

# UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**TESIS**

**RETROCESO SUPRAGLACIAR DEL NEVADO MACIZO DE SALCANTAY EN  
LA CORDILLERA VILCABAMBA CUSCO POR LA INFLUENCIA DE LOS  
FACTORES CLIMÁTICOS, PERÍODO 2015 - 2024**

**PRESENTADA POR:**

**MARYFER KARINA RODRIGUEZ ARCE**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**PUNO - PERÚ**

**2025**



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/)



17.19%

SIMILARITY OVERALL

SCANNED ON: 1 DEC 2025, 7:16 PM

### Similarity report

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

● IDENTICAL  
3.86%

● CHANGED TEXT  
13.32%

## Report #30374383

MARYFER KARINA RODRIGUEZ ARCE // RETROCESO SUPRAGLACIAR DEL NEVADO MACIZO DE SALCANTAY EN LA CORDILLERA VILCABAMBA CUSCO POR LA INFLUENCIA DE LOS FACTORES CLIMÁTICOS, PERÍODO 2015 - 2024 RESUMEN El objetivo de la presente investigación fué evaluar el retroceso supraglaciario del nevado Macizo de Salcantay en la cordillera Vilcabamba de Cusco por la influencia de los factores climáticos, período 2015 - 2024, la muestra fué de 120 imágenes satelitales (1 por cada mes) y los reportes anuales de temperatura y precipitación acumuladas cuyos promedios fueron 4.1 °C y 56.9 mm obtenidos de la estación del SENAMHI denominada Machupicchu (CO-679). En los resultados se estimó que el retroceso supraglaciario sigue una tendencia lineal representada por la ecuación  $y = -48.1x + 100888$ , cuya pendiente negativa indica un retroceso anual promedio de 48 m<sup>2</sup>/año. Se determinó el coeficiente de Pearson con un valor de  $r = -0.303$ , y significancia estadística  $p < 0.01$ , relación negativa significativa que significa que a mayor temperatura mayor retroceso supraglaciario. La influencia de la precipitación en el retroceso supraglaciario mostró un  $r$  de Pearson igual a  $-0.160$  con un  $p = 0.082$ , lo que indica que no existe una relación estadísticamente significativa entre la precipitación acumulada y la disminución de la superficie glaciaria, por lo que la precipitación no constituye un factor relevante en el retroceso del glaciar, en comparación con la mayor incidencia de

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

**TESIS**

**RETROCESO SUPRAGLACIAR DEL NEVADO MACIZO DE SALCANTAY EN  
LA CORDILLERA VILCABAMBA CUSCO POR LA INFLUENCIA DE LOS  
FACTORES CLIMÁTICOS, PERÍODO 2015 - 2024**

**PRESENTADA POR:**

**MARYFER KARINA RODRIGUEZ ARCE**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

:

  
Dr. ESTEBAN ISIDRO LEON APAZA

PRIMER MIEMBRO

:

  
Dra. MARLENE CUSI MONTESINOS

SEGUNDO MIEMBRO

:

  
M.Sc. KORINA ASQUI GOMEZ

ASESOR DE TESIS

:

  
Mg. JULIO WILFREDO CANO OJEDA

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería Ambiental

Líneas de Investigación: Ingeniería Ambiental

Puno, 10 de diciembre del 2025.

## DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía constante, fuente de fortaleza y esperanza en cada momento de mi vida.

A mis padres, por su amor incondicional, sacrificio y apoyo permanente, quienes me enseñaron con su ejemplo el valor del esfuerzo y la perseverancia.

A mi familia, por brindarme ánimo y comprensión en cada etapa de este camino académico.

A mis docentes y amigos, quienes con sus consejos, conocimientos y compañía contribuyeron a que este logro sea posible.

Con gratitud y cariño, dedico este trabajo a todos aquellos que de una u otra forma formaron parte de mi formación profesional.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Privada San Carlos, por haberme brindado la oportunidad de recibir una formación profesional integral que me permite contribuir al desarrollo sostenible de mi región y de nuestro país.

A la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, por ser el espacio en el cual adquirí conocimientos, experiencias y valores que fortalecieron mi crecimiento académico y personal.

A los distinguidos miembros del jurado calificador:

- Presidente: Dr. Esteban Isidro León Apaza,
- Primer Miembro: Dra. Marlene Cusi Montesinos,
- Segundo Miembro: M.Sc. Korina Asqui Gomez,

quienes con su tiempo, experiencia y valiosos aportes enriquecieron y dieron mayor solidez a la presente investigación.

A mi asesor de tesis Mg. Julio Wilfredo Cano Ojeda, por su apoyo constante, orientación académica y paciencia durante el proceso de desarrollo y culminación de este trabajo, cuyo acompañamiento fue fundamental para alcanzar los objetivos planteados.

Finalmente, a todas las personas que de una u otra forma contribuyeron con sus palabras de aliento, gestos de apoyo y confianza en mí, permitiéndome llegar hasta la culminación de esta meta profesional.

## ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE 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>14</b>
1.2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	14
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 E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

<b>2.1. MARCO TEÓRICO</b>	<b>20</b>
2.1.1. DESGLACIACIÓN	20
2.1.2. RESOLUCIÓN ESPACIAL	21
2.1.3. OBSERVACIÓN REMOTA	21
2.1.4. EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO	22
2.1.5. IMÁGENES SATELITALES	23
2.1.6. CAMBIO CLIMÁTICO Y LOS GLACIARES	27
<b>2.2. MARCO CONCEPTUAL</b>	<b>28</b>
<b>2.3. MARCO NORMATIVO</b>	<b>29</b>
<b>2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>30</b>
2.4.1 HIPÓTESIS GENERAL	30
2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	30

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

<b>3.1. ZONA DE ESTUDIO</b>	<b>32</b>
<b>3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA</b>	<b>33</b>
3.2.1. POBLACIÓN	33
3.2.2. MUESTRA	33
<b>3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS</b>	<b>34</b>
3.3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	34
3.3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	34
3.3.3. MATERIALES	34
<b>3.4. DISEÑO METODOLÓGICO POR OBJETIVOS ESPECÍFICO</b>	<b>34</b>
3.4.1. RESPECTO AL PRIMER OBJETIVO ESPECÍFICO	34

3.4.2. RESPECTO AL SEGUNDO OBJETIVO ESPECÍFICO	36
3.4.3. RESPECTO AL TERCER OBJETIVO ESPECÍFICO	36
<b>3.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES</b>	<b>36</b>
<b>3.6. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO</b>	<b>37</b>
<b>CAPÍTULO IV</b>	
<b>EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS</b>	
<b>4.1. RETROCESO SUPRAGLACIAR DEL NEVADO MACIZO DE SALCANTAY CON RESPECTO A LOS PERIODOS 2015 - 2024.</b>	<b>40</b>
<b>4.2. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL RETROCESO SUPRAGLACIAR DEL NEVADO MACIZO DE SALCANTAY ENTRE EL 2015 - 2024.</b>	<b>43</b>
<b>4.3. INFLUENCIA DE LA PRECIPITACIÓN EN EL RETROCESO SUPRAGLACIAR DEL NEVADO MACIZO DE SALCANTAY ENTRE EL 2015 - 2024.</b>	<b>47</b>
<b>4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>49</b>
<b>4.5. PROCESO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS</b>	<b>51</b>
4.5.1. DE LA HIPÓTESIS GENERAL	51
4.5.2. DE LA PRIMERA HIPÓTESIS ESPECÍFICA	52
4.5.3. DE LA SEGUNDA HIPÓTESIS ESPECÍFICA	53
4.5.4. DE LA TERCERA HIPÓTESIS ESPECÍFICA	54
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>56</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>58</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>59</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>65</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 01:</b> Operacionalización de las variables	37
<b>Tabla 02:</b> Grado de correlación.	39
<b>Tabla 03:</b> Matriz de correlación entre la superficie y la temperatura.	53
<b>Tabla 04:</b> Matriz de correlación entre la superficie y la precipitación.	54

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 01:</b> Imágenes de pérdida de la superficie glacial en los Andes.	21
<b>Figura 02:</b> Parte de un sistema que encuentra elementos a distancia.	22
<b>Figura 03:</b> Espectro electromagnético	23
<b>Figura 04:</b> Niveles digitales (ND) de una imagen satelital.	25
<b>Figura 05:</b> Cambio Climático.	28
<b>Figura 06:</b> Ubicación del nevado Macizo de Salcantay.	33
<b>Figura 07:</b> Superficie calculada en base al NDSI del nevado Salcantay, en el periodo 2015 - 2024.	41
<b>Figura 08:</b> Tendencia de pérdida de superficie del nevado Salcantay (2015-2024).	42
<b>Figura 09:</b> Temperatura en el nevado Salcantay en el periodo 2015 - 2024.	44
<b>Figura 10:</b> Correlación entre la temperatura y la superficie del nevado Salcantay.	46
<b>Figura 11:</b> Precipitación acumulada en el nevado Salcantay en el periodo 2015 - 2024.	47
<b>Figura 12:</b> Correlación entre la precipitación y la superficie del nevado Salcantay.	49

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>Anexo 01:</b> Matriz De Consistencia	66
<b>Anexo 02:</b> Polígono utilizado para la determinación de área del nevada Salcantay	67
<b>Anexo 03:</b> Descarga de las imágenes satelitales LandSat 8 (Periodo 2015-2024) de la USGS.	68
<b>Anexo 04:</b> Imágenes satelitales (formato GeoTIFF) y las fechas de adquisición.	69
<b>Anexo 05:</b> Superficies determinados por meses para el periodo 2015-2024, mediante el NDSI.	76
<b>Anexo 06:</b> Temperaturas y Precipitación acumulada por meses, para el periodo comprendido entre el 2015 - 2024.	77

## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fué evaluar el retroceso supraglaciario del nevado Macizo de Salcantay en la cordillera Vilcabamba de Cusco por la influencia de los factores climáticos, período 2015 - 2024, la muestra fué de 120 imágenes satelitales (1 por cada mes) y los reportes anuales de temperatura y precipitación acumuladas cuyos promedios fueron 4.1 °C y 56.9 mm obtenidos de la estación del SENAMHI denominada Machupicchu (CO-679). En los resultados se estimó que el retroceso supraglaciario sigue una tendencia lineal representada por la ecuación  $y = - 48.1x + 100888$ , cuya pendiente negativa indica un retroceso anual promedio de 48 m<sup>2</sup>/año. Se determinó el coeficiente de Pearson con un valor de  $r = - 0.303$ , y significancia estadística  $p < 0.01$ , relación negativa significativa que significa que a mayor temperatura mayor retroceso supraglaciario. La influencia de la precipitación en el retroceso supraglaciario mostró un  $r$  de Pearson igual a  $- 0.160$  con un  $p = 0.082$ , lo que indica que no existe una relación estadísticamente significativa entre la precipitación acumulada y la disminución de la superficie glaciar, por lo que la precipitación no constituye un factor relevante en el retroceso del glaciar, en comparación con la mayor incidencia de la temperatura. Concluyendo que el retroceso supraglaciario del nevado Macizo de Salcantay en la cordillera Vilcabamba durante el período 2015 - 2024, evidencia una disminución sostenida de su superficie glaciar. Los análisis muestran que la superficie pasó de aproximadamente 3940 m<sup>2</sup> en 2015 a 3460 m<sup>2</sup> en 2024, con una pérdida acumulada superior a 480 m<sup>2</sup> en una década. Este comportamiento confirma la tendencia de retroceso glacial, en concordancia con los efectos de los factores climáticos registrados en la zona.

**Palabras clave:** Cambio climático, Precipitación, Retroceso supraglaciario, Temperatura.

## ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the supraglacial retreat of the Salcantay Massif in the Vilcabamba mountain range of Cusco under the influence of climatic factors, from 2015 to 2024. The sample consisted of 120 satellite images (one per month) and annual reports of temperature and accumulated precipitation, with averages of 4.1 °C and 56.9 mm, obtained from the SENAMHI station called Machupicchu (CO-679). The results estimated that the supraglacial retreat follows a linear trend represented by the equation  $y = -48.1x + 100888$ , whose negative slope indicates an average annual retreat of 48 m<sup>2</sup>/year. The Pearson correlation coefficient was determined with a value of  $r = -0.303$ , and statistical significance  $p < 0.01$ , a significant negative relationship meaning that higher temperatures are associated with greater supraglacial retreat. The influence of precipitation on supraglacial retreat showed a Pearson's  $r$  of  $-0.160$  with a  $p$ -value of  $0.082$ , indicating no statistically significant relationship between accumulated precipitation and the decrease in glacial surface area. Therefore, precipitation is not a relevant factor in glacial retreat, compared to the greater impact of temperature. In conclusion, the supraglacial retreat of the Salcantay Massif in the Vilcabamba mountain range during the period 2015–2024 demonstrates a sustained decrease in its glacial surface area. The analyses show that the surface area decreased from approximately 3940 m<sup>2</sup> in 2015 to 3460 m<sup>2</sup> in 2024, with a cumulative loss exceeding 480 m<sup>2</sup> over a decade. This behavior confirms the trend of glacial retreat, consistent with the effects of climatic factors recorded in the area.

**Keywords:** Climate change, Precipitation, Supraglacial retreat, Temperature.

## INTRODUCCIÓN

El estudio del retroceso supraglaciario del nevado Macizo de Salcantay, situado en la Cordillera Vilcabamba de Cusco, adquiere gran relevancia debido a la acelerada reducción de su masa glaciar como consecuencia del cambio climático. Durante el periodo comprendido entre los años 2015 y 2025 se ha evidenciado un proceso de deshielo significativo, influenciado principalmente por factores climáticos como el incremento de la temperatura, las variaciones en los patrones de precipitación y la incidencia de la radiación solar. Analizar estos procesos resulta esencial para comprender sus repercusiones en los ecosistemas de alta montaña y en la disponibilidad de recursos hídricos, particularmente en aquellas comunidades que dependen del agua proveniente del deshielo glaciar.

La investigación de estos fenómenos permite identificar la relación existente entre los factores climáticos y la reducción de la superficie glaciar, generando información indispensable para la gestión sostenible del recurso hídrico y la formulación de estrategias de adaptación frente al calentamiento global. La reducción de los glaciares no solo amenaza la biodiversidad y el equilibrio de los ecosistemas, sino que también representa un riesgo para la seguridad del abastecimiento de agua y la producción de energía en la región. Actividades fundamentales como la agricultura y la generación hidroeléctrica dependen en gran medida de los flujos generados por el deshielo glaciar (Samaniego et al., 2019).

Asimismo, este estudio constituye un aporte significativo a la formulación de políticas ambientales y a la implementación de acciones orientadas a mitigar los efectos del cambio climático. La obtención de información precisa y actualizada acerca de la evolución del nevado Salcantay permitirá elaborar planes de conservación y de gestión sostenible de los recursos naturales, fomentando estrategias de resiliencia que aseguren

la estabilidad de las comunidades locales frente a las consecuencias del retroceso glaciar.

El desarrollo del presente documento se ha organizado en los siguientes apartados:

- **Capítulo I:** Se expone el problema, citando información relevante relacionada a retroceso glaciar, teledetección, temperatura y precipitación; presentando antecedentes de carácter internacional, nacional y local.
- **Capítulo II:** Se desarrolla el marco teórico, considerando temas como: desglaciación, imágenes satelitales, su preprocesamiento, cambio climático conceptual y la normatividad nacional vigente, concluyendo con la formulación de las hipótesis.
- **Capítulo III:** Se aborda la metodología de investigación, la descripción del Nevado Macizo de Salcantay, situado en la Cordillera Vilcabamba de los Andes peruanos en la región del Cusco, se define las imágenes satelitales a utilizar y el respectivo periodo para la población y la muestra, así como los procedimientos estadísticos utilizados.
- **Capítulo IV:** Se presentan los resultados del retroceso supraglaciar, la influencia de la temperatura en el retroceso, acompañados de su respectivo análisis e interpretación.

Finalmente, se exponen las conclusiones y recomendaciones derivadas del retroceso supraglaciar del nevado Macizo de Salcantay en la cordillera Vilcabamba de Cusco.

## CAPÍTULO I

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

#### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A nivel global, el desafío más grande al que nos enfrentamos es el cambio climático. Las zonas con nevadas a nivel mundial han experimentado una disminución considerable de la cubierta glacial, esto se atribuye a que las temperaturas mundiales están en aumento debido a acciones humanas y a la ineficacia de los procesos naturales. Por lo tanto, entre otros aspectos, el deslizamiento progresivo de las montañas nevadas a nivel mundial representa un desafío para el medio ambiente en general (Dormido et al., 2022).

Aún existen significativas áreas de glaciares en Perú que están derritiéndose y retrocediendo rápidamente debido a los impactos del cambio climático a nivel regional y global, a causa de las elevaciones considerables de la cordillera de los Andes, que llega a tener alturas superiores a los 6.000 metros sobre el nivel del mar..

Numerosos municipios costeros de Perú, incluyendo Lima, la capital nacional, se apoyan progresivamente más en el agua proveniente de los glaciares. La creciente necesidad de agua para el sector agrícola ha generado múltiples desafíos de administración. La disminución del volumen glaciar debido al cambio climático amenaza con alterar este equilibrio, por lo que resulta crucial comprender cómo varían las escorrentías, los caudales base y las reservas hídricas en dichas microcuencas, con el fin de establecer

estrategias de gestión y adaptación adecuadas frente a un escenario de reducción del recurso hídrico en las próximas décadas (Samaniego et al., 2019).

Los cambios en las cosas no vivas afectan la rápida desaparición de los glaciares. Esto se ve en la reducción del tamaño de los glaciares, el movimiento hacia atrás de sus bordes, el aumento de lagos nuevos y más grandes que se ubican a sus faldas, y la presencia de glaciares que cuelgan.

Aún existen significativas áreas de glaciares en Perú que están derritiéndose y retrocediendo rápidamente debido a los impactos del cambio climático a nivel regional y global, a causa de las elevaciones considerables de la cordillera de los Andes, que llega a tener alturas superiores a los 6.000 metros sobre el nivel del mar..

### **1.1.1. PROBLEMA GENERAL**

¿Cuál es el retroceso supraglaciario del nevado Macizo de Salcantay en la cordillera Vilcabamba de Cusco por la influencia de los factores climáticos, período 2015 - 2024?

### **1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

- ¿Cuánto es el retroceso supraglaciario del nevado Macizo de Salcantay con respecto a los periodos 2015 - 2024?.
- ¿De qué manera la temperatura influye en el retroceso supraglaciario del nevado Macizo de Salcantay entre el 2015 - 2024?.
- ¿De qué manera la precipitación influye en el retroceso supraglaciario del nevado Macizo de Salcantay entre el 2015 - 2024?

## **1.2. ANTECEDENTES**

### **1.2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES**

- Silva & David (2020), en la bahía de Larsen B, ubicada al noreste de la península Antártica, examinaron específicamente los glaciares cuyas aguas se acumulan en depósitos de agua dulce. Lo que encontraron mostró que la mayor cantidad de agua dulce del mundo está congelada en la Antártida. Argentina y otros países que

firmaron el Tratado Antártico están inquietos por el informe del grupo de expertos sobre el cambio climático, que dice que la temperatura promedio del mundo subirá 1,1 °C. Sus estudios revelan un retroceso acelerado, adelgazamiento del hielo y desintegración de plataformas, con impacto local y global, como el aumento del nivel del mar. En Argentina el instituto dedicado a la investigación de lo que sucede en el Ártico además, monitorean variables climáticas y geológicas para desarrollar modelos predictivos y estrategias de adaptación frente al derretimiento glaciar. Los glaciares en la bahía Larsen B, al noreste de la península antártica, se han reducido de forma más rápida en los últimas décadas.

- Ruiz (2013), explica la forma de cómo se desarrolla un glaciar, pues hace una investigación de zona aledañas a los paralelos 43 y 42° de la latitud sur, estudiando la geomorfología de almacenes que existen en la cordillera andina, todo esto para un periodo que inicia en la etapa glacial, su metodología se basó en medir la energía que entra y sale del hielo del glaciar por 5 años, usando una forma de cono. Descubrió que el glaciar puede crecer entre 200 y 400 metros cúbicos, y llegar a una altura de 2100 metros sobre el nivel del mar si se añadía un factor de crecimiento a los datos, lo que demostraba cierta proporcionalidad en el crecimiento.
- Molano et al. (2022), en Colombia, analizaron el retroceso glacial a través de la clasificación de imágenes aéreas multisensores en la Sierra Nevada del Cocuy. Sus hallazgos indicaron que durante 34 años, la cobertura de los glaciares ha experimentado una reducción de 1099,59 ha (1987-2021). De acuerdo con el estudio, la superficie cubierta por glaciares experimentó una disminución cercana al 37,92% en relación con la imagen inicial de 1987. El Niño y otros fenómenos de variabilidad climática natural, como la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) o la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO), operan a escalas de tiempo más cortas y añaden complejidad a la ya preocupante tendencia de retroceso glaciar. Su influencia, sin

embargo, se entremezcla e intensifica con los efectos a largo plazo del calentamiento global. En este contexto, el incremento de la temperatura media anual, impulsado por las crecientes concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, debilita la resistencia del hielo glaciar al derretimiento.

- Zhang et al. (2022), en Asia central, llevaron a cabo un estudio acerca del impacto del cambio climático en la circulación de los glaciares y las cuencas glaciares de la montaña Harlik en las montañas Tianshan orientales. En sus hallazgos indicaron: en los cuarenta años previos, el volumen total de los glaciares había descendido en 0,018 km<sup>3</sup> y la superficie de los glaciares había experimentado una disminución del 13%. Durante el periodo analizado, tanto a nivel anual como mensual (específicamente entre los meses de mayo y septiembre), se identificó una tendencia consistentemente creciente con una significancia estadística elevada ( $p < 0,01$ ). Este hallazgo sugiere un aumento progresivo en un parámetro no especificado previamente en el contexto general, aunque podemos inferir que se trata del caudal o de la esorrentía del río. Para entender mejor esta tendencia, se llevó a cabo una simulación del comportamiento hidrológico de la cuenca. Los resultados de esta simulación revelaron que el río Yushugou ha recibido una cantidad considerable de agua proveniente del derretimiento de los glaciares de la zona, es decir, una importante esorrentía glaciar

### 1.2.2. ANTECEDENTES NACIONALES

- Blancas et al. (2020), hasta el año 2030, se evaluaron las variaciones en los patrones de cobertura de nieve y las zonas nevadas en el sur de Perú. Sus resultados principales indican que entre 2002 y 2009, se registró una significativa reducción de las zonas nevadas. Usando datos del sistema PISCO (SENAMHI), se identificó un incremento en las fluctuaciones térmicas, con un aumento promedio de 0,5 °C en las temperaturas máximas y mínimas. Además, mediante el modelo de predicción de

Markov, se proyectó que para el año 2030 la superficie nevada disminuirá aún más que durante el periodo analizado, indicando una tendencia acelerada en la pérdida de cobertura nival.

- Quispe (2023), con un enfoque espacial y temporal, evaluó el impacto del retroceso glaciar del nevado Huaytapallana y cómo estos ecosistemas se han transformado geográficamente y a lo largo del tiempo. Los hallazgos revelaron que, después de 30 años de estudio, se calculó que la superficie del glaciar era de 27,73 km<sup>2</sup> en 1990 y de 15,71 km<sup>2</sup> en 2020, lo que implica una reducción del 56,65%. Basándose en la información recolectada acerca de la cobertura glaciar, se estableció una tasa de 0,42. El índice de temperatura de la superficie terrestre, que mostró una correlación con la disminución de la cubierta glaciar y resultó en una pérdida de 28,93 km<sup>2</sup> de superficie, se calculó empleando la función del índice diferencial de nieve normalizado (NDSI)/año de retroceso de los glaciares. Basándose en datos empíricos, el análisis de la investigación concluye que hay una relación inversa (negativa) de importancia estadística entre las variables estudiadas.
- Follanos & Sarmientos (2020), estudiaron el retroceso glaciar observado en Salkantay y Verónica, mediante el estudio temporal del cambio de superficie de dichos nevados teniendo como ámbito de estudio la ciudad de Cusco. Sus hallazgos indicaron que durante un lapso de 30 años (1990-2020), los nevados habían presenciado una tasa de retroceso glaciar considerablemente alta. Se prevé que el retroceso acelerado de los glaciares continúe como consecuencia de los múltiples cambios climáticos registrados en los últimos años, lo cual podría generar impactos negativos en todas las formas de vida que habitan el área de influencia de las montañas nevadas. En este contexto, se identificó una pérdida significativa de masa glaciar: el nevado Verónica perdió 1851,47 ha (18,5147 km<sup>2</sup>), mientras que el

Salkantay perdió 1691,65 ha (16,9165 km<sup>2</sup>), lo que representa un cambio importante en ambas montañas.

- Aedo & Quispe (2022), en Cusco, calcularon el retroceso del Nevado Chicco y la predicción a través de un estudio multitemporal que cubre el periodo 1985-2021. Sus hallazgos revelaron que el modelo R2 modificado, que presenta un valor de 0,7647 en los resultados, sugiere una explicación muy buena, explicando el 76,47% de la variabilidad de la superficie total en km<sup>2</sup> del nevado Chicón. De esta manera hace una medición del valor “tiempo” que termina modificando el valor del tamaño del cuerpo de nieve denominado “Chicon”, de tal forma que termina concluyendo la importancia del modelo que ha planteado es significativa ( $F = 0,000$ ).
- Calderon & Mora (2022), en Cusco, realizaron una modelación por teledetección del retroceso glaciar en la cordillera de Vilcabamba a causa del cambio climático ocurrido entre 2013 y 2022. Sus hallazgos indicaron a través del índice de temperatura de la superficie terrestre, que mostró una correlación con la disminución de la cubierta glaciar. Esto resultó en una pérdida de superficie de 28,93 km<sup>2</sup>, calculada a partir de la función del índice diferencial de nieve normalizado (NDSI).

### 1.2.3. ANTECEDENTES LOCALES

- Pacompia (2022), en el distrito de Macusani - Puno, analizó el Nivel de deshielo en la cumbre nevada Allincapac entre 2000 y 2020. Los hallazgos presentados indican que entre 2000 y 2020 se ha registrado una disminución de 1653,92 ha de glaciares, siendo la pérdida más significativa entre 2000 y 2005, con una extensión de 816,55 ha. Esta disminución notable se debe a la temperatura más elevada registrada en 2002, que alcanzó los 14,80°C. Los glaciares que se derriten han hecho que las temperaturas más bajas suban 0,23°C. La temperatura máxima promedio también ha subido, en este caso 0,46°C, mostrando los cambios en el clima de los últimos años. Es muy importante entender estos cambios, porque entre 2005 y 2020 la temperatura

máxima llegó a 15,00°C, y esto hizo que el área de los glaciares se redujera en 837,37 hectáreas.

- Ccallata (2021), en Puno, se examinó la reducción de la cobertura glacial del nevado Salluyo en la cordillera de Apolobamba y el efecto de factores climáticos entre 1985 y 2020, los hallazgos señalan una reducción en la cobertura de los glaciares. En el tiempo que duró el estudio, las lluvias bajaron mucho. Las temperaturas más altas y más bajas subieron bastante entre 1985 y 1999, pero desde el año 2000 hasta el 2020, no cambiaron mucho. La temperatura y la lluvia fueron muy importantes para que los glaciares se hicieran más pequeños. Dentro de sus datos presentados nos muestra que el nevado Salluyo, ha presentado en un periodo de treinta y 5 años una disminución de su superficie glacial en 28.45%, acotando que los glaciares del estudio han perdido en total 1.01 Km<sup>2</sup>, pues de tener en 1985 un área de 3.55 pasó a tener 2.54 en el año 2020.

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

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el retroceso supraglacial del nevado Macizo de Salcantay en la cordillera Vilcabamba de Cusco por la influencia de los factores climáticos, período 2015 - 2024.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Estimar el retroceso supraglacial del nevado Macizo de Salcantay con respecto a los periodos 2015 - 2024.
- Determinar la influencia de la temperatura en el retroceso supraglacial del nevado Macizo de Salcantay entre el 2015 - 2024.
- Determinar la influencia de la precipitación en el retroceso supraglacial del nevado Macizo de Salcantay entre el 2015 - 2024.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

#### 2.1. MARCO TEÓRICO

##### 2.1.1. DESGLACIACIÓN

La deglaciación se define como el retroceso progresivo de los glaciares y el ascenso gradual de la línea de nieve permanente en las montañas de gran altitud, lo que eventualmente puede llevar a la desaparición total de los glaciares en determinadas zonas. Este proceso está estrechamente vinculado con el incremento sostenido de las temperaturas globales, lo que acelera la fusión del hielo y reduce considerablemente las masas glaciares. La pérdida de glaciares no solo representa un impacto paisajístico, sino también una amenaza para los recursos hídricos, la biodiversidad y las poblaciones humanas que dependen de estas fuentes de agua en épocas secas (Calizaya, 2018).

Según el INAIGEM, la caída de los glaciares en los Andes de Perú está principalmente vinculada al cambio climático, a causa de la tendencia ascendente de las temperaturas. Esta entidad indica que la deglaciación se debe a diversos factores, destacando el incremento de la temperatura atmosférica como el más significativo. Adicionalmente, se ha notado que los sucesos ENSO (El Niño Southern Oscillation) se producen con más regularidad en periodos de altas temperaturas (Bolívar, 2018).



**Figura 01:** Imágenes de pérdida de la superficie glacial en los Andes.

**Fuente:** (Bolívar, 2018).

### 2.1.2. RESOLUCIÓN ESPACIAL

La resolución espacial es uno de los principales parámetros técnicos que caracterizan una imagen satelital o aérea, y hace referencia al tamaño del área en la superficie terrestre que representa cada píxel de la imagen digital. En otras palabras, define el nivel de detalle que puede observarse en una imagen obtenida mediante sensores remotos (Ramírez et al., 2020).

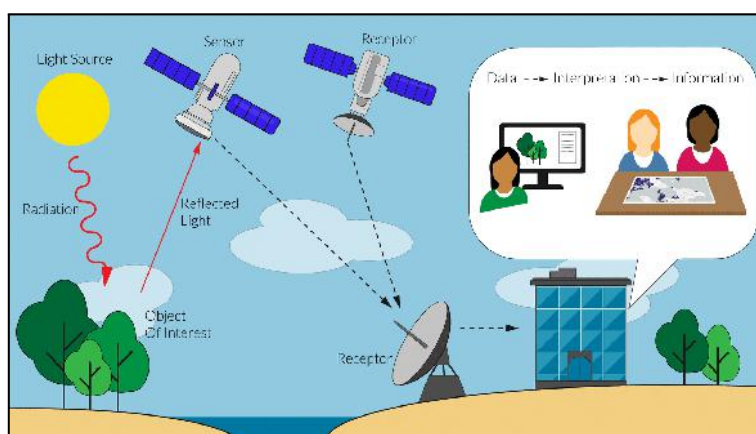
Se expresa generalmente en metros (m), y se interpreta como la dimensión del terreno cubierta por un solo píxel. Por ejemplo, una resolución espacial de 30 metros (como la del satélite Landsat 8) indica que cada píxel de la imagen representa un área de 30 × 30 metros en la superficie terrestre. Cuanto menor es el valor numérico, mayor es la resolución, lo que implica mayor detalle. Por el contrario, una resolución de 250 metros, como la del sensor MODIS, implica menor detalle, ya que cada píxel abarca una mayor superficie terrestre (Aristizabal et al., 2020).

### 2.1.3. OBSERVACIÓN REMOTA

La observación remota (también conocida como teledetección o remote sensing, en inglés) es una disciplina científica y tecnológica que se encarga de obtener información

de objetos o áreas de la superficie terrestre sin necesidad de estar en contacto físico directo con ellos, mediante el uso de sensores instalados en plataformas aéreas (como drones o aviones) o espaciales (como satélites) (Selva, 2020).

Esta tecnología capta la radiación electromagnética reflejada, emitida o absorbida por los elementos presentes en la Tierra (agua, suelo, vegetación, nieve, infraestructura, etc.), y la convierte en datos que pueden ser procesados, analizados e interpretados para diversos fines ambientales, geográficos, agrícolas, urbanos, climáticos, entre otros, todo ellos se basa en el principio de que todo objeto en la superficie terrestre interactúa con la energía solar u otras fuentes de radiación, y esta interacción puede ser registrada por un sensor remoto. Dependiendo de la longitud de onda que se utilice (visible, infrarroja, microondas), es posible identificar y caracterizar diferentes elementos del entorno. (Vigier & Gutiérrez, 2019).



**Figura 02:** Parte de un sistema que encuentra elementos a distancia.

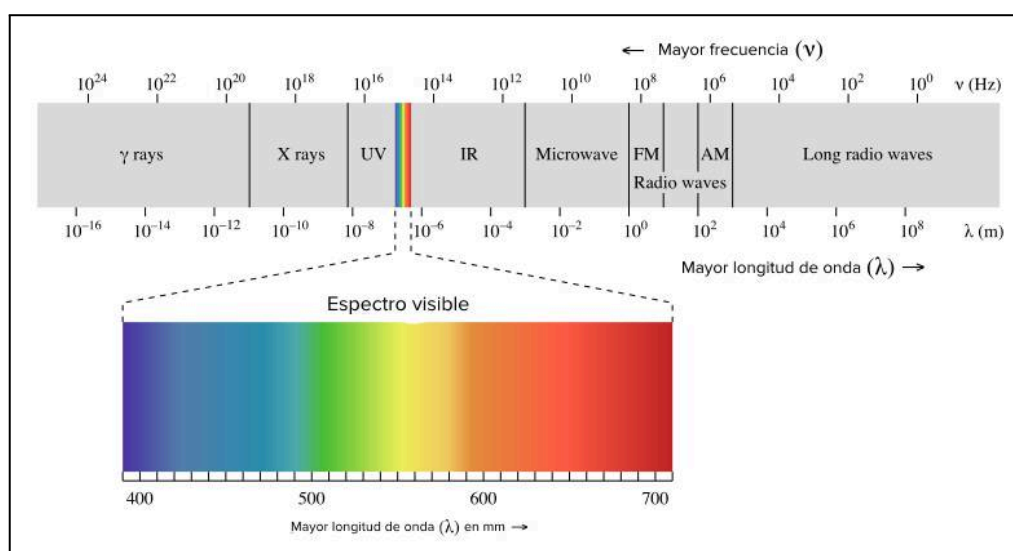
**Fuente:** (Vigier & Gutiérrez, 2019).

#### 2.1.4. EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

El espectro electromagnético es una representación ordenada de las diferentes formas de radiación electromagnética, clasificadas según la longitud de onda que emiten o absorben. Esta estructura se fundamenta en la naturaleza ondulatoria de la energía, que proviene de cualquier fuente que presente un movimiento armónico y cuya velocidad de

propagación en el vacío la velocidad de la luz permanezca constante e invariable, aproximadamente 299.792 km/s. (Matul & Rafael, 2021).

En este contexto, resulta especialmente relevante el papel de la teledetección y, en particular, de las imágenes hiperespectrales. Una imagen hiperespectral se compone de cientos de bandas espectrales muy estrechas y contiguas que capturan información detallada del comportamiento espectral de los objetos en la superficie terrestre. Estas imágenes permiten identificar materiales y elementos con alta precisión, gracias a que cada superficie refleja o absorbe la radiación electromagnética de forma única. (Rodríguez, 2021).



**Figura 03:** Espectro electromagnético

**Fuente:** (Rodríguez, 2021).

## 2.1.5. IMÁGENES SATELITALES

### 2.1.5.1. Pre procesamiento de imágenes satelitales

Con el fin de mejorar la calidad de los resultados y garantizar su exactitud en relación con el objetivo específico del análisis, se realiza un conjunto de procedimientos conocidos como preprocesamiento de imágenes satelitales. Este proceso es fundamental, ya que las imágenes captadas por sensores remotos pueden presentar diversas distorsiones

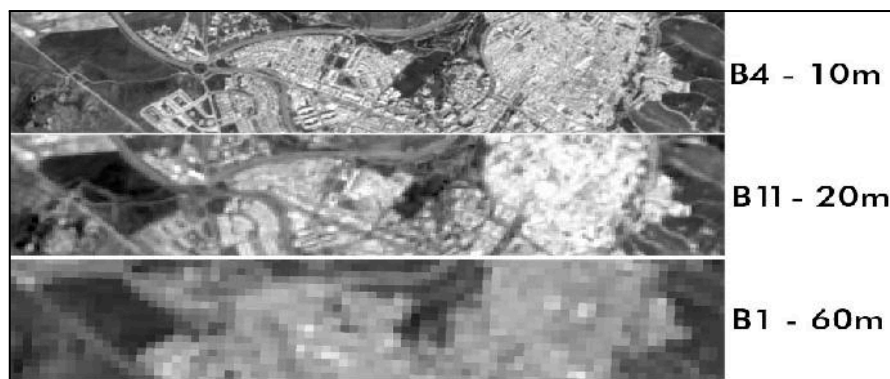
debido a factores atmosféricos, geométricos, radiométricos o incluso por las condiciones del sensor en el momento de la adquisición (Baquerizo & Ventocilla, 2022).

El preprocesamiento permite corregir estas imperfecciones mediante técnicas como la corrección radiométrica, que ajusta los valores de brillo y contraste; la corrección geométrica, que alinea la imagen con coordenadas geográficas reales; y la eliminación de ruido, que limpia la imagen de interferencias que pueden distorsionar la interpretación. Gracias a estas técnicas, las imágenes se estandarizan y se vuelven comparables entre sí, lo cual es especialmente importante en estudios multitemporales o en aplicaciones que requieren precisión espacial, como el monitoreo de cambios en la cobertura terrestre, análisis agrícolas, estudios hidrológicos o evaluación de zonas afectadas por desastres naturales (Quezada et al., 2022).

#### **2.1.5.2 ND (Niveles digitales)**

Los niveles digitales (ND), también conocidos como valores digitales (*digital numbers* o *DN* en inglés), son los valores numéricos asignados a cada píxel de una imagen satelital o aérea, los cuales representan la intensidad de la radiación electromagnética que ha sido registrada por un sensor en un determinado rango espectral (Falcó, 2017).

Cuando un satélite u otro sensor remoto captura una imagen de la superficie terrestre, no lo hace en forma de colores o fotografías tradicionales, sino como una matriz numérica, donde cada píxel contiene un número entero que indica cuánta energía electromagnética (como luz visible, infrarroja o térmica) fue reflejada o emitida por el terreno en ese punto específico (Zempoalteca et al., 2017).



**Figura 04:** Niveles digitales (ND) de una imagen satelital.

**Fuente:** (Zempoalteca et al., 2017).

En resumen, los niveles digitales son los elementos cuantitativos fundamentales que componen las imágenes satelitales y permiten la interpretación remota del paisaje terrestre. Comprender su naturaleza y manipulación es esencial en estudios de teledetección como el monitoreo del retroceso glaciar, ya que permiten medir con precisión la reflectancia del hielo, nieve y otros elementos en distintas fechas.

### **2.1.5.3 Correcciones geométricas o georreferenciación**

Las anomalías detectadas en las imágenes satelitales, ya sean distorsiones en la forma, posición o intensidad de los píxeles, pueden afectar la interpretación y análisis de la información geoespacial. Para corregir estos errores, se aplican técnicas de corrección geométrica y radiométrica, las cuales forman parte fundamental de los procesos de ajuste y optimización de imágenes. La corrección geométrica se encarga de alinear las imágenes con coordenadas geográficas reales, eliminando errores producidos por la inclinación del sensor, la curvatura terrestre o el movimiento del satélite. Por otro lado, la corrección radiométrica ajusta los valores de reflectancia para compensar diferencias en iluminación, ángulos solares y condiciones atmosféricas. (Gonzalez, 2000).

Una vez seleccionada la escena correspondiente al área de estudio, es necesario aplicar una corrección atmosférica para eliminar la influencia de partículas y gases presentes en la atmósfera que afectan la señal recibida por el sensor. Para ello, se puede emplear el

modelo FLASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes), el cual es una técnica eficiente y ampliamente reconocida para la corrección atmosférica en imágenes hiperespectrales. Este modelo permite simular y corregir los efectos atmosféricos sobre la radiación registrada, lo que garantiza una mejor representación de las características espectrales reales de los objetos en la superficie terrestre. (Nieto & Alarcón, 2023).

#### **2.1.5.4 Correcciones atmosféricas**

La corrección atmosférica es un proceso fundamental en el tratamiento de imágenes satelitales que tiene como objetivo eliminar o reducir los efectos causados por la atmósfera terrestre en los datos registrados por los sensores remotos, para así obtener valores más precisos y comparables de la reflectancia real de la superficie terrestre. (Camas et al., 2022).

Cuando la energía solar viaja desde el sol hacia la Tierra, y luego desde la superficie terrestre hacia el sensor satelital, atraviesa la atmósfera, la cual contiene gases, vapor de agua, aerosoles, nubes y partículas en suspensión. Estos componentes modifican la señal electromagnética mediante fenómenos como dispersión, absorción y reflexión, generando distorsiones en los valores digitales (ND) captados por el sensor. (Bolaños et al., 2022).

Sin corrección atmosférica, los datos obtenidos por imágenes satelitales pueden estar alterados por las condiciones atmosféricas del momento (humedad, polvo, humo, ángulo solar, etc.), lo que impide:

- Comparaciones entre imágenes de diferentes fechas (análisis multitemporal).
- Cálculo preciso de índices espectrales como NDVI, NDWI, NDSI, etc.
- Generación de productos científicos consistentes, como mapas de uso del suelo, cobertura glaciaria o biomasa.

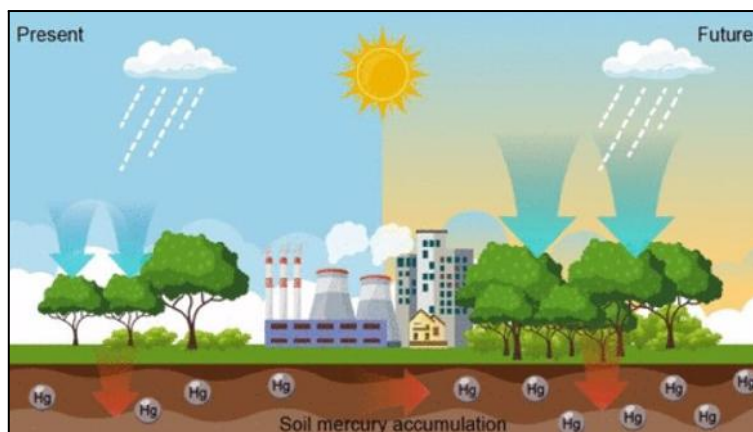
## 2.1.6. CAMBIO CLIMÁTICO Y LOS GLACIARES

El cambio climático es un fenómeno global caracterizado por variaciones significativas y sostenidas en el clima de la Tierra a lo largo del tiempo, especialmente en temperaturas, precipitaciones, patrones de viento y fenómenos extremos. Estas alteraciones pueden ser de origen natural (erupciones volcánicas, variaciones solares, etc.), pero en las últimas décadas se atribuyen principalmente a la actividad humana, especialmente por la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) como el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) y óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), producto de la quema de combustibles fósiles, la deforestación, la industrialización y otras actividades antrópicas. (Monge et al., 2022).

Los glaciares, masas de hielo acumulado durante miles de años, son altamente sensibles a las variaciones climáticas, especialmente a las temperaturas del aire y a los patrones de precipitación (nieve y lluvia). A nivel mundial, se observa desde mediados del siglo XX un acelerado retroceso glaciar, lo cual constituye uno de los indicadores más visibles y preocupantes del cambio climático (Molano et al., 2022).

Las principales consecuencias del cambio climático en los glaciares incluyen:

- Retroceso de la superficie glaciar: La reducción del área cubierta por nieve y hielo es evidente en muchas cadenas montañosas, incluyendo los Andes tropicales.
- Pérdida de masa glaciar: No solo disminuye el área, sino también el volumen, afectando el equilibrio hidrológico.
- Desaparición de glaciares pequeños: Algunos glaciares tropicales de baja altitud han desaparecido completamente.
- Cambios en la dinámica supraglaciar: Formación de lagunas glaciares, desprendimiento de bloques de hielo, y alteraciones en la morfología del glaciar.
- Reducción de la criosfera: La criosfera (zonas congeladas del planeta) se está reduciendo, alterando el clima global y los ciclos del carbono y del agua. (Molano et al., 2022).



**Figura 05:** Cambio Climático.

**Fuente:** (Molano et al., 2022).

## 2.2. MARCO CONCEPTUAL

**Calentamiento global:** Es un incremento en la media de las temperaturas oceánicas y atmosférica a través del tiempo (Báez et al., 2018).

**Cambio climático:** Incluye cualquier cambio climático provocado por la actividad humana o por sucesos naturales cíclicos, incluyendo el aumento de la temperatura a escala mundial (Canaza, 2019).

**Glaciar:** Un glaciar es una masa de hielo de gran tamaño y espesor, formada por la acumulación, compactación y recristalización de nieve a lo largo del tiempo, que fluye lentamente por acción de la gravedad. Son reservorios naturales de agua dulce y altamente sensibles al cambio climático (Alberti, 2021).

**Precipitación:** Cuando se produce una precipitación en forma de lluvia, aguanieve o nieve en la superficie de la Tierra, en realidad se trata de agua en forma líquida o sólida que se ha generado en la atmósfera (Ruiz et al., 2023).

**QGIS:** QGIS (anteriormente conocido como *Quantum GIS*) es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de código abierto que permite visualizar, editar, analizar y gestionar datos geoespaciales. (Santos et al., 2022).

**Radiación solar:** El fenómeno físico se produce cuando la energía solar se libera en

forma de radiación electromagnética (Heredia et al., 2019).

**R-Studio:** Este ambiente de desarrollo incorporado en el lenguaje R se enfoca en el análisis estadístico y las instantáneas. Proporciona funciones para la administración del espacio laboral, una consola, gráficos y un editor de sintaxis para la ejecución fácil de código (Santos et al., 2022).

**Supraglaciario:** Se refiere a los componentes que se encuentran en la superficie de un glaciar, tales como agua, sedimentos, rocas y otros materiales acumulados en el hielo. En el campo de la glaciología, se utiliza para referirse a los fenómenos y procesos que inciden en la capa superior de los glaciares, tales como la acumulación de escombros (Alberti, 2021).

**Temperatura:** La temperatura es una magnitud física que mide el grado de calor o energía térmica presente en un cuerpo o sistema. En el contexto climático, es un factor clave que influye directamente en el equilibrio y la dinámica de los glaciares, acelerando su derretimiento cuando se incrementa (Sánchez & Vargas, 2023).

### 2.3. MARCO NORMATIVO

#### **Ley N.º 30754 – Ley Marco sobre Cambio Climático**

Establece el marco legal para gestionar, de manera integral, los impactos del cambio climático. Reconoce la necesidad de generar conocimiento científico sobre la vulnerabilidad de los glaciares y promueve acciones de adaptación con base en evidencia.

#### **Ley N.º 30286 – Ley de Creación del Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM)**

Establece la creación del INAIGEM como organismo técnico especializado del MINAM, encargado de realizar investigaciones científicas sobre los glaciares, ecosistemas de montaña y su interacción con el cambio climático.

### **Reglamento de la Ley N.º 30286 – D.S. N.º 005-2016-MINAM**

Regula las funciones de INAIGEM, señalando como parte de su misión la investigación y monitoreo del retroceso glaciar, la recopilación de información científica y la promoción del uso sostenible de los ecosistemas de montaña.

### **Ley N.º 28245 – Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental (SNGA)**

Establece las bases para la gestión ambiental en el país, incluyendo la responsabilidad del Estado en el monitoreo de los recursos naturales como los glaciares y fuentes hídricas.

### **Decreto Supremo N.º 004-2014-MINAM – Política Nacional del Ambiente**

Incluye lineamientos de protección de ecosistemas sensibles como los glaciares andinos, promoviendo la investigación científica como base para la toma de decisiones.

### **Estrategia Nacional ante el Cambio Climático al 2050 (ENCC 2050)**

Incluye entre sus objetivos la protección de los glaciares como fuentes hídricas estratégicas frente al aumento de temperaturas y reducción de masa glaciar.

### **Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)**

El Perú, como parte del CMNUCC, tiene el compromiso de reportar los impactos del cambio climático sobre sus ecosistemas, incluyendo la pérdida de glaciares tropicales.

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

### **2.4.1 HIPÓTESIS GENERAL**

El retroceso supraglaciar del nevado Macizo de Salcantay en la cordillera Vilcabamba de Cusco es significativo por la influencia de los factores climáticos, período 2015 - 2024.

### **2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

- La cobertura supraglaciar del nevado Macizo de Salcantay ha disminuido con respecto a los periodos 2015 - 2024.
- Las altas temperaturas influyen significativamente en el retroceso supraglaciar del nevado Macizo de Salcantay entre el 2015 - 2024.

- El aumento de las precipitaciones no influye significativamente en el retroceso supraglaciario del nevado Macizo de Salcantay entre el 2015 - 2024.

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. ZONA DE ESTUDIO

El Nevado Macizo de Salcantay, situado en la Cordillera Vilcabamba de los Andes peruanos en la región del Cusco, es un glaciar de gran importancia por su elevación y su influencia en el sistema de agua local. Su ubicación geográfica se encuentra cerca de las coordenadas 13°20'S y 72°32'O, enmarcado en un territorio montañoso con un terreno accidentado y una capa de nieve constante en sus áreas más elevadas. Respecto a su ubicación geográfica, el nevado llega a los 6,271 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.), situándose entre los picos más altos de la Cordillera Vilcabamba. Su estructura comprende pendientes pronunciadas y valles glaciares, formados por procesos naturales con el paso del tiempo.



**Figura 06:** Ubicación del nevado Macizo de Salcantay.

**Fuente:** Google Earth.

## 3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

### 3.2.1. POBLACIÓN

- Para la variable dependiente la población estuvo compuesta por la totalidad de datos espacio - temporales disponibles relacionados al área de estudio en el periodo 2015 - 2024, que incluyen: todas las imágenes satelitales multitemporales disponibles del nevado Salcantay (imágenes de Landsat 8)
- Para la variable independiente todos los datos climáticos históricos (temperatura y precipitación) registrados en estaciones meteorológicas cercanas (SENAMHI) durante el periodo de estudio.

### 3.2.2. MUESTRA

Este estudio utilizó como muestra doce imágenes satelitales anuales (1 por cada mes) de la superficie del Macizo de Salcantay durante los años 2015 a 2024. Por lo tanto, la muestra fué de 120 imágenes satelitales.

Para el caso de los factores climáticos los reportes anuales de temperatura y precipitación de la estación del SENAMHI denominada Machupicchu (CO-679), de la misma manera de forma mensual.

### **3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS**

#### **3.3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Ya que el estudio determinó las áreas donde la cubierta glaciaria descendía debido al impacto de factores climáticos, esto estuvo en consonancia con la metodología cuantitativa no experimental. Como se recolectaron datos estadísticos, se procedió a recolectarlos.

#### **3.3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

El enfoque de la investigación fue no experimental, ya que no se alteraron las variables. Se llevó a cabo el examen de las unidades empíricas o variables tal como se presentaban en su entorno natural. El diseño de la investigación fue seccional o transversal, dado que los datos se recolectaron en un único instante, en un tiempo específico, con el objetivo de caracterizar las variables y analizar su impacto e interconexión (Cabrera, 2023).

#### **3.3.3. MATERIALES**

- QGis (v3.26.17).
- SPSS (v25).
- Microsoft Excel Versión 2019.

### **3.4. DISEÑO METODOLÓGICO POR OBJETIVOS ESPECÍFICO**

#### **3.4.1. RESPECTO AL PRIMER OBJETIVO ESPECÍFICO**

Estimar el retroceso supraglaciario del nevado Macizo de Salcantay con respecto a los periodos 2015 - 2024.

Para determinar los niveles de retroceso supraglaciario del nevado Macizo de Salcantay, se emplearon las imágenes satelitales Landsat 8, adquiridas de la plataforma geoespacial EarthExplorer según el área de estudio (Ver Anexo 03). Las imágenes por satélite

permitirán obtener información geoespacial, que se empleó para establecer si hay un retroceso supraglaciario en el nevado Macizo de Salcantay.

#### **a) Definición del área (nevado Macizo de Salcantay)**

Para el análisis, se ha realizado un Shapefile (contorno) del nevado Salcantay la cual cubre toda la zona de estudio (Ver Anexo 02). Se empleó la coordenada UTM para optimizar la georreferenciación de un elipsoide de referencia WGS84. Esto se llevó a cabo mediante el uso del software Qgis.

#### **b) Cálculo del supraglaciario**

Se emplearon los siguientes índices espectrales para el cálculo supraglaciario:

##### **→ Índice diferencial normalizado de nieve (NDSI)**

A través de la siguiente ecuación:

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

**Donde:**

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

##### **→ Índice diferencial normalizado de glaciario (NDGI)**

A través de la siguiente ecuación:

$$NDGI = \frac{(GREEN - RED)}{(GREEN + RED)}$$

**Donde:**

$$NDSI (Landsat 8) = (B3 - B4) / (B3 + B4)$$

##### **→ Índice diferencial normalizado de nieve y hielo (NDSII)**

A través de la siguiente ecuación:

$$NDSII = \frac{(GREEN - NIR)}{(GREEN + NIR)}$$

**Donde:**

$$NDSI (Landsat 8) = (B3 - B5) / (B3 + B5)$$

### **3.4.2. RESPECTO AL SEGUNDO OBJETIVO ESPECÍFICO**

Determinar la influencia de la temperatura en el retroceso supraglaciario del nevado Macizo de Salcantay entre el 2015 - 2024.

Para obtener información del clima, se utilizaron los datos de la estación SENAMHI más cercana a la zona de estudio.

Dicha información ha sido correlacionada estadísticamente utilizando el estadístico Pearson para poder determinar el grado de dependencia de las variables.

### **3.4.3. RESPECTO AL TERCER OBJETIVO ESPECÍFICO**

Determinar la influencia de la precipitación en el retroceso supraglaciario del nevado Macizo de Salcantay entre el 2015 - 2024.

Se llevó a cabo la localización de una estación meteorológica (SENAMHI) utilizando el método "teledetección" en el área de estudio que es el nevado Macizo de Salcantay. Para su correcta localización, la estación se ubicó en un lugar cercano a la zona de estudio.

Dicha información ha sido correlacionada estadísticamente utilizando el estadístico Pearson para poder determinar el grado de dependencia de las variables.

### **3.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES**

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

Efecto o variable dependiente (VD): Retroceso supraglaciario del nevado Macizo de Salcantay

**Tabla 01:** Operacionalización de las variables

<b>Variab</b> les	<b>Indicadores</b>	<b>Escala de Medición</b>	<b>Tipos de variables</b>
(VI) Influencia de los factores climáticos.	- <b>Temperaturas</b> mínimas	°C	Independiente
	máximas		
(VD) Retroceso supraglaciardel nevado Macizo de Salcantay	- <b>Precipitaciones</b>	mm	Dependiente
	Áreas	km <sup>2</sup> %	

### 3.6. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO

#### Tratamiento de pruebas estadísticas

Una de las etapas cruciales en la investigación cuantitativa implica el procesamiento, análisis e interpretación de los datos obtenidos a través de fotografías aéreas. En este estudio, se utilizó la estadística inferencial, la cual asiste al investigador en hallar relevancia en sus hallazgos.

#### Pruebas de normalidad

Para establecer una correcta prueba de correlación estadística que ilustre las conexiones entre variables, inicialmente, se estableció el presupuesto paramétrico de normalidad de los datos.

Para establecer si los valores poseen una distribución normal, se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov (K-S) con corrección de Lilliefors, que se utiliza principalmente en grupos de datos con un número de valores que superan los 50 datos. La prueba tiene una significancia del 95% (0.05), en la que si el resultado (p-value) supera el valor de 0.05 se establece una "distribución normal", mientras que si el resultado es inferior al valor de 0.05 se establece una "distribución no normal".

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

Según lo señalado por Aristizábal et al. (2006), la correlación representa una medida estadística que expresa la fuerza y dirección de la asociación lineal entre dos variables cuantitativas. Esta medida es fundamental para evaluar el grado de dependencia entre variables, permitiendo establecer relaciones proporcionales o inversamente proporcionales en función del comportamiento conjunto de los datos.

En contextos donde se cumplen los supuestos de normalidad, homocedasticidad y linealidad, el análisis se realizó mediante técnicas paramétricas, específicamente a través del coeficiente de correlación de Pearson (r). Este coeficiente cuantifica la relación lineal entre dos variables continuas, basado en la covarianza de sus valores estandarizados, y adopta valores en el intervalo [-1, +1].

En contraste, en situaciones donde las variables no siguen una distribución normal o presentan relaciones no lineales, se recurre a estadísticos no paramétricos. En ese sentido, Alberti et al. (2002) recomiendan el uso del coeficiente de correlación de Spearman ( $\rho$ ), el cual se fundamenta en los rangos ordenados de los datos y permite identificar relaciones monótonas, independientemente de su linealidad.

Ambos coeficientes adoptan valores comprendidos entre -1 y +1, donde:

- Un valor cercano a +1 indica una correlación positiva fuerte, es decir, a medida que una variable aumenta, la otra también lo hace.

- Un valor próximo a -1 refleja una correlación negativa fuerte, donde el incremento de una variable se asocia con la disminución de la otra.
- Un valor próximo a 0 sugiere la ausencia de relación estadísticamente significativa.

Para facilitar la interpretación del grado de asociación, se emplean criterios cuantitativos que permiten clasificar la intensidad de la correlación como débil, moderada o fuerte. En el presente estudio, dichos rangos se presentan en la Tabla 03, de acuerdo con convenciones estadísticas ampliamente aceptadas en la literatura científica.

**Tabla 02:** Grado de correlación.

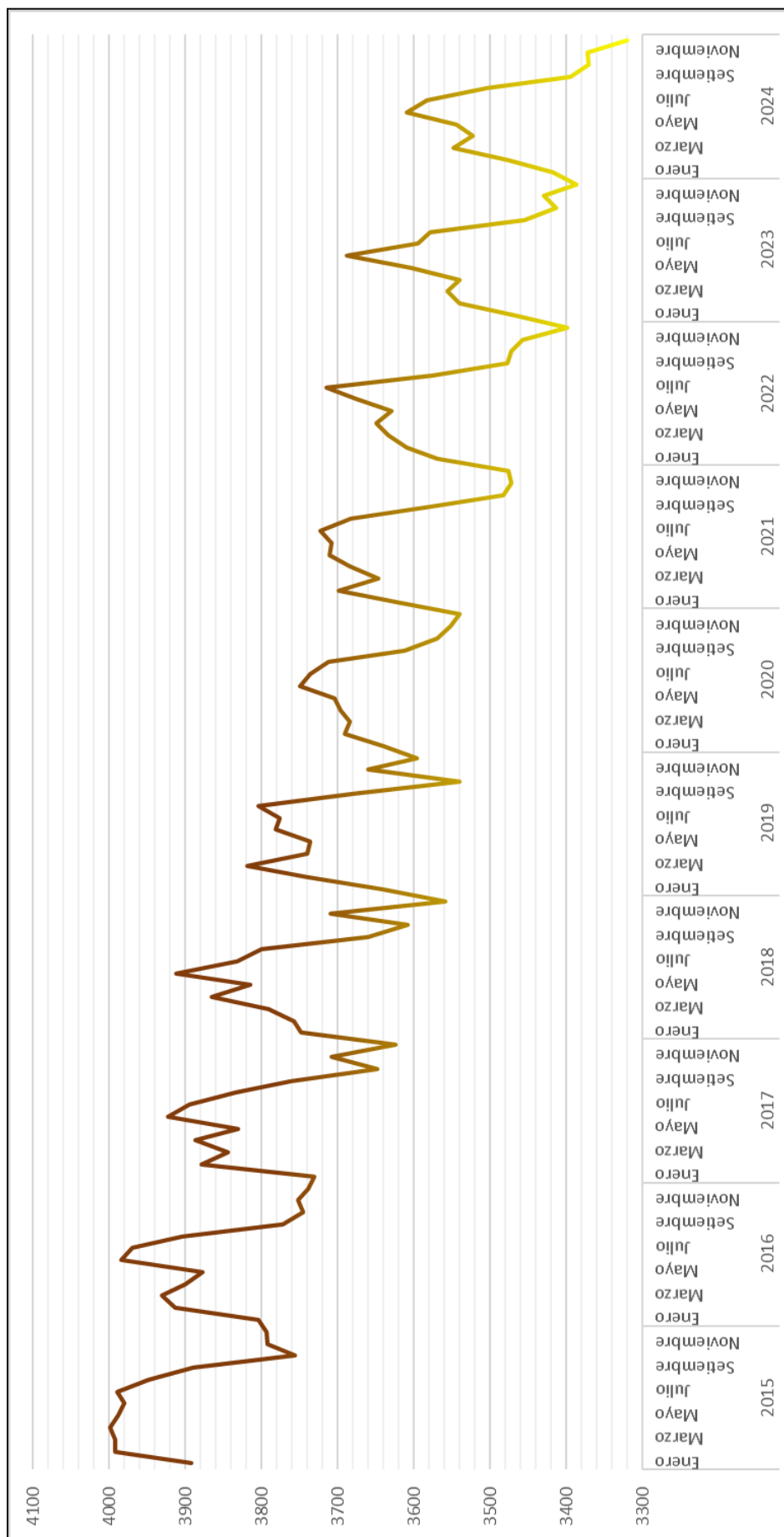
<b>r</b>	<b>Interpretación</b>
0.90 - 1.00	Alta correlación.
0.70 - 0.89	Correlación elevada
0.50 - 0.69	Moderada correlación
0.30 - 0.49	Baja correlación.
0.00 - 0.29	Correlación escasa.

**Fuente:** Adaptado de Devore (2008).

## **CAPÍTULO IV**

### **EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

#### **4.1. RETROCESO SUPRAGLACIAR DEL NEVADO MACIZO DE SALCANTAY CON RESPECTO A LOS PERIODOS 2015 - 2024.**



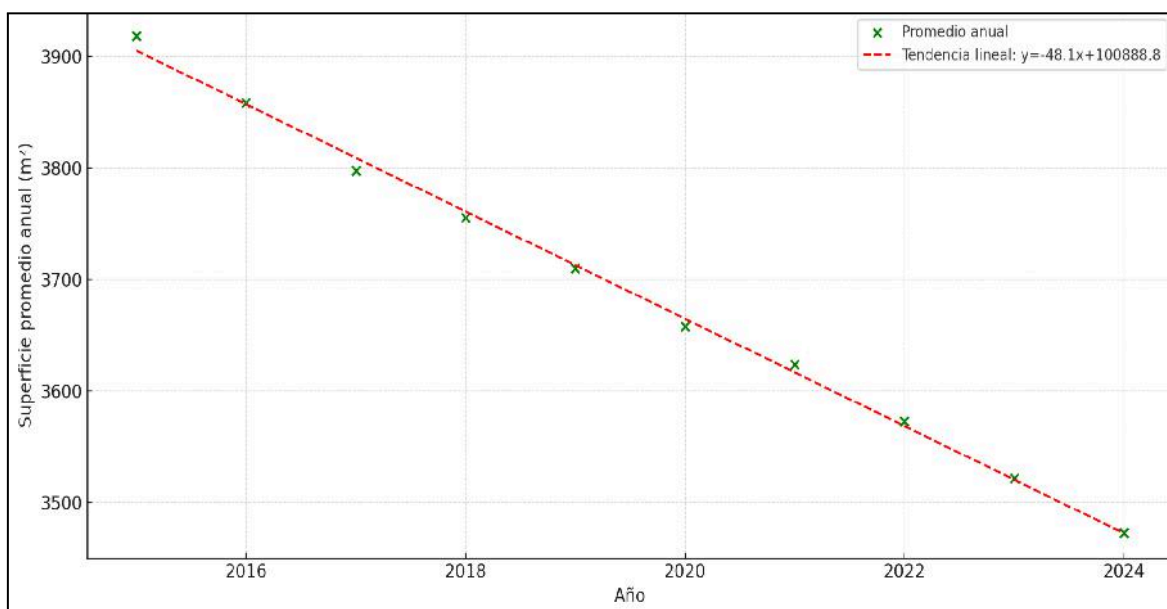
**Figura 07:** Superficie calculada en base al NDSI del nevado Salcantay, en el periodo 2015 - 2024.

**Fuente:** En base a los datos del Anexo 05.

Al analizar la figura 07, que muestra la serie temporal de la superficie del nevado Salcantay en el periodo 2015 al 2024, se observa que la

superficie registrada alcanzó un valor de 3999 m<sup>2</sup> NDSI en abril de 2015, mientras que la mínima superficie se reportó en diciembre de 2024 con 3321 m<sup>2</sup>. El promedio general para todo el periodo de estudio fue de 3700.7 m<sup>2</sup>, con una desviación estándar de 183.4, lo cual refleja una variabilidad significativa entre años y meses. Durante los primeros años (2015 – 2017) se registraron los valores más elevados, con promedios anuales que superaban las 3850 m<sup>2</sup>, indicando un estado más conservado del glaciar. Sin embargo, a partir de 2018 se evidencia un retroceso progresivo y sostenido, alcanzando valores considerablemente menores en los últimos años del análisis.

Asimismo, se aprecia un comportamiento cíclico estacional: los valores máximos tienden a presentarse durante la temporada de lluvias, particularmente entre los meses de abril a julio, mientras que los valores mínimos se concentran hacia finales de cada año, coincidiendo con la estación seca. Esta dinámica evidencia que, si bien la superficie glaciar responde a la estacionalidad climática, predomina una tendencia negativa acumulada a lo largo de la década, lo que confirma el retroceso glaciar continuo del nevado Salcantay.



**Figura 08:** Tendencia de pérdida de superficie del nevado Salcantay (2015-2024).

En la figura 08 podemos observar la Evolución mensual (2015-2024), donde se observa

un **descenso progresivo** en la superficie, las fluctuaciones estacionales se deben a acumulación/deshielo según las estaciones, pero la tendencia general es de pérdida.

El Promedio anual en el 2015, el promedio anual estaba cerca de 3940 m<sup>2</sup>, en 2024, bajó a alrededor de 3460 m<sup>2</sup>, esto implica una **reducción neta de más de 480 m<sup>2</sup> en 10 años**.

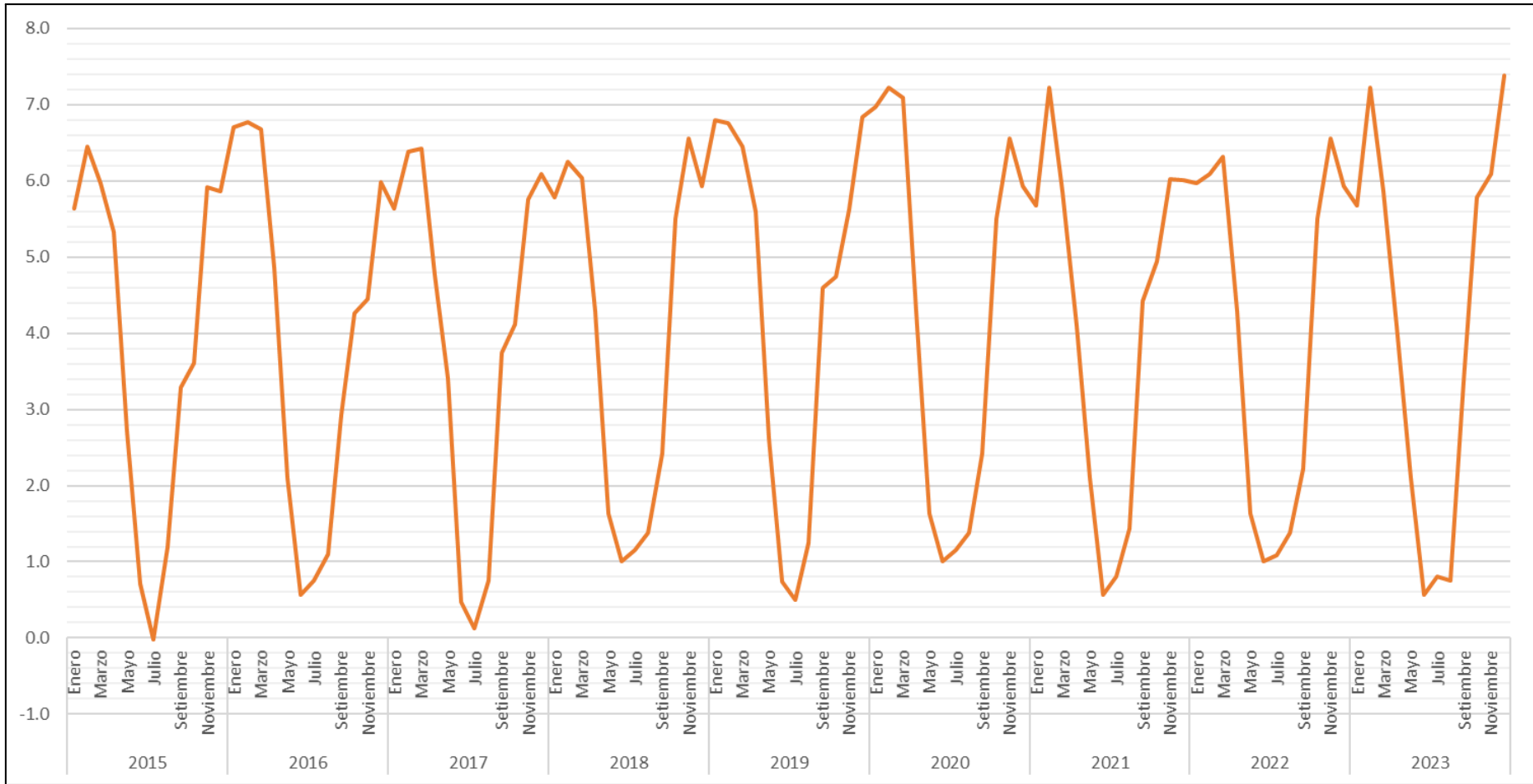
**La regresión lineal (tendencia) presenta la siguiente ecuación:**

$$y = -48.1x + 100888$$

La pendiente negativa (**- 48.1 m<sup>2</sup> por año**) confirma una **pérdida constante de superficie glaciar**. Si la tendencia continúa, en unas dos décadas más la superficie podría reducirse aún más de manera significativa.

El nevado Salcantay presenta una **disminución anual promedio de 48.1 m<sup>2</sup>**, lo que representa una clara señal del retroceso glaciar. Este retroceso se asocia a factores climáticos como incremento de temperatura y variaciones de precipitación.

#### **4.2. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL RETROCESO SUPRAGLACIAR DEL NEVADO MACIZO DE SALCANTAY ENTRE EL 2015 - 2024.**



**Figura 09:** Temperatura en el nevado Salcantay en el periodo 2015 - 2024.

**Fuente:** En base a los datos del Anexo 07.

De acuerdo a la figura 09, entre 2015 y 2024 la temperatura en la zona del nevado Salcantay presenta un promedio mensual de 4.1 °C

con una marcada variación estacional, con valores bajos en los meses de invierno austral (junio - agosto, cercanos a 0 °C o incluso ligeramente negativos) y picos más altos en verano (diciembre - marzo, con valores que llegan a 6 - 7 °C).

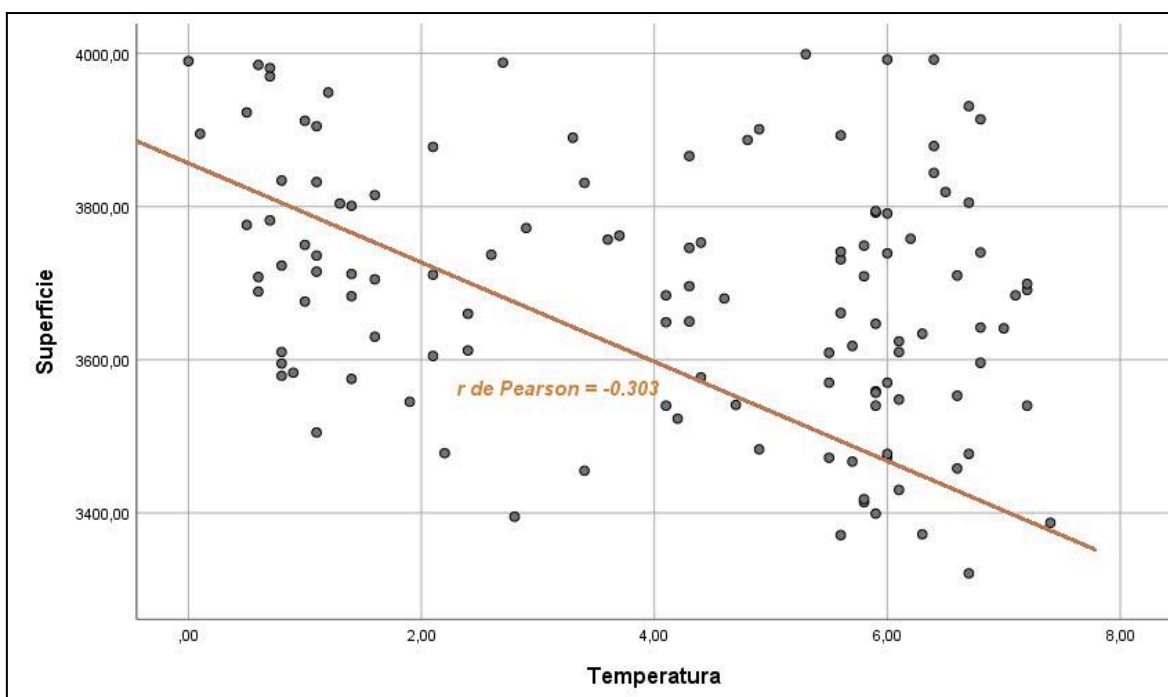
Al observar la serie completa se aprecia que, si bien las oscilaciones estacionales se mantienen relativamente constantes, existe una tendencia de incremento gradual en los valores máximos anuales. Así:

- En 2015, los picos cálidos rondaban entre 6.0 y 6.4 °C.
- Hacia 2019–2020, los máximos alcanzan 7.0 - 7.2 °C.
- En 2023 y 2024, algunos meses superan los 7.4 °C, lo que sugiere un calentamiento progresivo.

En contraste, los valores mínimos en invierno siguen mostrando descensos pronunciados (entre 0.0 y 1.0 °C, e incluso julio 2015 con 0.0 °C). Esto indica que la amplitud térmica sigue siendo alta, pero la línea base se desplaza hacia temperaturas más cálidas. En términos de interpretación:

- El incremento en los máximos anuales sugiere un calentamiento progresivo de la atmósfera en la zona del nevado.
- La persistencia de valores muy bajos en invierno muestra que las heladas siguen ocurriendo, aunque menos extremas.
- Este aumento gradual de la temperatura media anual constituye un factor clave en la aceleración del retroceso glaciar, ya que eleva la tasa de fusión y reduce los periodos de acumulación de nieve.

Entonces se confirma que entre 2015 y 2024 hubo un ascenso sostenido en las temperaturas máximas en la zona del Salcantay, en promedio de +1 °C a +1.5 °C en la década, lo que se asocia directamente con la pérdida de superficie glaciar registrada en las Figuras 06.

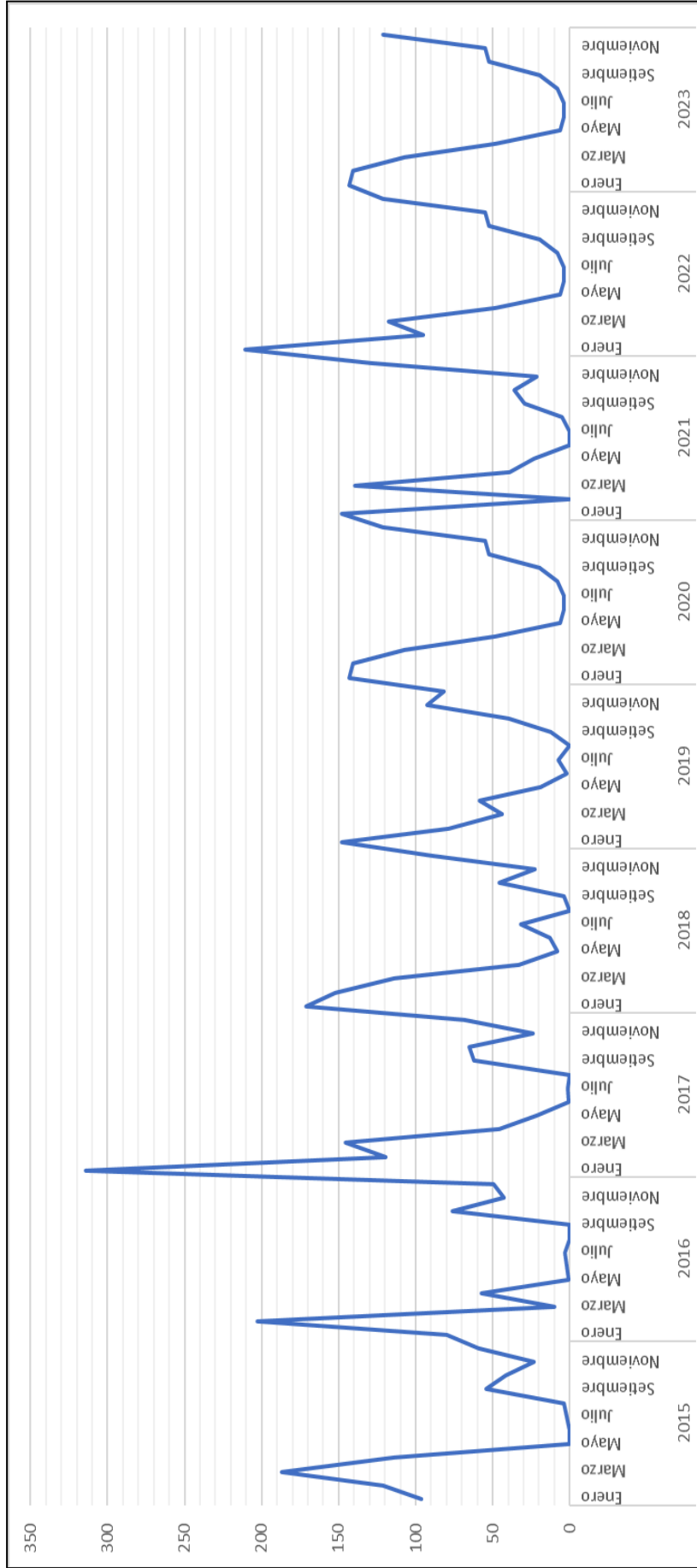


**Figura 10:** Correlación entre la temperatura y la superficie del nevado Salcantay.

De acuerdo a la figura 10, la correlación obtenida entre la temperatura y la superficie glaciar del nevado Salcantay es negativa y débil ( $r = -0.303$ ). Esto significa que, en términos generales, a medida que la temperatura promedio anual aumenta, la superficie glaciar tiende a disminuir; sin embargo, la fuerza de la relación no es alta. La debilidad de la correlación puede explicarse porque la pérdida de superficie glaciar no depende únicamente de la temperatura. Otros factores climáticos, como la precipitación (en forma de nieve o lluvia), la radiación solar, la nubosidad y la topografía local, influyen de manera importante en el balance de masa glaciar. Además, los glaciares suelen mostrar respuestas retardadas a los cambios climáticos, por lo que la disminución de superficie puede acumularse como efecto de varios años de condiciones desfavorables.

Aunque existe un patrón de relación inversa entre temperatura y superficie, no es lo suficientemente fuerte como para atribuirle un papel único. El retroceso glaciar en el Salcantay debe interpretarse como resultado de la interacción de varios factores climáticos y ambientales, siendo la temperatura un elemento importante pero no exclusivo.

**4.3. INFLUENCIA DE LA PRECIPITACIÓN EN EL RETROCESO SUPRAGLACIAR DEL NEVADO MACIZO DE SALCANTAY ENTRE EL 2015 - 2024.**



**Figura 11:** Precipitación acumulada en el nevado Salcantay en el periodo 2015 - 2024.

**Fuente:** En base a los datos del Anexo 07.

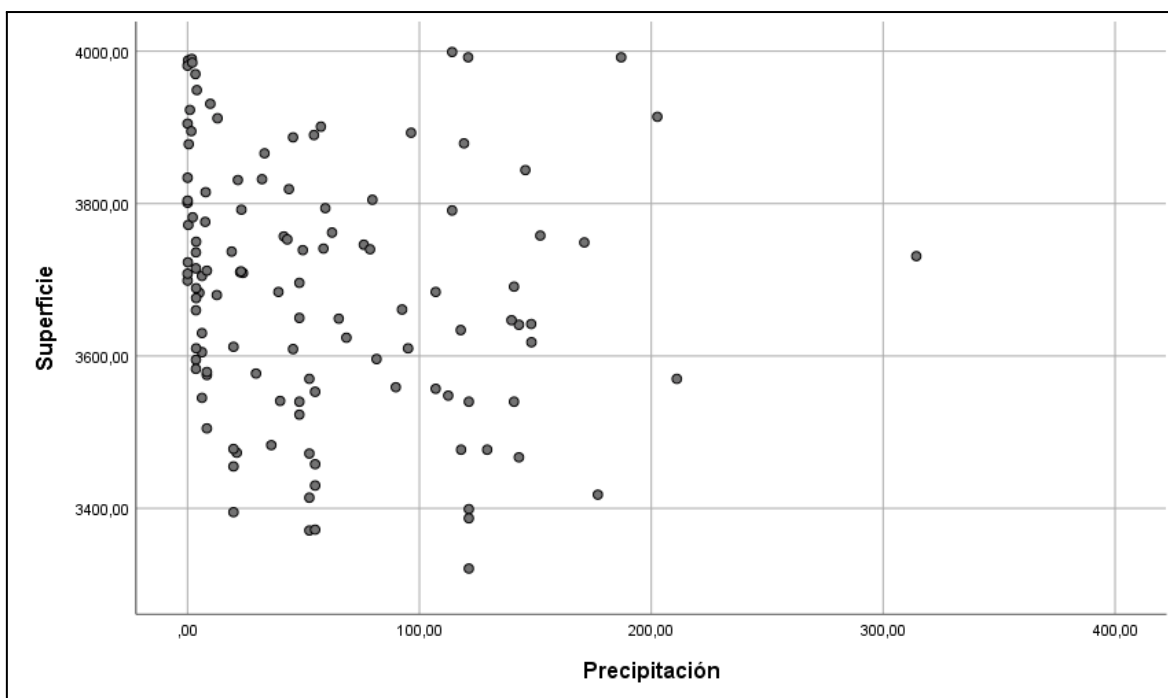
De acuerdo a los resultados de la figura 11, la precipitación promedio acumulada es igual a 56.9 mm, siendo el valor máximo absoluto: 314,3 mm en enero de 2017, éste es el mes más lluvioso registrado en la serie. Se trata de un pico muy alto, coincidiendo con la época de lluvias intensas en la sierra sur peruana (enero–marzo). Otros valores altos relevantes:

- 211 mm en enero de 2022
- 202,6 mm en febrero de 2016
- 176,9 mm en enero de 2024

Estos valores reafirman que los picos más importantes se concentran en los meses de lluvia en la zona (enero - marzo).

Respecto a los valores mínimos, **0 mm en varios meses secos**, por ejemplo: Junio 2015, Agosto 2016 y 2018, Julio 2021, ésto corresponde a la estación seca, donde la precipitación prácticamente desaparece en la zona altoandina, otros mínimos recurrentes (casi nulos) entre **0,1 y 1 mm** se repiten en varios meses de junio, julio y agosto.

La estacionalidad es muy marcada: **enero, febrero y marzo** son los meses con mayor aporte de precipitación y **Junio, julio y agosto** son prácticamente secos, con valores cercanos a cero. En resumen se puede decir que él máximo absoluto es 314,3 mm (enero 2017), el mínimo absoluto es 0 mm (junio, julio o agosto de varios años).



**Figura 12:** Correlación entre la precipitación y la superficie del nevado Salcantay.

De acuerdo a la figura 12, la correlación entre precipitación y superficie glaciar en el nevado Salcantay es  $r = -0.160$ , lo que indica una relación muy débil y negativa: a mayor precipitación, la superficie tiende a disminuir ligeramente, pero la relación es prácticamente inexistente.

Además, el  $p$  valor = 0.82 es mucho mayor que el umbral de significancia habitual (0.05), lo que implica que **esta correlación no es estadísticamente significativa**. En otras palabras, no hay evidencia suficiente para afirmar que la precipitación influye directamente en la superficie glaciar en este periodo.

Esto sugiere que, en el caso del Salcantay, la precipitación no es un factor determinante en la reducción de la superficie glaciar, y que la temperatura u otros factores climáticos (como el aumento de radiación solar, variabilidad estacional, o procesos de fusión acelerada) podrían tener un peso mucho mayor en el retroceso.

#### 4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Contradicciones en cuanto a resultados lo vemos con la investigación de Silva & David (2020) donde se encontraron que el retroceso glaciar que está fuertemente influenciado

por el aumento de temperatura global, con un efecto acelerado en el derretimiento y desintegración de plataformas de hielo, lo cual coincide parcialmente con nuestros resultados respecto a la influencia de la temperatura.

Sin embargo, estudios como el de Zhang et al. (2022) en Asia Central reportaron que la escorrentía glaciar aumentó significativamente debido al retroceso, influenciado por el incremento térmico y por la variabilidad estacional (mayo–septiembre), mostrando una correlación mucho más fuerte y estadísticamente significativa que en el caso del Salcantay.

En contraste, nuestro hallazgo de una precipitación poco influyente contradice lo reportado por Molano et al. (2022) en Colombia, donde fenómenos climáticos como El Niño y la Oscilación Decadal del Pacífico intensificaron la pérdida glaciar, evidenciando que en otras cordilleras la variabilidad en las precipitaciones sí juega un rol relevante.

En las Investigaciones en Perú, como las de Blancas et al. (2020) y Quispe (2023) en Huaytapallana, reportan una correlación estadísticamente significativa entre el aumento de la temperatura y el retroceso glaciar, al igual que lo observado en el Salcantay, sin embargo, estudios como los de Calderón & Mora (2022) también encontraron que la precipitación y la temperatura en conjunto explican la pérdida glaciar en Vilcabamba, lo cual difiere de nuestro resultado, donde la precipitación no mostró relación significativa.

En el caso específico del Salcantay, Follanos & Sarmientos (2020) identificaron una pérdida de 16,9 km<sup>2</sup> en tres décadas (1990–2020), mucho mayor a la registrada en este estudio (2015–2024). La diferencia puede explicarse porque nuestro periodo de análisis es más corto y reciente, y además se basó en el cálculo de NDSI sobre imágenes satelitales de resolución media, lo que limita la comparación directa en magnitud.

En los estudios locales como el de Pacompia (2022) en Allincapac o Ccallata (2021) en Salluyo encontraron una fuerte influencia tanto de la temperatura como de la precipitación en el retroceso glaciar. Esto difiere de nuestro análisis, ya que la precipitación en el

Salcantay no mostró significancia estadística. Una posible explicación de esta contradicción es que la dinámica hidrológica y microclimática del Salcantay, al estar ubicado en la Cordillera de Vilcabamba con gran altitud y fuerte acumulación nival estacional, puede depender más de los procesos de fusión acelerada por incremento térmico que de las variaciones de precipitación, lo que no ocurre en nevados más pequeños o en cordilleras con condiciones climáticas distintas.

#### **4.5. PROCESO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS**

##### **4.5.1. DE LA HIPÓTESIS GENERAL**

Planteamos la hipótesis nula y alterna:

$H_0$  = El retroceso supraglaciario del nevado Macizo de Salcantay en la cordillera Vilcabamba de Cusco no es significativo por la influencia de los factores climáticos, período 2015 - 2024.

$H_a$  = El retroceso supraglaciario del nevado Macizo de Salcantay en la cordillera Vilcabamba de Cusco es significativo por la influencia de los factores climáticos, período 2015 - 2024.

Los resultados obtenidos permiten realizar la contrastación: en la Figura 08, se observa una disminución sostenida de la superficie glaciario del nevado Salcantay durante el periodo 2015-2024, con una pérdida promedio anual de aproximadamente 48 m<sup>2</sup>, lo cual confirma un retroceso continuo en la última década. En relación con la temperatura, la Figura 09 y 10 muestran una correlación negativa y moderada con la superficie glaciario (r de Pearson = -0.303), lo que evidencia que el incremento de la temperatura media ha tenido un efecto significativo en la reducción de la masa glaciario. Por el contrario, la relación entre precipitación y superficie glaciario, mostrada en la Figura 10 y 11, presenta un valor de r de Pearson = -0.160 con un p-valor de 0.82, lo que indica que esta variable climática no tuvo una influencia estadísticamente significativa en el retroceso glaciario durante el periodo de análisis.

En consecuencia, al encontrarse una asociación significativa entre el incremento de la temperatura y la reducción de la superficie glaciar, pero no con la precipitación, se puede afirmar que el retroceso del nevado Salcantay se debe principalmente a la acción de los factores climáticos de orden térmico. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se **acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ )**

#### 4.5.2. DE LA PRIMERA HIPÓTESIS ESPECÍFICA

Planteamos la hipótesis nula y alterna:

$H_0$  = La cobertura supraglaciar del nevado Macizo de Salcantay no ha disminuido con respecto a los periodos 2015 - 2024.

$H_a$  = La cobertura supraglaciar del nevado Macizo de Salcantay ha disminuido con respecto a los periodos 2015 - 2024.

De acuerdo a los resultados de la Figura 08, se muestra la superficie calculada mediante el índice NDSI para el periodo 2015 - 2024, donde se evidencian valores máximos cercanos a 3940 m<sup>2</sup> en el 2015 y mínimos en torno a 3460 m<sup>2</sup> en el 2024, reflejando una pérdida neta de aproximadamente 480 m<sup>2</sup> en diez años. La Figura 09 expone la tendencia de pérdida de superficie a través de la regresión lineal, cuya ecuación ( $y = -48.1x + 100888$ ) indica una pendiente negativa, equivalente a una reducción de alrededor de 48 m<sup>2</sup> por año, lo cual confirma un patrón de retroceso constante. De acuerdo con la Figura 10, la correlación entre la temperatura y la superficie glaciar presentó un valor de  $r$  de Pearson = - 0.303, lo que confirma la influencia de los factores térmicos en la disminución de la cobertura glaciar. Por otro lado, la Figura 11 evidenció que la precipitación acumulada mostró una correlación débil con la superficie glaciar ( $r$  de Pearson = -0.160;  $p = 0.82$ ), lo cual indica que esta variable no resultó significativa en la dinámica del retroceso durante el periodo analizado. En función de estos resultados, se concluye que existe una disminución real y sostenida en la cobertura supraglaciar del nevado Salcantay a lo largo del periodo 2015 – 2024, asociada principalmente al

incremento de las temperaturas. Por consiguiente, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se **acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ )**.

#### 4.5.3. DE LA SEGUNDA HIPÓTESIS ESPECÍFICA

Planteamos la hipótesis nula y alterna:

$H_0$  = Las altas temperaturas no influyen significativamente en el retroceso supraglaciario del nevado Macizo de Salcantay entre el 2015 - 2024.

$H_a$  = Las altas temperaturas influyen significativamente en el retroceso supraglaciario del nevado Macizo de Salcantay entre el 2015 - 2024.

**Tabla 03:** Matriz de correlación entre la superficie y la temperatura.

		Superficie	Temperatura
Superficie	Correlación de Pearson	1	-,303**
	Sig. (bilateral)		,001
	N	120	120
Temperatura	Correlación de Pearson	-,303**	1
	Sig. (bilateral)	,001	
	N	120	120

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Para verificar las hipótesis debemos establecer que:

- El retroceso supraglaciario = disminución de la superficie

Al analizar los datos, en la Tabla 03: Matriz de correlación entre la superficie y la temperatura, se obtuvo un coeficiente de correlación de Pearson  $r = -0.303$  con un nivel de significancia  $p = 0.001$ , lo cual indica que la relación es negativa, significativa y de baja intensidad. Esto significa que a medida que la temperatura aumenta, la superficie del nevado Salcantay tiende a disminuir, esto quiere decir que la temperatura SI influye en el **retroceso supraglaciario** (disminución de superficie)

Este hallazgo es consistente con lo representado en la Figura 07, donde se observa una tendencia descendente en la superficie glaciar a lo largo del periodo 2015 – 2024, y con la **Figura 08**, que muestra gráficamente la correlación inversa entre ambas variables. Además la pendiente negativa de la regresión (Figura 07) refuerza este resultado, ya que confirma que, con el paso del tiempo y el incremento de la temperatura, la superficie glaciar registra una reducción promedio de aproximadamente 48 m<sup>2</sup> por año.

En función de los resultados estadísticos y gráficos, se concluye que existe una influencia significativa de las altas temperaturas en el retroceso supraglaciar del nevado Salcantay durante el periodo analizado. Por consiguiente, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se **acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ )**,

#### 4.5.4. DE LA TERCERA HIPÓTESIS ESPECÍFICA

Planteamos la hipótesis nula y alterna:

$H_0$  = El aumento de las precipitaciones influye significativamente en el retroceso supraglaciar del nevado Macizo de Salcantay entre el 2015 - 2024.

$H_a$  = El aumento de las precipitaciones no influye significativamente en el retroceso supraglaciar del nevado Macizo de Salcantay entre el 2015 - 2024.

**Tabla 04:** Matriz de correlación entre la superficie y la precipitación.

		Superficie	Precipitación
Superficie	Correlación de Pearson	1	-,160
	Sig. (bilateral)		,082
	N	120	120
Precipitación	Correlación de Pearson	-,160	1
	Sig. (bilateral)	,082	
	N	120	120

Al analizar los datos de la Tabla 04: Matriz de correlación entre la superficie y la precipitación, se obtuvo un coeficiente de correlación Pearson  $r = -0.160$  con un valor de significancia  $p = 0.082$ . Si bien la relación es negativa y débil, el nivel de significancia no es inferior al 0.05, lo que indica que **la correlación no es estadísticamente significativa**.

En la Figura 09, donde se muestra la evolución de la precipitación acumulada en el periodo 2015 – 2024, se observa una fuerte variabilidad interanual, con años de alta precipitación y otros con reducciones notorias. Sin embargo, estas fluctuaciones no presentan una asociación clara con la disminución progresiva de la superficie glaciar, mostrada previamente en la Figura 06 (superficie calculada mediante NDSI). Además, en la Figura 09 (correlación entre la superficie y la precipitación), la dispersión de los datos evidencia que los incrementos o descensos de precipitación no guardan un patrón definido con respecto a la pérdida de superficie glaciar. En conclusión, los resultados estadísticos y gráficos indican que las precipitaciones no ejercen una influencia significativa en el retroceso del nevado Salcantay durante el periodo 2015 – 2024. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se **acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ )**

## CONCLUSIONES

**PRIMERA** : El retroceso supraglacial del nevado Macizo de Salcantay en la cordillera Vilcabamba durante el periodo 2015 – 2024, evidenciándose una disminución sostenida de su superficie glaciar. Los análisis muestran que la superficie pasó de aproximadamente 3940 m<sup>2</sup> en 2015 a 3460 m<sup>2</sup> en 2024, con una pérdida acumulada superior a 480 m<sup>2</sup> en una década. Este comportamiento confirma la tendencia de retroceso glacial, en concordancia con los efectos de los factores climáticos registrados en la zona.

**SEGUNDA**: La estimación del retroceso supraglacial del nevado Salcantay en el periodo 2015 - 2024, muestra que la disminución de la superficie glaciar sigue una tendencia lineal representada por la ecuación  $y = - 48.1x + 100888$ , cuya pendiente negativa indica un retroceso anual promedio de 48 m<sup>2</sup>/año. Esto evidencia un proceso de reducción progresiva y constante en la cobertura glaciar del Salcantay.

**TERCERA**: La influencia de la temperatura en el retroceso supraglacial del nevado Salcantay entre 2015 - 2024, determinada mediante la correlación de Pearson, mostró un valor de  $r = - 0.303$ , con significancia estadística  $p < 0.01$ , lo que indica una relación negativa significativa entre la temperatura y la superficie glaciar. En otras palabras, el aumento de la temperatura está asociado a una mayor pérdida de superficie glaciar, confirmando la hipótesis alterna y evidenciando que las altas temperaturas constituyen un factor determinante en el retroceso glacial.

**CUARTA:** La influencia de la precipitación en el retroceso supraglaciario del nevado Salcantay entre 2015 - 2024, determinada mediante la correlación de Pearson, arrojó un valor de  $r = - 0.160$  con un  $p = 0.082$ , lo que indica que no existe una relación estadísticamente significativa entre la precipitación acumulada y la disminución de la superficie glaciaria. Por lo tanto, se concluye que la precipitación no constituye un factor relevante en el retroceso del glaciar, en comparación con la mayor incidencia de la temperatura.

## RECOMENDACIONES

**PRIMERA:** Al Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM) implementar programas de monitoreo permanente mediante teledetección y estaciones climáticas locales, que permitan actualizar periódicamente la información sobre la superficie glaciar del Salcantay. Esto facilitará la toma de decisiones ambientales y la planificación de medidas de adaptación en las comunidades cercanas.

**SEGUNDA:** Se sugiere a las autoridades locales y regionales del Cusco desarrollar e impulsar programas de gestión hídrica y de adaptación frente al cambio climático, orientados a garantizar la disponibilidad de agua en las comunidades que dependen directamente de los glaciares como fuente de abastecimiento.

**TERCERA:** Se recomienda a los organismos de investigación climática: Instituto Geofísico del Perú (IGP) y el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) intensificar los estudios y el seguimiento de las variaciones de la temperatura en la región andina, promoviendo también políticas de mitigación que reduzcan la vulnerabilidad de los ecosistemas glaciares.

**CUARTA:** Se aconseja a las universidades y centros de investigación continuar explorando otros factores climáticos y ambientales que podrían estar relacionados con el retroceso glaciar, de modo que se logre una visión integral y más precisa del comportamiento de los glaciares en los Andes tropicales.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aedo Tapia, J. D., & Quispe Curasco, W. (2022). *Estimación del retroceso y pronóstico del tiempo de permanencia del Nevado Chicco a través de un estudio multitemporal entre 1985 y 2021, Cusco. Ministerio de Educación - UCV.* <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/91586>
- Alberti, A. P. (2021). *La herencia de glaciares y periglaciares del Geoparque Mundial UNESCO Montañas do Courel (Galicia). Geomorfología y Cuaternario, 35(1-2), Artículos 1-2.* <https://doi.org/10.17735/cyg.v35i1-2.89295>
- Aristizabal, E., López-Castro, S., Gómez-Gómez, J. C., & López, L. F. (2020). *Establecimiento de zonas amenazadas y zonas peligrosas en los planes de ordenamiento territorial de los municipios en Colombia. Administración y Medio Ambiente, 23(2), Artículo 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). *Túnicos de origen tropical: El calentamiento global y la seguridad de los alimentos, una perspectiva mundial. Revista de biología oceánica y biología marina, 53(1), 1-8.* <https://doi.org/10.4067/S0718-19572018000100001>
- Baquerizo, N. C., & Ventocilla, E. J. V. (2022). *Analizar los algoritmos de aprendizaje automático en la categorización de imágenes de satélite multiespectrales, caso: Peruana Amazonía. Revista Latina de Ciencia Latina, 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). *Alteraciones en las regiones nevadas y patrones en la cobertura de nieve para el año 2030 en el sur de Perú. Terreno. Etapa Nueva, XXXVI(59).* <https://www.redalyc.org/journal/721/72166221002/html/>
- Bolaños, E., Montalvo, D., & Velasteguí, B. (2022). *Instrumentos de Mercado Para*

*Calcular Las Ventajas Financieras De Los Servicios Ecosistémicos En La Reserva Tapichalaca. Apuntes Geoespaciales, 19(2), Artículo 2.*  
<https://doi.org/10.24133/geoespacial.v19i2.2943>

Bolívar Yapura, E. (2018). *Analizar la deglaciación del nevado Ausangate y su impacto en la disponibilidad de agua en la cuenca superior del río Pitumarca - Cusco.*  
<https://repositorio.uap.edu.pe/xmlui/handle/20.500.12990/2855>

Calderon Hernandez, J. J., & Mora Pérez, W. (2022). *El retroceso glaciar, provocado por el cambio climático en la Cordillera Vilcabamba, fue modelado mediante teledetección entre 2013 y 2021. Unidad de Distribución Institucional - UCV.*  
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/100467>

Calizaya Llatasi, E. E. (2018). *Simulación del proceso de desglaciación en los nevados de la Cuenca del Río Santa y su efecto en los recursos de agua. La Molina, Universidad Nacional Agraria.*  
<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). *Analizar la vegetación y la saturación del terreno en el área de Conservación Regional de Humedales de Ventanilla a través de teledetección en Perú, desde 2006 hasta 2021. Revista de Ciencias del Medio ambiente, 56(1), 54-74.* <https://doi.org/10.15359/rca.56/1.3>

Canaza-Choque, F. A. (2019). *El desarrollo sostenible desde la educación ambiental: Retos y conflictos durante la época del cambio climático. Journal of Social Sciences, 165, 155-172.*

Ccallata Taype, I. K. (2021). *Retroceso de la cobertura de glaciares del nevado Salluyo en la cordillera Apolobamba y el impacto de los factores climáticos, durante el periodo 1985-2020. Unidad de Distribución Institucional - UCV.*  
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/60169>

- Devore, J. L. (2008). *Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias* (7th ed). Thomson/Brooks/Cole.
- Dormido, L., Garrido, I., L'Hotellerie-Fallois, P., & Santillán Fraile, J. (2022). *El calentamiento global y la viabilidad del crecimiento: Iniciativas a nivel global y políticas de Europa*. <https://repositorio.bde.es/handle/123456789/22528>
- Eugenio Gonzalez, F. (2000). *Elaboración, modelado y geolocalización de imágenes de teledetección: Procedimiento automático para la adquisición de parámetros oceánicos* [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). *Análisis de la habilidad digital de los profesores en la Comunidad Autónoma de Aragón*. *Revista digital de estudios educativos*, 19(4), 73-83. <https://doi.org/10.24320/redie.2017.19.4.1359>
- Follanos Molero, A., & Sarmientos Fuentes, J. A. (2020). *Analizar la evolución glacial de los nevados Salkantay y Veronica a través de un estudio multi-temporal desde 1990 hasta 2020, Cusco*. *Unidad de Distribución 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). *Cálculo de la radiación solar diaria para Bagua, en la región Amazonas, Perú*. *Selecciones Matemáticas*, 6(02), Article 02. <https://doi.org/10.17268/sel.mat.2019.02.18>
- Matul, P., & Rafael, J. (2021). *Actitud de la reflectancia en la siembra de sorgo conforme a la fenología y la localización 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). *Analizar el retroceso glacial en la Sierra Nevada del Cocuy, Colombia mediante la categorización de imágenes multisensoriales*. *Revista 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). *Analizar el retroceso glaciar en la Sierra Nevada del Cocuy, Colombia mediante la categorización de imágenes multisensoriales*. *Revista de Geología*, 44(1), 49-73. <https://doi.org/10.18273/revbol.v44n1-2022002>

Monge-Rodríguez, F. S., Huggel, C., & Vicuna, L. (2022). *Opinión sobre el deshielo glaciar y el cambio climático entre los habitantes andinos de Perú: Perspectivas interdisciplinarias*. *Ambiente y Comunidad Ambiente y Comunidad*, 25, e02272. <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20200227r2vu2022L3AO>

Nieto Santos, J. F., & Alarcón Alvarez, J. D. (2023). Evaluación multiespectral y multitemporal para la estimación de múltiples dimensiones del efecto de los metales pesados en el lago Junín durante el periodo 2015-2020. <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/7721>

Pacompia Vilca, S. E. (2022). *Nivel de desglaciación del nevado Allincajac durante el periodo 2000-2020, situado en el Distrito de Macusani. San Carlos, Universidad Privada*. <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). *Cálculo del ritmo de deforestación en Pastaza y Orellana-Ecuador a través del estudio multitemporal de imágenes satelitales durante el periodo 2000-2020*. *Alfa Revista de Estudios en Ciencias Veterinarias y Agronómicas*, 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). *Conseguir coberturas del terreno agropecuario en imágenes satelitales Sentinel-2 mediante la inyección de imágenes de dron utilizando Random Forest en el motor*

de *Google Earth Engine*. Publicación de *Teledetección*, 0(56), 49-68.

<https://doi.org/10.4995/raet.2020.14102>

Rodríguez Pascual, A. F. (2021). *Elementos jurídicos de la información y los servicios geoespaciales y su impacto en la privacidad*. *La revista de cartografía*, 102,

141-144. <https://doi.org/10.35424/rcarto.i102.880>

Ruiz, L. (2013). *Evaluación geomorfológica, sedimentológica y cronoestratigráfica de depósitos glaciares, periglaciares y glaucogénicos, en la Cordillera Andina y áreas cercanas 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). *Cambios climáticos (lluvias, temperatura y humedad relativa) para la administración del agua en el departamento del Casanare, Colombia*.

*Detalles tecnológicos*, 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).

*Resumen de las aportaciones establecidas a escala nacional en América Latina y el Caribe, 2019: Progresos en la implementación del Acuerdo de París*.

<https://hdl.handle.net/11362/44974>

Sánchez, E. R., & Vargas, D. J. C. (2023). *Extraction and measurement of Antocianinas de maíz morado (zea mays l.) a través del uso de dos disolventes a distintas*

*temperaturas y periodos de extracción*. *Enciclopedia 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).

*Análisis estadístico desde 2006 hasta 2019 y pronóstico de rabies en cattle desde 2020 hasta 2022 en el Estado de Tocantins (Brazil), utilizando el software R*

*Studio*. Epidemiología e Infecciones, 150, e82.

<https://doi.org/10.1017/S0950268822000553>

Selva-Royo, J. R. (2020). El cálculo metropolitano en España. En busca de una definición uniforme de los ámbitos de gobernabilidad supramunicipal. *Estudios Territoriales en Ciudad y Territorio*, 52(204), Article 204.

<https://doi.org/10.37230/CyTET.2020.204.02>

Silva, H. D., & David, C. (2020). *La zona de navegación del Océano Glaciar Ártico*.

<https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/21670>

Toribio Quispe, S. M. (2023). *Evaluación del impacto espacial y temporal del retroceso glaciar del nevado Huaytapallana en los bofedales del Área de Conservación Regional Huaytapallana durante el periodo de 1990-2020, Junín - 2022*. U.

Continental. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/13020>

Vigier-Moreno, F. J., & Gutiérrez, R. L. (2019). *La capacitación en la interpretación a distancia: Una vivencia como profesor interuniversitario. Innovación en el ámbito educativo*, 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 Tecnologías de la Información y Comunicación y habilidades digitales en la enseñanza 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). *Cambios extremos del clima en una zona habitualmente glaciada en la región central eastern de las Montañas Tianshan y su relación con el balance observado de la masa glacial*. *Progresos en la Investigación sobre Cambio Climático*, 13(6), 909-922.

<https://doi.org/10.1016/j.accre.2022.10.00>

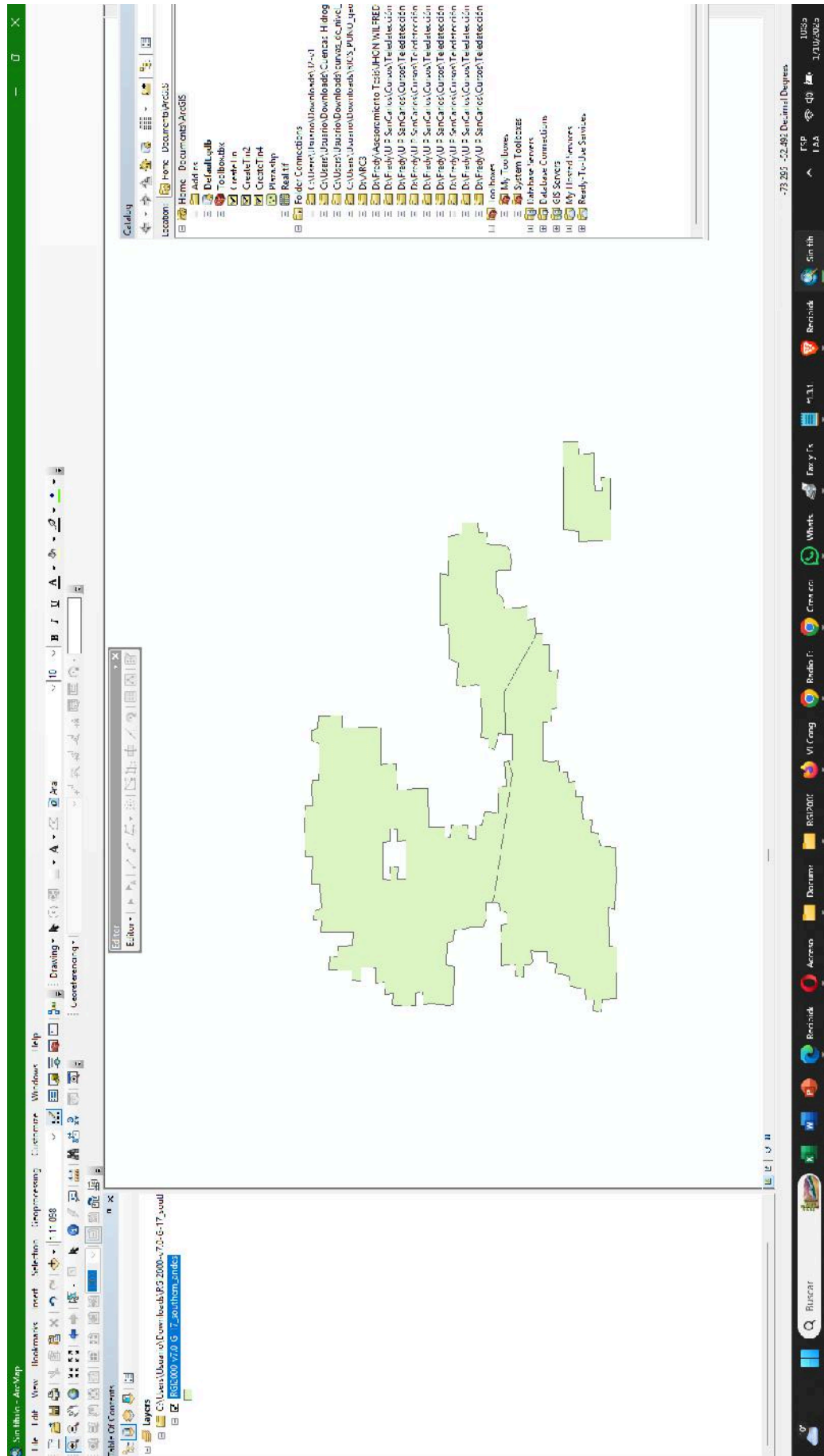
## ANEXOS

**Anexo 01: Matriz De Consistencia**  
**Retroceso supraglaciario del nevado macizo de Salcantay en la cordillera Vilcabamba Cusco por la influencia de los factores climáticos, período 2015 - 2025**

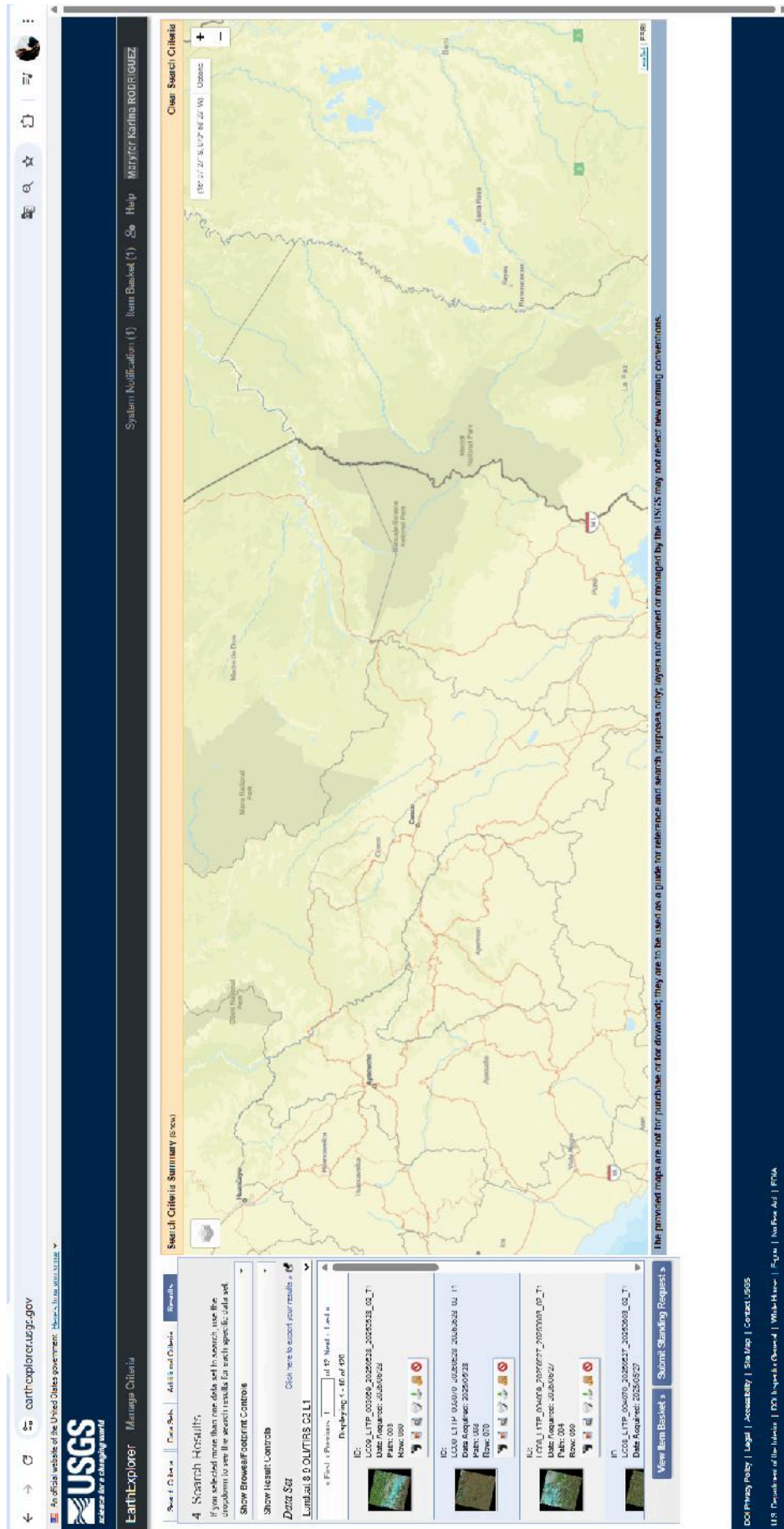
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	TÉCNICA DE PROCESAMIENTO DE DATOS METODOLOGÍA
<p><b>GENERAL</b></p> <p>¿Cuál es el retroceso supraglaciario del nevado Macizo de Salcantay en la cordillera Vilcabamba de Cusco por la influencia de los factores climáticos, período 2015 - 2024?</p> <p><b>ESPECÍFICOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>¿Cuánto es el retroceso supraglaciario del nevado Macizo de Salcantay con respecto a los períodos 2015 - 2024?</li> <li>¿De qué manera la temperatura influye en el retroceso supraglaciario del nevado Macizo de Salcantay entre el 2015 - 2025?</li> <li>¿De qué manera la precipitación influye en el retroceso supraglaciario del nevado Macizo de Salcantay entre el 2015 - 2024?</li> </ul>	<p><b>GENERAL</b></p> <p>Evaluar el retroceso supraglaciario del nevado Macizo de Salcantay en la cordillera Vilcabamba de Cusco por la influencia de los factores climáticos, período 2015 - 2025</p> <p><b>ESPECÍFICOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Estimar el retroceso supraglaciario del nevado Macizo de Salcantay con respecto a los períodos 2015 - 2024.</li> <li>Determinar la influencia de la temperatura en el retroceso supraglaciario del nevado Macizo de Salcantay entre el 2015 - 2024.</li> <li>Determinar la influencia de la precipitación en el retroceso supraglaciario del nevado Macizo de Salcantay entre el</li> </ul>	<p><b>GENERAL</b></p> <p>El retroceso supraglaciario del nevado Macizo de Salcantay en la cordillera Vilcabamba de Cusco es significativo por la influencia de los factores climáticos, período 2015 - 2025.</p> <p><b>ESPECÍFICAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>La cobertura supraglaciaria del nevado Macizo de Salcantay ha disminuido con respecto a los períodos 2015 - 2024.</li> <li>Las altas temperaturas influyen significativamente en el retroceso supraglaciario del nevado Macizo de Salcantay entre el 2015 - 2024.</li> <li>El aumento de las precipitaciones no influye significativamente en el retroceso supraglaciario del nevado Macizo de Salcantay entre el 2015 - 2024.</li> </ul>	<p><b>Variable Independiente:</b></p> <p>Influencia de los factores climáticos.</p> <p><b>Variable Dependiente:</b></p> <p>Retroceso supraglaciario del nevado Macizo de Salcantay</p>	<p><b>-Temperaturas mínimas máximas (°C)</b></p> <p><b>-Precipitaciones (mm)</b></p> <p><b>Área</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>km<sup>2</sup></li> <li>%</li> </ul>	<p><b>Softwares</b></p> <p>R-Studio (v4.3.1)</p> <p>Software QGIS (v3.26.17)</p> <p>TerraClimate</p>	<p><b>Tipo de Investigación</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Descriptivo y correlacional.</li> <li>Aplicada de enfoque cuantitativo.</li> </ul> <p><b>Diseño de Investigación</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>No Experimental</li> </ul> <p><b>Método</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Deductivo</li> <li>Inductivo.</li> </ul>

2015 - 2024.

## Anexo 02: Polígono utilizado para la determinación de área del nevada Salcantay



### Anexo 03: Descarga de las imágenes satelitales LandSat 8 (Periodo 2015-2024) de la USGS.



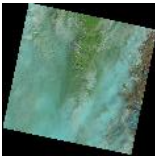
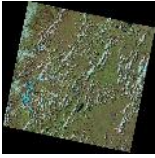
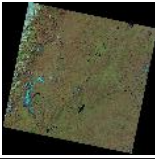
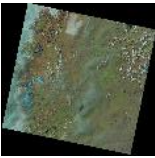
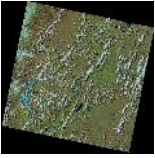
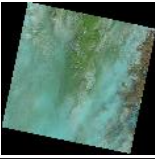
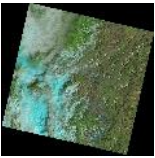
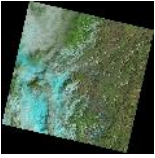
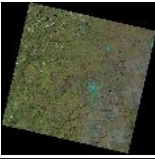
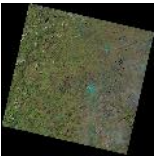
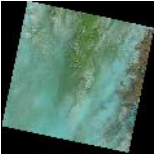
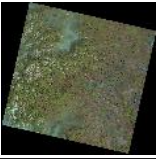
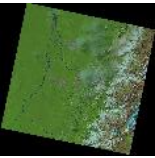
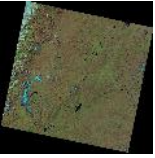
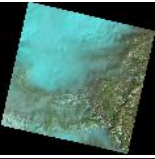
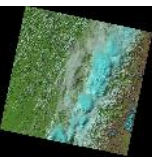
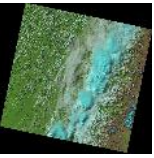
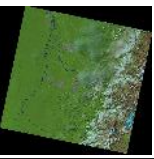
The screenshot shows the Earth Explorer 2 web interface. The browser address bar displays [earthexplorer.usgs.gov](http://earthexplorer.usgs.gov). The page header includes the USGS logo and the text "Earth Explorer Mantigua Chilella".

The main content area is divided into several sections:

- Search Results:** A section with instructions: "If you selected more than one data set in search, use the dropdowns to see the search results for each specific data set." Below this are buttons for "Show Browser Footprint Controls", "Show Result Controls", and "Data Set".
- Search Criteria Summary:** A section titled "Search Criteria Summary (5/5)" with a "Show" button. It displays a map of Chile with search results overlaid. The map shows various geographical features like rivers, lakes, and urban areas. A search criteria box in the top right corner shows coordinates:  $18^{\circ} 17' 27'' S, 107^{\circ} 08' 20'' W$  and "Chile".
- Search Results Table:** A table listing search results with columns for ID, Date Acquired, and Row/Column. The table contains three rows of results:
 

ID	Date Acquired	Row	Column
LC08_L1TP_00000_20200227_2020008_00_1	20200227	008	001
LC08_L1TP_00000_20200227_2020008_00_1	20200227	008	001
LC08_L1TP_00000_20200227_2020008_00_1	20200227	008	001
- Footer:** A dark blue footer containing links for "DOI Privacy Policy", "Legal", "Accessibility", "Site Map", "Contact USGS", and "USGS Privacy Use of the Database | DOI | Privacy & Contact | White House | FOIA".

**Anexo 04:** Imágenes satelitales (formato GeoTIFF) y las fechas de adquisición.

Año	Mes	Día	Imagen	Año	Mes	Día	Imagen	Año	Mes	Día	Imagen	Año	Mes	Día	Imagen
2015	Enero	16		2016	Enero	17		2017	Enero	24					
2015	Febrero	25		2016	Febrero	15		2017	Febrero	16					
2015	Marzo	24		2016	Marzo	12		2017	Marzo	22					
2015	Abril	15		2016	Abril	28		2017	Abril	25					
2015	Mayo	26		2016	Mayo	14		2017	Mayo	21					
2015	Junio	18		2016	Junio	24		2017	Junio	17					

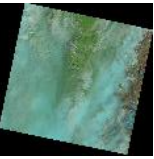
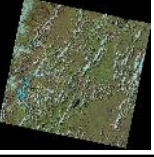
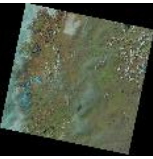
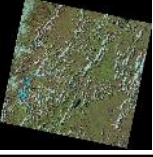
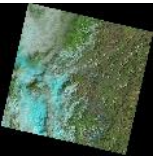
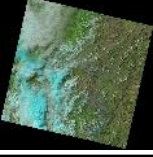
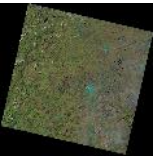
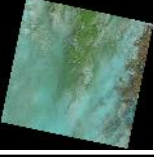
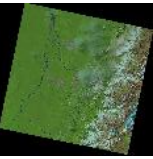
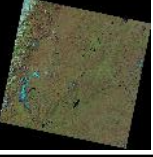
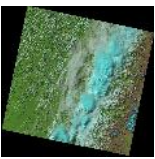
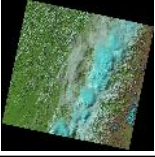


2018	Enero	22		2019	Enero	26		2020	Enero	17	
2018	Febrero	23		2019	Febrero	16		2020	Febrero	25	
2018	Marzo	24		2019	Marzo	27		2020	Marzo	27	
2018	Abril	16		2019	Abril	16		2020	Abril	24	
2018	Mayo	28		2019	Mayo	13		2020	Mayo	16	
2018	Junio	23		2019	Junio	20		2020	Junio	25	

											
	18	Julio	2020		23	Julio	2019		22	Julio	2018
	26	Agosto	2020		27	Agosto	2019		17	Agosto	2018
	14	Setiembre	2020		28	Setiembre	2019		25	Setiembre	2018
	19	Octubre	2020		24	Octubre	2019		21	Octubre	2018
	26	Noviembre	2020		25	Noviembre	2019		24	Noviembre	2018
	19	Diciembre	2020		27	Diciembre	2019		21	Diciembre	2018

2021	Enero	23		2022	Enero	22		2023	Enero	25	
2021	Febrero	25		2022	Febrero	21		2023	Febrero	14	
2021	Marzo	19		2022	Marzo	15		2023	Marzo	25	
2021	Abril	16		2022	Abril	13		2023	Abril	14	
2021	Mayo	26		2022	Mayo	17		2023	Mayo	19	
2021	Junio	27		2022	Junio	28		2023	Junio	17	

2021	Julio	19		2022	Julio	25		2023	Julio	23	
2021	Agosto	22		2022	Agosto	13		2023	Agosto	25	
2021	Setiembre	13		2022	Setiembre	22		2023	Setiembre	25	
2021	Octubre	28		2022	Octubre	20		2023	Octubre	26	
2021	Noviembre	20		2022	Noviembre	26		2023	Noviembre	16	
2021	Diciembre	13		2022	Diciembre	16		2023	Diciembre	22	

2024	Enero	14		2024	Julio	19	
2024	Febrero	17		2024	Agosto	28	
2024	Marzo	26		2024	Setiembre	12	
2024	Abril	19		2024	Octubre	23	
2024	Mayo	25		2024	Noviembre	12	
2024	Junio	19		2024	Diciembre	13	

**Anexo 05:** Superficies determinados por meses para el periodo 2015-2024, mediante el NDSI.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S		
1	Año	Mes	Superficie		Año	Mes	Superficie		Año	Mes	Superficie		Año	Mes	Superficie		Año	Mes	Superficie		
2	2015	Enero	3893	2016	Enero	3805	2017	Enero	3731	2018	Enero	3749	2019	Enero	3642	2020	Enero	3418	2021	Enero	3618
3		Febrero	3992		Febrero	3914		Febrero	3879		Febrero	3758		Febrero	3740						
4		Marzo	3992		Marzo	3931		Marzo	3844		Marzo	3791		Marzo	3819						
5		Abril	3999		Abril	3901		Abril	3887		Abril	3866		Abril	3741						
6		Mayo	3988		Mayo	3878		Mayo	3831		Mayo	3815		Mayo	3737						
7		Junio	3981		Junio	3985		Junio	3923		Junio	3912		Junio	3782						
8		Julio	3990		Julio	3970		Julio	3895		Julio	3832		Julio	3776						
9		Agosto	3949		Agosto	3905		Agosto	3834		Agosto	3801		Agosto	3804						
10		Setiembre	3890		Setiembre	3772		Setiembre	3762		Setiembre	3660		Setiembre	3680						
11		Octubre	3757		Octubre	3746		Octubre	3649		Octubre	3609		Octubre	3541						
12		Noviembre	3792		Noviembre	3753		Noviembre	3709		Noviembre	3710		Noviembre	3661						
13		Diciembre	3794		Diciembre	3739		Diciembre	3624		Diciembre	3559		Diciembre	3596						
14																					
15	2020	Enero	3641	2021	Enero	3618	2022	Enero	3570	2023	Enero	3467	2024	Enero	3418	2025	Enero	3371	2026	Enero	3321
16		Febrero	3691		Febrero	3699		Febrero	3610		Febrero	3540		Febrero	3477						
17		Marzo	3684		Marzo	3647		Marzo	3634		Marzo	3557		Marzo	3548						
18		Abril	3696		Abril	3684		Abril	3650		Abril	3540		Abril	3523						
19		Mayo	3705		Mayo	3711		Mayo	3630		Mayo	3605		Mayo	3545						
20		Junio	3750		Junio	3708		Junio	3676		Junio	3689		Junio	3610						
21		Julio	3736		Julio	3723		Julio	3715		Julio	3595		Julio	3583						
22		Agosto	3712		Agosto	3683		Agosto	3575		Agosto	3579		Agosto	3505						
23		Setiembre	3612		Setiembre	3577		Setiembre	3478		Setiembre	3455		Setiembre	3395						
24		Octubre	3570		Octubre	3483		Octubre	3472		Octubre	3414		Octubre	3371						
25		Noviembre	3553		Noviembre	3473		Noviembre	3458		Noviembre	3430		Noviembre	3372						
26		Diciembre	3540		Diciembre	3477		Diciembre	3399		Diciembre	3387		Diciembre	3321						

Antes de imprimir este documento, piense si es verdaderamente necesario hacerlo, cuidar el medio ambiente es responsabilidad de todos.

**Anexo 06:** Temperaturas y Precipitación acumulada por meses, para el periodo comprendido entre el 2015 - 2024.

	A	B	D	E
1	Año	Mes	Precipitación	Temperatura
2	2015	Enero	96.4	5.6
3		Febrero	121	6.4
4		Marzo	187	6.0
5		Abril	114.1	5.3
6		Mayo	0.2	2.7
7		Junio	0	0.7
8		Julio	1.8	0.0
9		Agosto	4	1.2
10		Setiembre	54.5	3.3
11		Octubre	41.5	3.6
12		Noviembre	23.2	5.9
13		Diciembre	59.4	5.9
14	2016	Enero	79.7	6.7
15		Febrero	202.6	6.8
16		Marzo	9.8	6.7
17		Abril	57.5	4.9
18		Mayo	0.5	2.1
19		Junio	2	0.6
20		Julio	3.4	0.7
21		Agosto	0	1.1
22		Setiembre	0.3	2.9
23		Octubre	76	4.3
24		Noviembre	43	4.4
25		Diciembre	49.7	6.0
26	2017	Enero	314.3	5.6
27		Febrero	119.2	6.4
28		Marzo	145.7	6.4
29		Abril	45.5	4.8
30		Mayo	21.7	3.4
31		Junio	1	0.5
32		Julio	1.6	0.1
33		Agosto	0	0.8
34		Setiembre	62.3	3.7
35		Octubre	65.2	4.1
36		Noviembre	23.9	5.8
37		Diciembre	68.5	6.1
38	2018	Enero	171.1	5.8
39		Febrero	152.1	6.2
40		Marzo	114.1	6.0
41		Abril	33.2	4.3
42		Mayo	7.8	1.6
43		Junio	12.9	1.0
44		Julio	32.1	1.1

	A	B	D	E
45		Agosto	0	1.4
46		Setiembre	3.6	2.4
47		Octubre	45.5	5.5
48		Noviembre	22.7	6.6
49		Diciembre	89.8	5.9
50	2019	Enero	148.2	6.8
51		Febrero	78.7	6.8
52		Marzo	43.7	6.5
53		Abril	58.6	5.6
54		Mayo	19	2.6
55		Junio	2.2	0.7
56		Julio	7.6	0.5
57		Agosto	0	1.3
58		Setiembre	12.6	4.6
59		Octubre	39.9	4.7
60		Noviembre	92.5	5.6
61		Diciembre	81.5	6.8
62	2020	Enero	142.9	7.0
63		Febrero	140.8	7.2
64		Marzo	107.01	7.1
65		Abril	48.2	4.3
66		Mayo	6.2	1.6
67		Junio	3.7	1.0
68		Julio	3.6	1.1
69		Agosto	8.3	1.4
70		Setiembre	19.8	2.4
71		Octubre	52.5	5.5
72		Noviembre	55	6.6
73		Diciembre	121.3	5.9
74	2021	Enero	148.3	5.7
75		Febrero	0	7.2
76		Marzo	139.7	5.9
77		Abril	39.2	4.1
78		Mayo	23	2.1
79		Junio	0	0.6
80		Julio	0.1	0.8
81		Agosto	5.1	1.4
82		Setiembre	29.5	4.4
83		Octubre	36.1	4.9
84		Noviembre	21.2	6.0
85		Diciembre	129.2	6.0
86	2022	Enero	211	6.0
87		Febrero	95.1	6.1
88		Marzo	117.8	6.3

	A	B	D	E
88		Marzo	117.8	6.3
89		Abril	48.2	4.3
90		Mayo	6.2	1.6
91		Junio	3.7	1.0
92		Julio	3.6	1.1
93		Agosto	8.3	1.4
94		Setiembre	19.8	2.2
95		Octubre	52.5	5.5
96		Noviembre	55	6.6
97		Diciembre	121.3	5.9
98	2023	Enero	142.9	5.7
99		Febrero	140.8	7.2
100		Marzo	107.01	5.9
101		Abril	48.2	4.1
102		Mayo	6.2	2.1
103		Junio	3.7	0.6
104		Julio	3.6	0.8
105		Agosto	8.3	0.8
106		Setiembre	19.8	3.4
107		Octubre	52.5	5.8
108		Noviembre	55	6.1
109		Diciembre	121.3	7.4
110	2024	Enero	176.95	5.8
111		Febrero	117.95	6.7
112		Marzo	112.405	6.1
113		Abril	48.2	4.2
114		Mayo	6.2	1.9
115		Junio	3.7	0.8
116		Julio	3.6	0.9
117		Agosto	8.3	1.1
118		Setiembre	19.8	2.8
119		Octubre	52.5	5.6
120		Noviembre	55	6.3
121		Diciembre	121.3	6.7