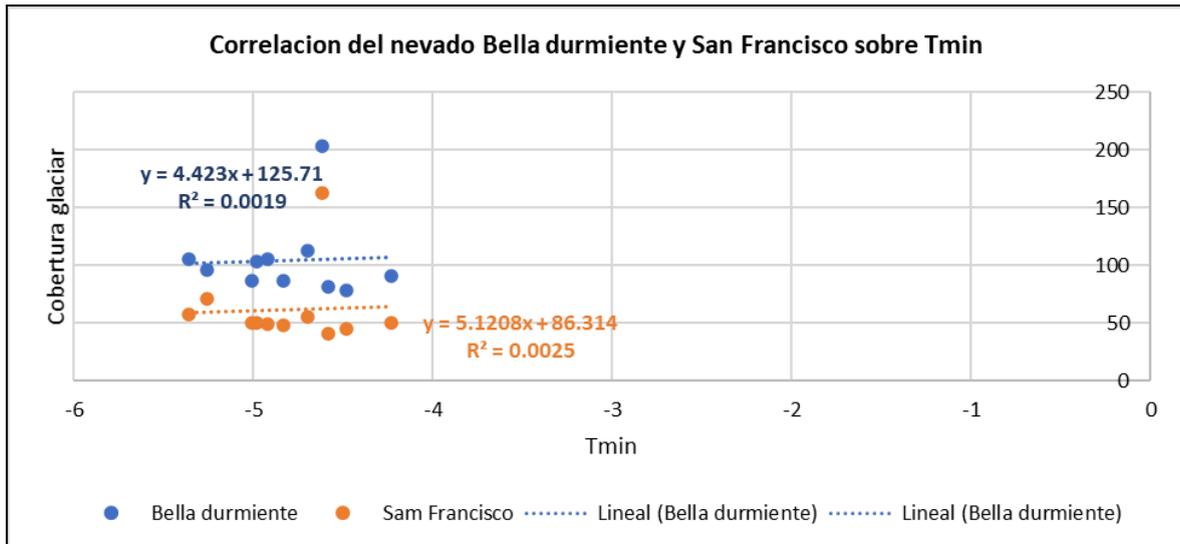
### 4.3. EXPOSICIONES Y ANÁLISIS DE LA CORRELACIÓN ENTRE LA VARIACIÓN DE LA COBERTURA GLACIAL DE LOS NEVADOS: BELLA DURMIENTE, SAN FRANCISCO Y LA TEMPERATURA EN EL DISTRITO DE ANANEA DURANTE EL PERIODO 2013 - 2023.

Podemos demostrar que las temperaturas máximas y mínimas durante los 11 años de estudios se incrementaron +1 °C, y por otro lado se muestra la disminución de las coberturas glaciares del nevado Bella durmiente y el nevado San Francisco.



**Figura 14:** Regresión lineal del área de las cubiertas glaciares, con respecto a la Tmax.

En la figura 14, se presenta la correlación entre las áreas de coberturas glaciares con respecto a la Tmax, donde la ecuación nos muestra una tendencia negativa (-), con un coeficiente de correlación cuadrática  $R^2 = 0.0726$  y  $R^2 = 0.0356$ , lo que indica de la variable independiente (Tmax), el 07.26% y 03.56% de la variabilidad con respecto a la variable dependiente cobertura glaciar Ha, con la presente regresión lineal mostramos una tendencia decreciente de los glaciares del nevado Bella durmiente y San Francisco y es significativa su retroceso.



**Figura 15:** Regresión lineal del área de las cubiertas glaciares, con respecto a la Tmin.

En la figura 15, se presenta la correlación entre las áreas de coberturas glaciares con respecto al Tmin, donde la ecuación nos muestra una tendencia negativa (-), con un coeficiente de correlación cuadrática  $R^2 = 0.0019$  y  $R^2 = 0.0025$ , lo que indica de la variable independiente (Tmin), el 0.19% y 0.25% de la variabilidad con respecto a la variable dependiente cobertura glaciar Ha, con la presente regresión lineal mostramos una tendencia decreciente de los glaciares del nevado Bella durmiente y San Francisco y es significativa su retroceso.

#### 4.4. PROCESO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS

##### Regla de decisiones:

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

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

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

#### 4.4.1. Prueba de hipótesis para el objetivo específico 1.

##### Formulación de la hipótesis estadística:

**HA** = La variación espacio temporal de la cobertura glacial de los nevados: Bella Durmiente y San Francisco del distrito de Ananea, es descendente durante el periodo 2013 - 2023.

**HN** = La variación espacio temporal de la cobertura glacial de los nevados: Bella Durmiente y San Francisco del distrito de Ananea, es ascendente durante el periodo 2013 - 2023.

##### Resultado de la prueba de hipótesis

En la figuras 16, se aprecia la prueba estadística de correlación y regresión lineal de la cobertura glacial de Bella Durmiente y San Francisco con respecto a los años; indicando que de acuerdo a la prueba estadística se han obtenido un valor de significancia de p-valor 0.017, para la cobertura glacial con respecto a los años, comparado con el valor alfa 0.05 es menor. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la:

**Hipótesis Alterna** = La variación espacio temporal de la cobertura glacial de los nevados: Bella Durmiente y San Francisco del distrito de Ananea, es ascendente durante el periodo 2013 - 2023.

#### 4.4.2. Prueba de hipótesis para el objetivo específico 2.

##### Formulación de la hipótesis estadística:

**HA** = La variabilidad temporal de la temperatura en el distrito de Ananea, es ascendente durante el periodo 2013 - 2023.

**HN** = La variabilidad temporal de la temperatura en el distrito de Ananea, es descendente durante el periodo 2013 - 2023.

##### Resultado de la prueba de hipótesis

En la figuras 16, se aprecia la prueba estadística de correlación y regresión lineal de las temperaturas máximas y mínimas con respecto a los años; indicando que de acuerdo a la prueba estadística se han obtenido un valor de significancia de  $R = 0.50$  y  $0,43$ , para las temperaturas con respecto a los años. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la:

**Hipótesis Alterna** = La variabilidad temporal de la temperatura en el distrito de Ananea, es ascendente durante el periodo 2013 - 2023.

#### 4.4.3. Prueba de hipótesis para el objetivo específico 3.

##### Formulación de la hipótesis estadística:

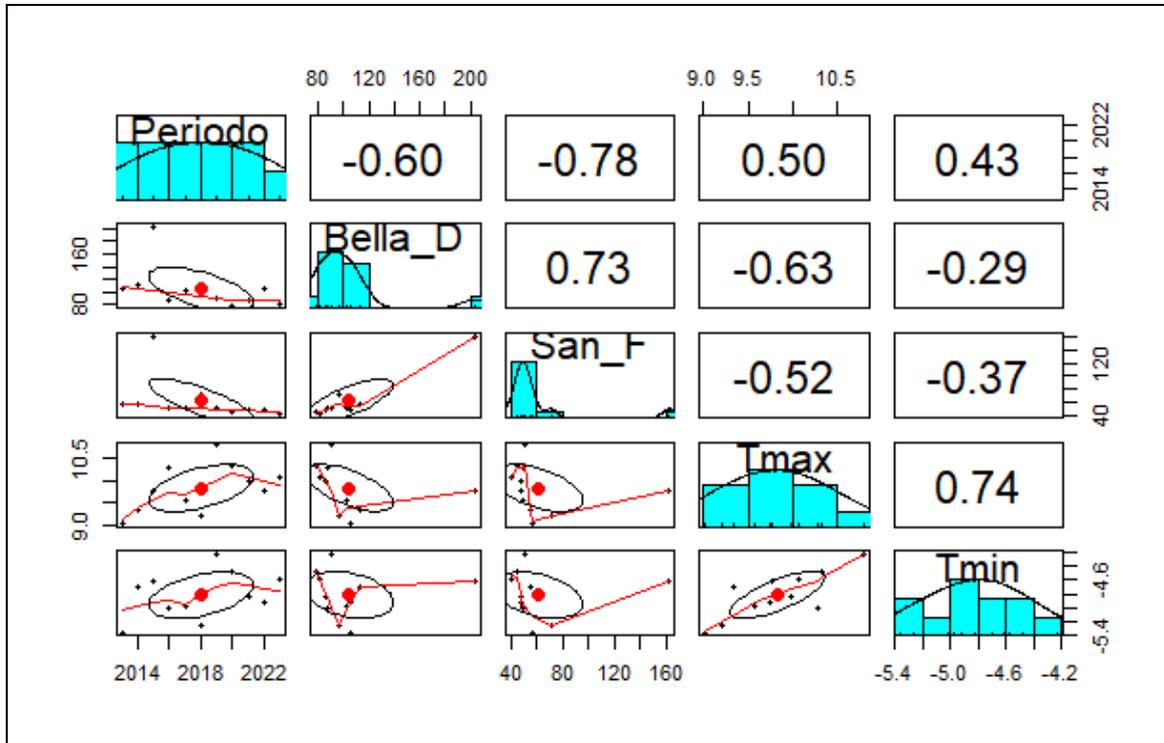
**HA** = La correlación entre la variación de la cobertura glacial de los nevados: Bella Durmiente, San Francisco y la temperatura en el distrito de Ananea durante el periodo 2013 - 2023, es significativa.

**HN** = La correlación entre la variación de la cobertura glacial de los nevados: Bella Durmiente, San Francisco y la temperatura en el distrito de Ananea durante el periodo 2013 - 2023, no es significativa.

##### Resultado de la prueba de hipótesis

En la figuras 16, se aprecia la prueba estadística de correlación y regresión lineal de la cobertura glacial del nevado Bella durmiente, San Francisco con respecto a las temperaturas; indicando que de acuerdo a la prueba estadística se han obtenido un valor de significancia de  $R = -0.52$ , para la cobertura glacial con respecto a las temperaturas máximas, también se han obtenido un valor de significancia de  $R = -0.37$ , para la cobertura glacial con respecto a las temperaturas mínimas. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la:

**Hipótesis Alternativa** = La correlación entre la variación de la cobertura glacial de los nevados: Bella Durmiente, San Francisco y la temperatura en el distrito de Ananea durante el periodo 2013 - 2023, es significativa.



**Figura 16:** Correlación Spearman de las variables del 2013 - 2023.

## CONCLUSIONES

**PRIMERA:** Al Conocer la variación espacio temporal de la cobertura glacial de los nevados: Bella Durmiente y San Francisco del distrito de Ananea durante el periodo 2013 - 2023. Se concluye que las coberturas glaciares durante los últimos 11 años, ha decrecido estadísticamente significativamente, debido al aumento exponencialmente de las temperaturas máximas y mínimas, el nevado Bella durmiente y San Francisco fue afectado en su retroceso.

**SEGUNDA:** Al Identificar la variabilidad temporal de la temperatura en el distrito de Ananea durante el periodo 2013 - 2023.. Se concluye que la cobertura glacial con respecto a los años de estudio, presenta una correlación negativa y significativa de -0.94, interpretando; durante el transcurso de los 11 años de estudios la cobertura glacial ha disminuido significativamente su área.

**TERCERA:** Al establecer la correlación entre la variación de la cobertura glacial de los nevados: Bella Durmiente, San Francisco y la temperatura en el distrito de Ananea durante el periodo 2013 - 2023. Se concluye que la cobertura glacial con respecto a la temperatura máxima, tiene una correlación negativa y significativa de -0.82, interpretando; mientras tanto que las temperaturas máximas va aumentando la cobertura glacial va decreciendo significativamente. También la cobertura glacial con respecto a la temperatura mínima, tiene una correlación negativa y significativa de 0.12, interpretando;

mientras tanto que las temperaturas mínimas va aumentando la cobertura glaciar va decreciendo moderadamente.

**CUARTA:** Al determinar la influencia de la precipitación en el retroceso de la cobertura glaciar entre el 2013 - 2023. Se concluye que las coberturas glaciares durante los últimos 11 años, ha decrecido estadísticamente significativamente, debido al aumento exponencialmente de las temperaturas máximas y mínimas, el nevado Bella durmiente y San Francisco fue afectado en su retroceso.

## RECOMENDACIONES

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

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

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

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

## BIBLIOGRAFÍA

- Aedo Tapia, J. D., & Quispe Curasco, W. (2022). Estimación del retroceso y predicción del tiempo de permanencia del Nevado Chicón mediante el análisis multitemporal entre los años 1985-2021, Cusco. *Repositorio Institucional - UCV*.  
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/91586>
- Alberti, A. P. (2021). El patrimonio glaciar y periglaciar del Geoparque Mundial UNESCO Montañas do Courel (Galicia). *Cuaternario y Geomorfología*, 35(1-2), Article 1-2.  
<https://doi.org/10.17735/cyg.v35i1-2.89295>
- Aristizabal, E., López-Castro, S., Gómez-Gómez, J. C., & López, L. F. (2020). Definición de áreas con condición de amenaza y áreas con condición de riesgo en los planes de ordenamiento territorial de los municipios en Colombia. *Gestión y Ambiente*, 23(2), Article 2. <https://doi.org/10.15446/ga.v23n2.87129>
- Báez, J. C., Pascual-Alayón, P., Ramos, M. L., Abascal, F. J., Báez, J. C., Pascual-Alayón, P., Ramos, M. L., & Abascal, F. J. (2018). Túidos tropicales: Calentamiento global y seguridad alimentaria, una visión global. *Revista de biología marina y oceanografía*, 53(1), 1-8.  
<https://doi.org/10.4067/S0718-19572018000100001>
- Baquerizo, N. C., & Ventocilla, E. J. V. (2022). Evaluación de algoritmos de machine learning en la clasificación de imágenes satelitales multiespectrales, caso: Amazonia Peruana. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(1), 4946-4963. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v6i1.1843](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i1.1843)
- Blancas, A. N. I., Corzo, A. X. M., & Sánchez, E. Á. (2020). Cambios en las áreas nevadas y tendencias en la cobertura de nieve para el 2030 en el sur del Perú. *Terra. Nueva Etapa*, XXXVI(59).  
<https://www.redalyc.org/journal/721/72166221002/html/>
- Bolaños, E., Montalvo, D., & Velasteguí, B. (2022). HERRAMIENTAS DE MERCADO

- PARA ESTIMAR LOS BENEFICIOS ECONÓMICOS DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN LA RESERVA TAPICHALACA. *Revista Geoespacial*, 19(2), Article 2. <https://doi.org/10.24133/geoespacial.v19i2.2943>
- Bolívar Yapura, E. (2018). *Evaluación de la deglaciación del nevado Ausangate y su influencia en la disponibilidad de recursos hídricos en la cuenca alta del río Pitumarca—Cusco*. <https://repositorio.uap.edu.pe/xmlui/handle/20.500.12990/2855>
- Calderon Hernandez, J. J., & Mora Pérez, W. (2022). Modelado por teledetección entre 2013 y 2021 del retroceso glaciar como consecuencia del cambio climático en la Cordillera Vilcabamba. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/100467>
- Calizaya Llatasi, E. E. (2018). Modelamiento de la desglaciación de los nevados de la Cuenca del Río Santa y su impacto en los recursos hídricos. *Universidad Nacional Agraria La Molina*. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3793>
- Camas-Guardamino, D. J., Mamani-Sinche, M. S., Camas-Guardamino, D. J., & Mamani-Sinche, M. S. (2022). Evaluación de la vegetación y saturación del suelo en el Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla mediante teledetección en Perú, 2006-2021. *Revista de Ciencias Ambientales*, 56(1), 54-74. <https://doi.org/10.15359/rca.56/1.3>
- Canaza-Choque, F. A. (2019). De la educación ambiental al desarrollo sostenible: Desafíos y tensiones en los tiempos del cambio climático. *Revista de Ciencias Sociales*, 165, 155-172.
- Ccallata Taype, I. K. (2021). Retroceso de la cobertura glaciar del nevado Salluyo de la cordillera Apolobamba y la influencia de los elementos climáticos, en el período 1985-2020. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/60169>
- Dormido, L., Garrido, I., L'Hotellerie-Fallois, P., & Santillán Fraile, J. (2022). *El cambio*

- climático y la sostenibilidad del crecimiento: Iniciativas internacionales y políticas europeas.* <https://repositorio.bde.es/handle/123456789/22528>
- Eugenio Gonzalez, F. (2000). *Procesado, modelado y georreferenciación de imágenes de teledetección: Metodología, automática para la obtención de parámetros oceanográficos* [Http://purl.org/dc/dcmitype/Text, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=233974>
- Falcó Boudet, J. M. (2017). Evaluación de la competencia digital docente en la Comunidad Autónoma de Aragón. *Revista electrónica de investigación educativa*, 19(4), 73-83. <https://doi.org/10.24320/redie.2017.19.4.1359>
- Follanos Molero, A., & Sarmientos Fuentes, J. A. (2020). Evaluación de la regresión glaciaria de los nevados Salkantay y Veronica mediante el análisis multi-temporal entre los años 1990-2020, Cusco. *Repositorio Institucional - UCV.* <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/60800>
- H, L. Q., G, M. B., A, W. G., L, R. S., & P, M. M. (2019). Estimación de la radiación solar diaria para la ciudad de Bagua, región Amazonas, Perú. *Selecciones Matemáticas*, 6(02), Article 02. <https://doi.org/10.17268/sel.mat.2019.02.18>
- Matul, P., & Rafael, J. (2021). *Comportamiento de la reflectancia en el cultivo de sorgo de acuerdo con la fenología y la ubicación geográfica.* <https://repositorio.uaaan.mx/xmlui/handle/123456789/47997>
- Molano, S. M., Cardenas, D. P., Snaider Gómez, H., Alvarado, D. M., Galindo, A. F., Sanabria, J. F., & Gómez-Neita, J. S. (2022). Evaluación del retroceso glaciario de la Sierra Nevada del Cocuy, Colombia a partir de la clasificación de imágenes multisensor. *Boletín de Geología*, 44(1), 49-73. <https://doi.org/10.18273/revbol.v44n1-2022002>
- Molano, S. M., Cardenas, D. P., Snaider Gómez, H., Alvarado, D. M., Galindo, A. F., Sanabria, J. F., Gómez-Neita, J. S., Molano, S. M., Cardenas, D. P., Snaider

- Gómez, H., Alvarado, D. M., Galindo, A. F., Sanabria, J. F., & Gómez-Neita, J. S. (2022). Evaluación del retroceso glaciar de la Sierra Nevada del Cocuy, Colombia a partir de la clasificación de imágenes multisensor. *Boletín de Geología*, 44(1), 49-73. <https://doi.org/10.18273/revbol.v44n1-2022002>
- Monge-Rodríguez, F. S., Huggel, C., & Vicuna, L. (2022). Percepción del deshielo glaciar y el cambio climático en pobladores andinos de Perú: Abordaje interdisciplinario. *Ambiente & Sociedad*, 25, e02272. <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20200227r2vu2022L3AO>
- Nieto Santos, J. F., & Alarcón Alvarez, J. D. (2023). *Análisis multiespectral y multitemporal para la valoración multidimensional del impacto de los metales pesados en el lago Junín en el periodo 2015 – 2020*. <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/7721>
- Pacompia Vilca, S. E. (2022). Nivel de desglaciación del nevado Allinapac entre los años 2000 y 2020 ubicado en el Distrito de Macusani. *Universidad Privada San Carlos*. <http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/437>
- Quezada, A. S., Tapia, J. D. S., Sacoto, E. C. A., Quezada, A. S., Tapia, J. D. S., & Sacoto, E. C. A. (2022). Estimación de la tasa de deforestación en Pastaza y Orellana- Ecuador mediante el análisis multitemporal de imágenes satelitales durante el período 2000-2020. *Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*, 6(17), 282-299. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v6i17.168>
- Ramírez, M., Martínez, L., Montilla, M., Sarmiento, O., Lasso, J., & Díaz, S. (2020). Obtención de coberturas del suelo agropecuarias en imágenes satelitales Sentinel-2 con la inyección de imágenes de dron usando Random Forest en Google Earth Engine. *Revista de Teledetección*, 0(56), 49-68. <https://doi.org/10.4995/raet.2020.14102>

- Rodríguez Pascual, A. F. (2021). Aspectos legales de los datos y servicios geoespaciales y su incidencia en la privacidad. *Revista cartográfica*, 102, 141-144. <https://doi.org/10.35424/rcarto.i102.880>
- Ruiz, L. (2013). *Análisis geomorfológico, sedimentológico y crono-estratigráfico, de depósitos glaciales, periglaciales y glaciogénicos, en la Cordillera de los Andes y zonas adyacentes entre el paralelo 42° y el 43° LS, desde la última glaciación.*
- Ruiz-Ochoa, M. A., Torres-Corredor, J. S., Vargas-Corredor, Y. A., Orduz-Amaya, L. P., Ruiz-Ochoa, M. A., Torres-Corredor, J. S., Vargas-Corredor, Y. A., & Orduz-Amaya, L. P. (2023). Variabilidad climática (precipitación, temperatura y humedad relativa) para la gestión hídrica del departamento del Casanare, Colombia. *Información tecnológica*, 34(5), 47-60. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642023000500047>
- Samaniego, J., Alatorre, J. E., Reyes, O., Ferrer, J., Muñoz, L., & Arpaia, L. (2019). *Panorama de las contribuciones determinadas a nivel nacional en América Latina y el Caribe, 2019: Avances para el cumplimiento del Acuerdo de París.* <https://hdl.handle.net/11362/44974>
- Sánchez, E. R., & Vargas, D. J. C. (2023). Extracción y cuantificación de Antocianinas de maíz morado (zea mays l.) utilizando dos solventes a diferentes temperaturas y tiempos de extracción. *Revista Latinoamericana de Difusión Científica*, 5(8), Article 8. <https://doi.org/10.38186/difcie.58.04>
- Santos, A. J. F. dos, Ferreira, J. M., Baptista, F., Alexandrino, B., Silva, M. A. G. da, Gomes, J. E. C., Júnior, J. P. V., Tavares, R. M., & Almeida, K. de S. (2022). Statistical analysis between 2006 and 2019 and forecast of rabies in cattle from 2020 to 2022 in Tocantins State (Brazil), by using the R Studio software. *Epidemiology & Infection*, 150, e82. <https://doi.org/10.1017/S0950268822000553>
- Selva-Royo, J. R. (2020). La cuantificación metropolitana en España. Hacia una definición

- homogénea de los espacios de gobernanza supramunicipal. *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales*, 52(204), Article 204. <https://doi.org/10.37230/CyTET.2020.204.02>
- Silva, H. D., & David, C. (2020). *El Océano Glaciar Ártico como zona de navegación*. <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/21670>
- Toribio Quispe, S. M. (2023). Análisis del efecto espacio—Temporal del retroceso glaciar del nevado Huaytapallana en los bofedales del Área de Conservación Regional Huaytapallana en el periodo de 1990-2020, Junín—2022. *Universidad Continental*. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/13020>
- Vigier-Moreno, F. J., & Gutiérrez, R. L. (2019). La formación en interpretación remota: Una experiencia docente interuniversitaria. *Innovación educativa*, 29, Article 29. <https://doi.org/10.15304/ie.29.6271>
- Zempoalteca Durán, B., Barragán López, J. F., González Martínez, J., Guzmán Flores, T., Zempoalteca Durán, B., Barragán López, J. F., González Martínez, J., & Guzmán Flores, T. (2017). Formación en TIC y competencia digital en la docencia en instituciones públicas de educación superior. *Apertura (Guadalajara, Jal.)*, 9(1), 80-96. <https://doi.org/10.32870/ap.v9n1.922>
- Zhang, H., Wang, F.-T., & Zhou, P. (2022). Changes in climate extremes in a typical glacierized region in central Eastern Tianshan Mountains and their relationship with observed glacier mass balance. *Advances in Climate Change Research*, 13(6), 909-922. <https://doi.org/10.1016/j.accre.2022.10.006>

## ANEXOS

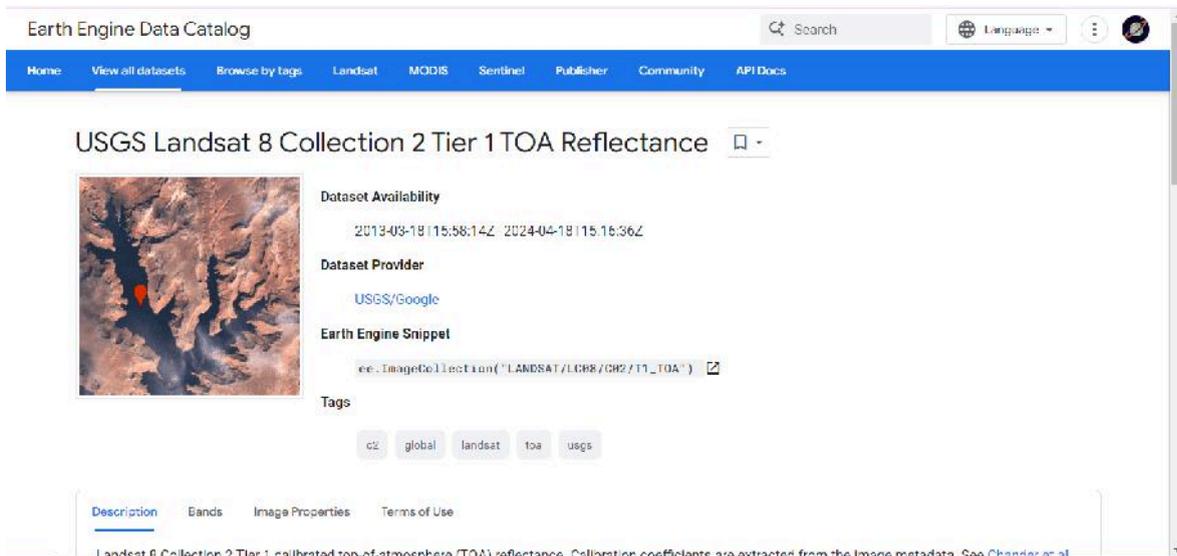
### Anexo 01: Matriz de consistencia.

EVOLUCIÓN ESPACIO TEMPORAL DE LA COBERTURA GLACIAL DE LOS NEVADOS BELLA DURMIENTE, SAN FRANCISCO Y SU RELACIÓN CON LA TEMPERATURA EN EL DISTRITO DE ANANEA - PUNO, DURANTE EL PERIODO 2013 - 2023.

PROBLEMA	OBJETIVOS		HIPÓTESIS		VARIABLES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	TÉCNICA DE PROCESAMIENTO DE DATOS
	OBJETIVO GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS				
¿Cómo es la evolución de la cobertura glacial de los nevados: Bella Durmiente, San Francisco y su relación con la temperatura en el distrito de Ananea - Puno, durante el periodo 2013 - 2023?	Determinar la evolución de la cobertura glacial de los nevados: Bella Durmiente, San Francisco y su relación con la temperatura en el distrito de Ananea - Puno, durante el periodo 2013 - 2023.	Determinar la evolución de la cobertura glacial de los nevados: Bella Durmiente, San Francisco y su relación con la temperatura en el distrito de Ananea - Puno, durante el periodo 2013 - 2023.	La evolución de la cobertura glacial de los nevados: Bella Durmiente, San Francisco y su relación con la temperatura en el distrito de Ananea - Puno, durante el periodo 2013 - 2023, es significativa.		<b>VARIABLE INDEPENDIENTE:</b> Temperatura.	- Temperatura Promedio	Software R-studio para procesamiento de Imágenes Satelitales	Estadística Descriptiva. Correlación de Pearson. Fórmulas de cálculo de la cobertura glacial es medida el índice NDSI y NDSII
¿Cómo es la variación espacial temporal de la cobertura glacial de los nevados: Bella Durmiente y San Francisco del distrito de Ananea durante el periodo 2013 - 2023?	Determinar la variación espacial temporal de la cobertura glacial de los nevados: Bella Durmiente y San Francisco del distrito de Ananea durante el periodo 2013 - 2023.	Determinar la variación espacial temporal de la cobertura glacial de los nevados: Bella Durmiente y San Francisco del distrito de Ananea durante el periodo 2013 - 2023.	La variación espacial temporal de la cobertura glacial de los nevados: Bella Durmiente y San Francisco del distrito de Ananea, es descendente durante el periodo 2013 - 2023.		<b>VARIABLE DEPENDIENTE:</b> Cobertura glacial	- Superficie.		
¿Cómo es la variabilidad temporal de la temperatura en el distrito de Ananea durante el periodo 2013 - 2023?	Identificar la variabilidad temporal de la temperatura en el distrito de Ananea durante el periodo 2013 - 2023.	Identificar la variabilidad temporal de la temperatura en el distrito de Ananea durante el periodo 2013 - 2023.	La variabilidad temporal de la temperatura en el distrito de Ananea, es ascendente durante el periodo 2013 - 2023.					

<p>¿Cuál es la correlación entre la variación de la cobertura glacial de los nevados: Bella Durmiente, San Francisco y la temperatura en el distrito de Ananea durante el periodo 2013 - 2023?</p>	<p>Establecer la correlación entre la variación de la cobertura glacial de los nevados: Bella Durmiente, San Francisco y la temperatura en el distrito de Ananea durante el periodo 2013 - 2023.</p>	<p>La correlación entre la variación de la cobertura glacial de los nevados: Bella Durmiente, San Francisco y la temperatura en el distrito de Ananea durante el periodo 2013 - 2023, es significativa.</p>				
--	--	---	--	--	--	--

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



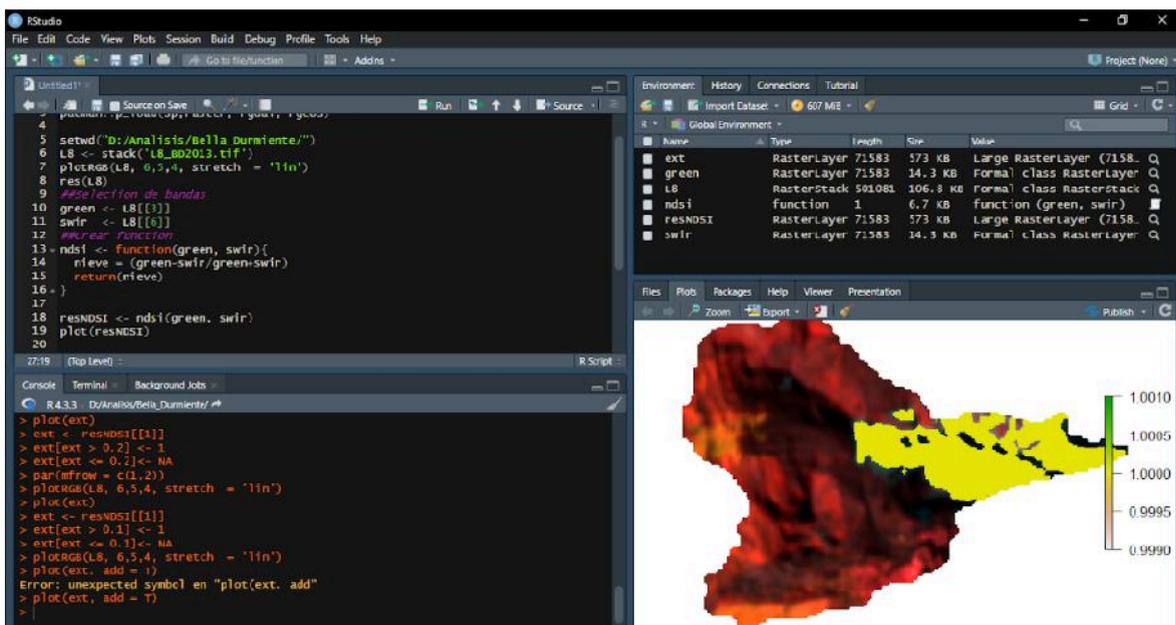
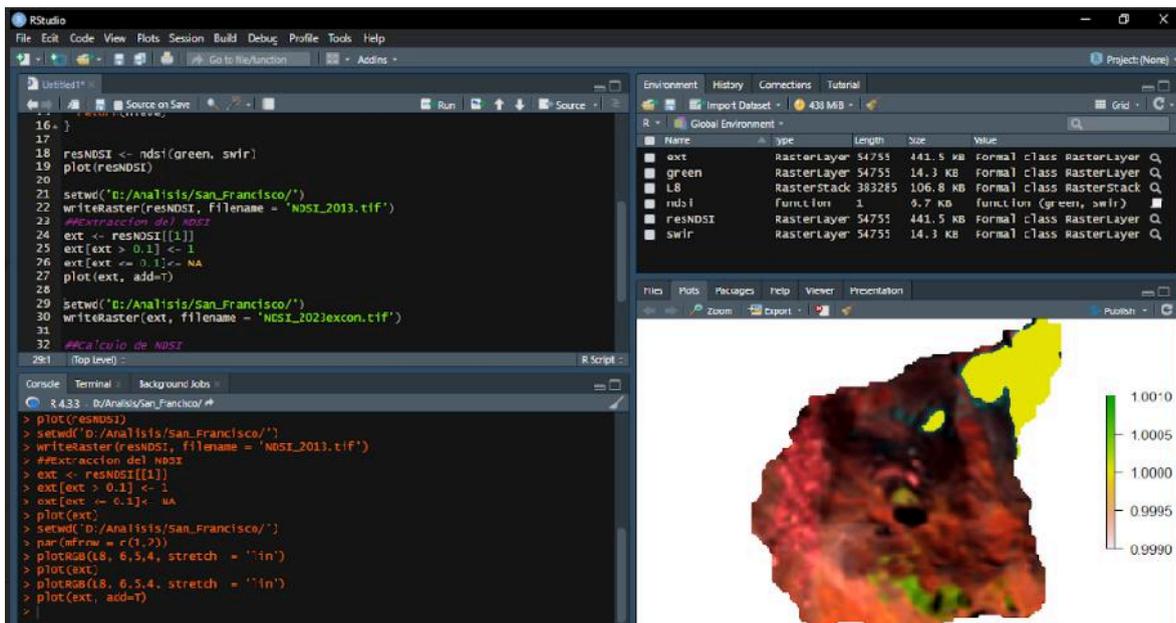
The screenshot shows the Earth Engine Data Catalog interface. The page title is "USGS Landsat 8 Collection 2 Tier 1 TOA Reflectance". On the left, there is a satellite image of a river valley with a red location marker. The main content area includes the following sections:

- Dataset Availability:** 2013-03-18T15:58:14Z - 2024-04-18T15:16:36Z
- Dataset Provider:** [USGS/Google](#)
- Earth Engine Snippet:** `ee.ImageCollection("LANDSAT/LC08/C02/T1_TOA")`
- Tags:** c2, global, landsat, toa, usgs

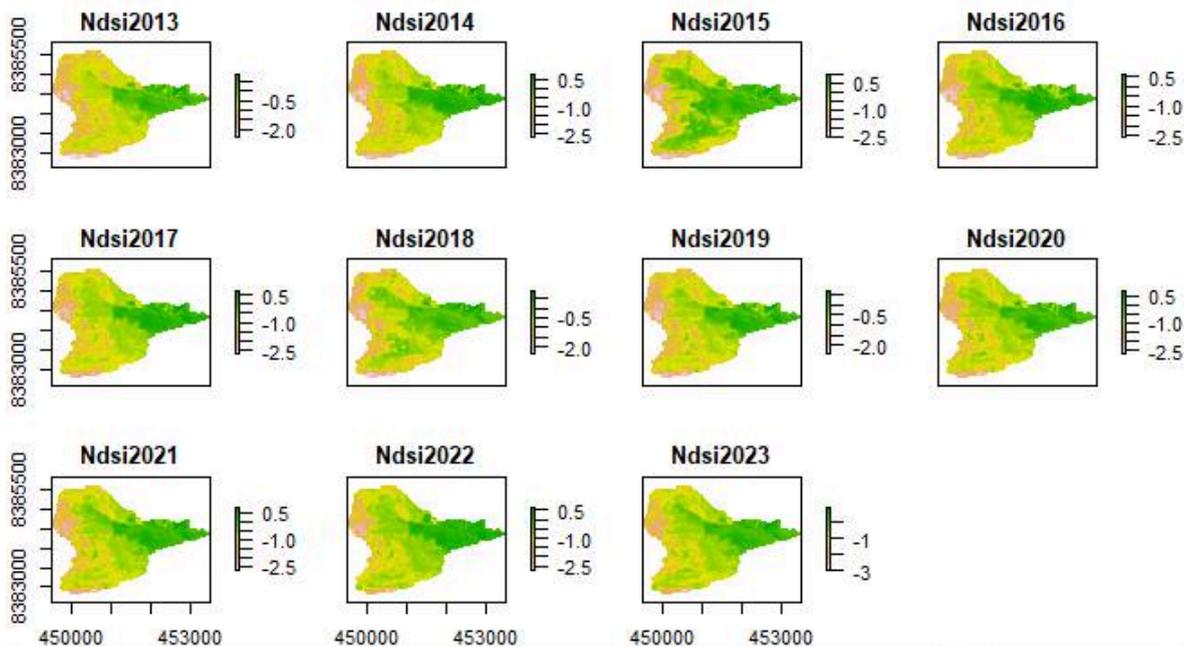
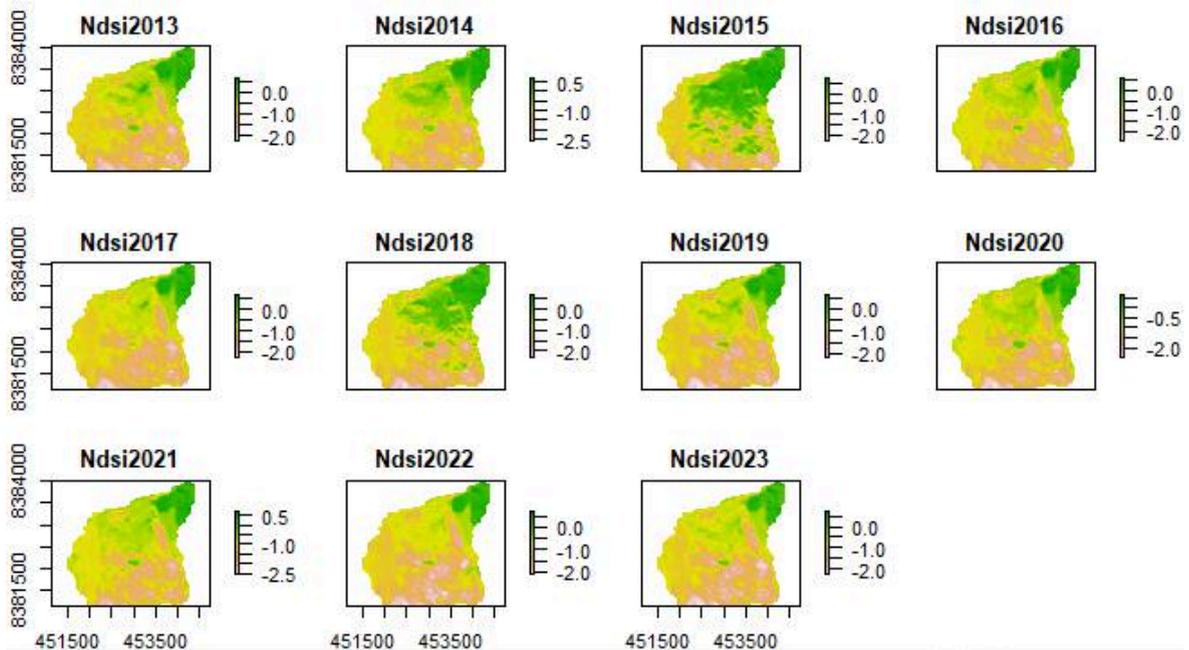
At the bottom, there are tabs for "Description", "Bands", "Image Properties", and "Terms of Use". The "Description" tab is active, showing the text: "Landsat 8 Collection 2 Tier 1 calibrated top-of-atmosphere (TOA) reflectance. Collection coefficients are extracted from the image metadata. See [Chander et al.](#)"



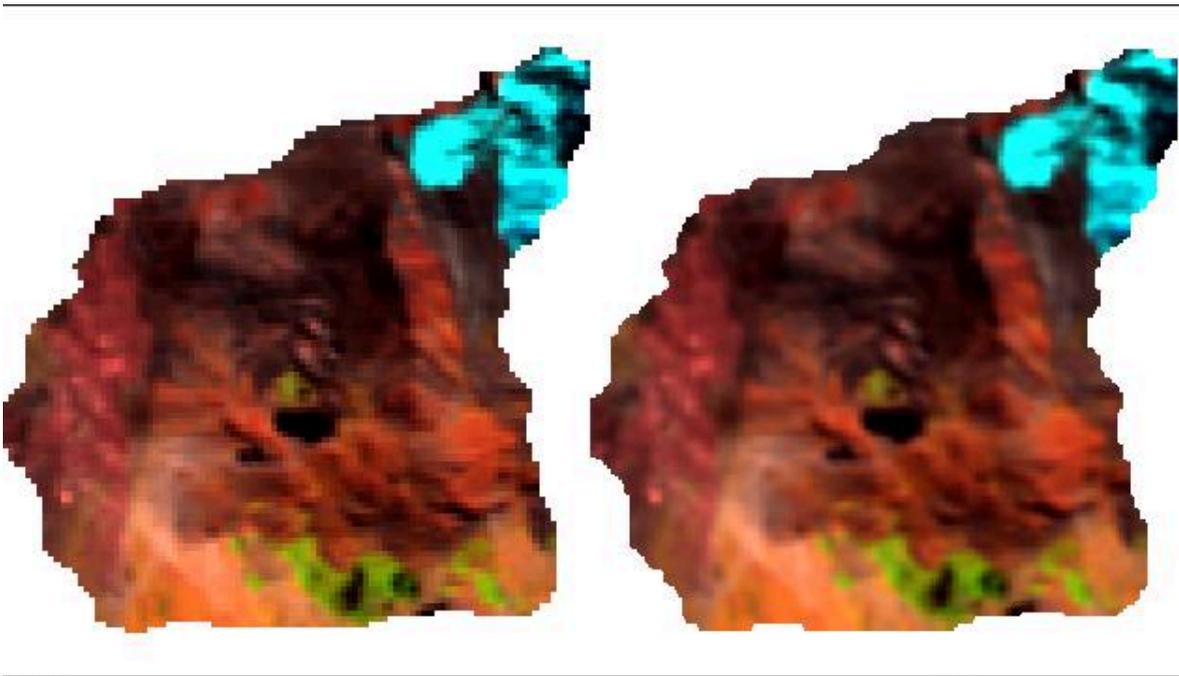
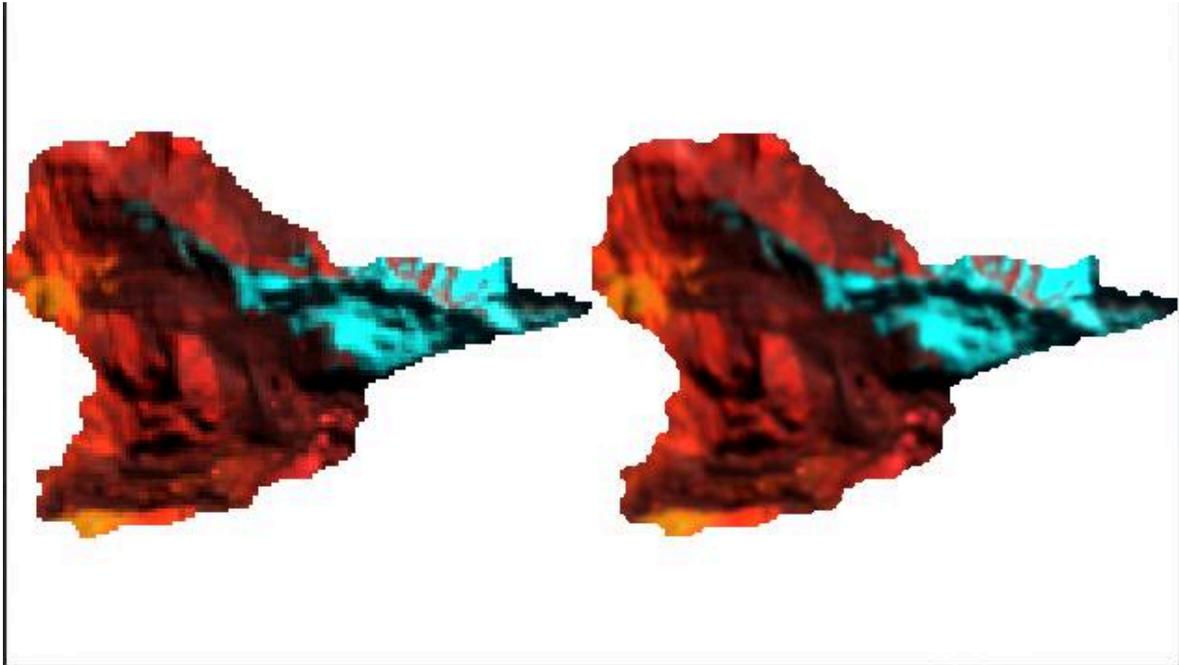
## Anexo 04: Proceso en R



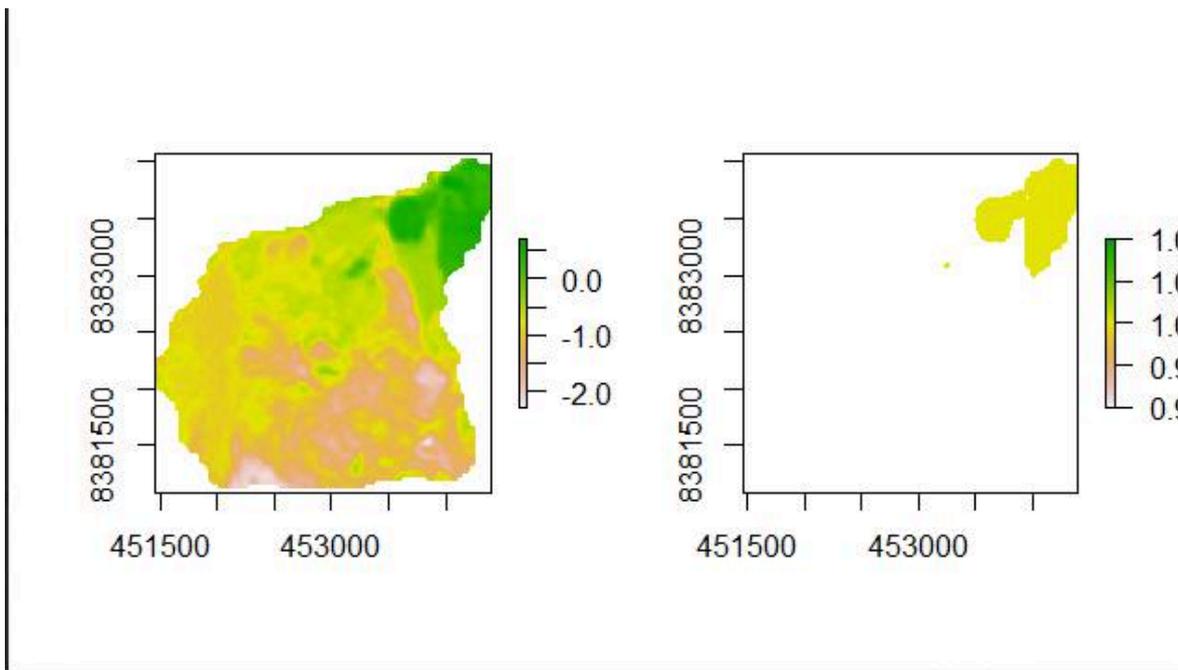
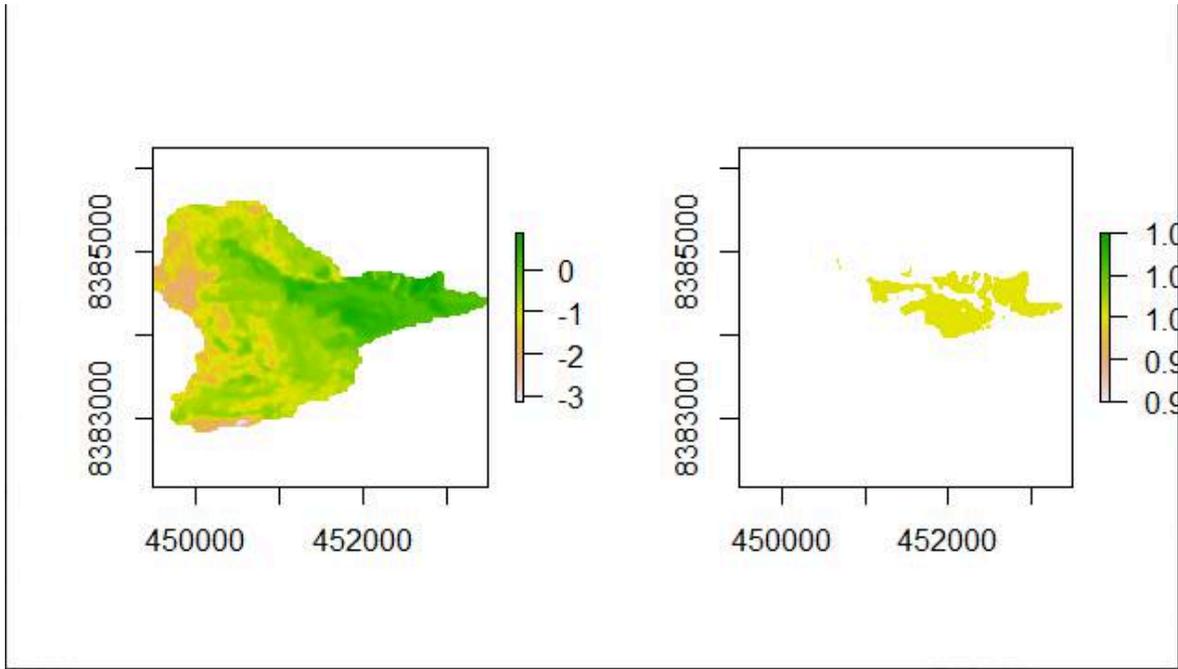
**Anexo 05:** Proceso del NDSI en R



**Anexo 06:** Mejoramiento de la imagen satelital en R



Anexo 07: Proceso de extracción en R.



**Anexo 08:** Panel fotográfico.



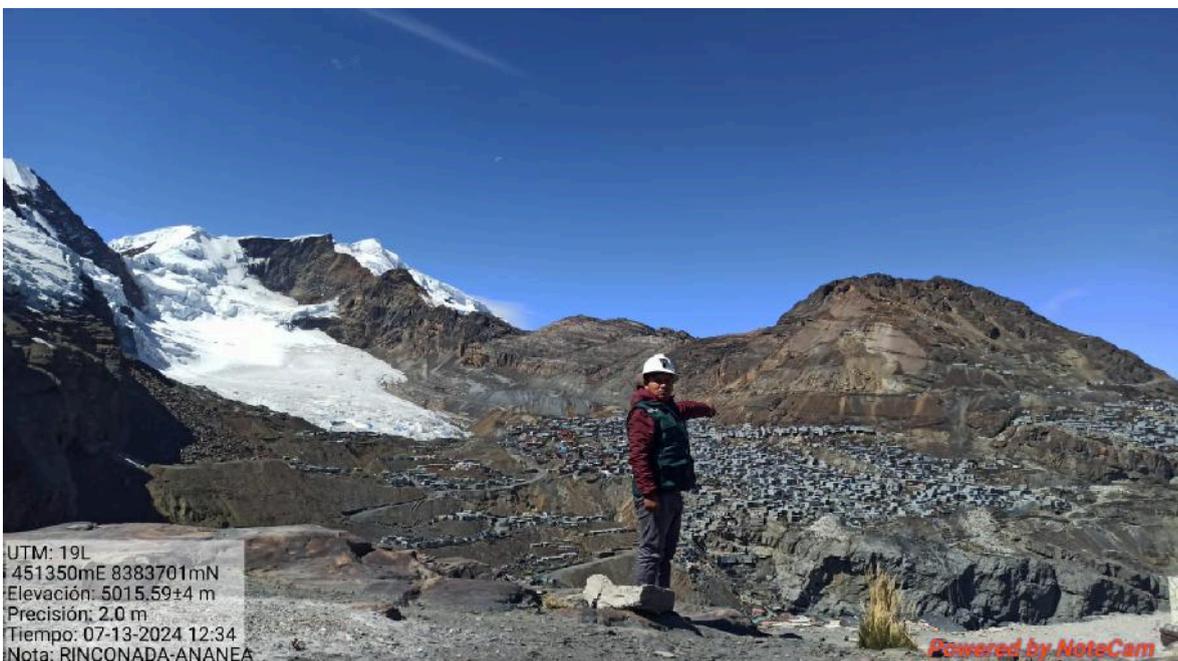
**Figura 01:** Retroceso del nevado Bella Durmente.



**Figura 02:** Retroceso del nevado Bella Durmente por el cambio del clima.



**Figura 03:** Retroceso de la nevada Bella Durmiente por la alteración de otros ecosistemas como el agua.



**Figura 04:** Retroceso del San Francisco por el aumento de la población.



**Figura 05:** Retroceso de nevadol San Francisco por el cambio del clima



**Figura 06:** Retroceso del San Francisco por la alteración de sus ecosistemas naturales.