



**UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL**



TESIS

---

**“EVOLUCIÓN DEL RETROCESO GLACIAR DE LOS NEVADOS JAPU PUNTA  
Y YAYAMARI EN CONTEXTO DE CAMBIO CLIMÁTICO, EN LA  
CORDILLERA VILCANOTA, DEPARTAMENTO CUSCO - PERÚ”**

---

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE  
INGENIERO AMBIENTAL**

**Línea de investigación:**  
Gestión de riesgos y cambio climático

**Presentado por:**  
Br. Mauricio Barrientos Hanco

**Asesor:**  
Mg. Uriel Raúl Fernández Bernaola

**CUSCO – PERÚ**  
**2023**



### Metadatos

<b>Datos del autor</b>	
Nombres y apellidos	Bach. Mauricio Barrientos Hanco
Número de documento de identidad	71594418
<b>Datos del asesor</b>	
Nombres y apellidos	Mg. Uriel Raúl Fernández Bernaola
Número de documento de identidad	43130855
URL de Orcid	<a href="https://orcid.org/0000-0002-9386-702X">https://orcid.org/0000-0002-9386-702X</a>
<b>Datos del jurado</b>	
<b>Presidente del jurado (jurado 1)</b>	
Nombres y apellidos	Dr. Felio Calderón La Torre
Número de documento de identidad	25310696
<b>Jurado 2</b>	
Nombres y apellidos	Mg. Bruno García Leiva
Número de documento de identidad	44398560
<b>Jurado 3</b>	
Nombres y apellidos	Mg. Juan José Zuñiga Negron
Número de documento de identidad	23989604
<b>Jurado 4</b>	
Nombres y apellidos	Ing. Liw Canales Sierra
Número de documento de identidad	23963936
<b>Datos de la investigación</b>	
Línea de investigación de la Escuela Profesional	Gestión de riesgos y cambio climático



# EVOLUCIÓN DEL RETROCESO GLACIAR

*por* Mauricio Barrientos

Dr. Felio Calderon La Torre

---

**Fecha de entrega:** 04-sep-2023 12:51p.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2157689875

**Nombre del archivo:** Tesis\_BarrientosUAC\_1.pdf (6.98M)

**Total de palabras:** 16058

**Total de caracteres:** 89568



INFORME DE ORIGINALIDAD

9%

INDICE DE SIMILITUD

10%

FUENTES DE INTERNET

3%


PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://cybertesis.unmsm.edu.pe">cybertesis.unmsm.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
2	<a href="http://repositorio.unap.edu.pe">repositorio.unap.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
3	<a href="http://repositorio.unsaac.edu.pe">repositorio.unsaac.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="http://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="http://documentop.com">documentop.com</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="http://repositorio.unjfsc.edu.pe">repositorio.unjfsc.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
7	<a href="http://www.repositorio.unasam.edu.pe">www.repositorio.unasam.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
8	<a href="http://repositorio.uandina.edu.pe">repositorio.uandina.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
9	<a href="http://repositorio.ana.gob.pe">repositorio.ana.gob.pe</a> Fuente de Internet	<1%



Dr. Felio Calderon La Torre



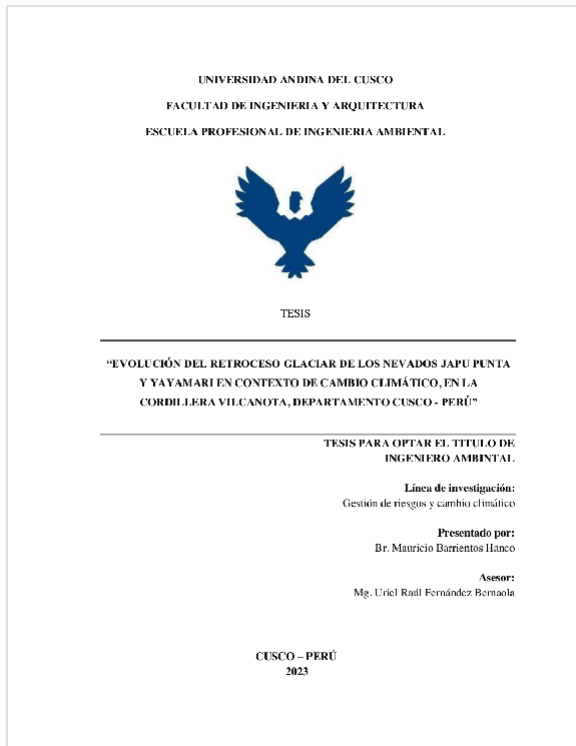
Dr. Felio Calderon La Torre

## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Mauricio Barrientos  
Título del ejercicio: Tesis de Mauricio Barrientos  
Título de la entrega: EVOLUCIÓN DEL RETROCESO GLACIAR  
Nombre del archivo: Tesis\_BarrientosUAC\_1.pdf  
Tamaño del archivo: 6.98M  
Total páginas: 112  
Total de palabras: 16,058  
Total de caracteres: 89,568  
Fecha de entrega: 04-sept.-2023 12:51p. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entrega... 2157689875





## DEDICATORIA

La investigación va dedicada a Dios, a mi familia y amigos que me acompañaron en este largo proceso.



## AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento especial a los profesionales que colaboraron en la presente investigación: Mg. Uriel Raúl Fernández Bernaola, Mg. Bitia Kuri Chávez Bermúdez, Mg. Katlen Patricia Barrientos Hanco. Por su parte, agradecer al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) por brindarme la información solicitada de las estaciones meteorológicas.



## RESUMEN

Esta investigación consiste en el estudio de la evolución del retroceso glaciar de los nevados Japu Punta y Yayamari en la Cordillera Vilcanota (departamento del Cusco) en contexto de cambio climático. La metodología para evaluar el clima se basa en identificar la existencia de tendencias en las series de temperatura y precipitación por lo que se efectuó el método del vector regional para la crítica, homogenización y completado de datos, los test estadísticos utilizados fueron Mann Kendall y regresión lineal. Respecto al estudio de glaciares se realizó la medición de la superficie glaciar empleando el criterio geomorfológico, por otro lado, para cuantificar la variación de la altitud de la línea de equilibrio (ELA) se aplicó el método Area x Altitude Balance Ratio (AABR) planteado por Omaston (2005). Los resultados de la investigación indican que, en las series de temperatura media, las estaciones meteorológicas Acomayo, Pomacanchis y Paruro presentan una tendencia positiva significativa, mientras que las estaciones Ccatca y Sicuani no presentan tendencias positivas; en lo referente a las series de precipitación no se evidencia ningún tipo de tendencia definida en todas las estaciones meteorológicas. En el caso del comportamiento de los glaciares de los Nevados Japu Punta y Yayamari se identificaron 11 glaciares donde se calculó una pérdida de superficie glaciar de  $5.01\text{km}^2$  y un ascenso de la altitud de la línea de equilibrio de 59 metros en un periodo de 30 años (1992- 2022) lo cual representa una tasa de deglaciación de  $0.167\text{ km}^2/\text{año}$  y  $1.967\text{ m/año}$  respectivamente.

**Palabras claves:** *Retroceso Glaciar, Altitud de la línea de equilibrio (ELA), Vector Regional, Cambio Climático, Metodo Area x Altitude Balance Ratio (AABR)*





## ABSTRACT

This research consists of the study of the evolution of the glacial retreat of the Japu Punta and Yayamari snow-capped mountains in the Vilcanota Mountain Range (Cusco department) in a context of climate change. The methodology to evaluate the climate is based on identifying the existence of trends in the temperature and precipitation series, for which the regional vector method was carried out for criticism, homogenization and completion of data, the statistical tests used were Mann Kendall and regression. linear. Regarding the study of glaciers, the measurement of the glacier surface was carried out using the geomorphological criterion, on the other hand, to quantify the variation of the equilibrium line altitude (ELA), the Area x Altitude Balance Ratio (AABR) method was applied. by Omaston (2005). The results of the investigation indicate that, in the mean temperature series, the Acomayo, Pomacanchis and Paruro meteorological stations present a significant positive trend, while the Ccatca and Sicuani stations do not present positive trends; Regarding the precipitation series, there is no evidence of any kind of defined trend in all the meteorological stations. In the case of the behavior of the glaciers of the mountains Japu Punta and Yayamari, 11 glaciers were identified where a loss of glacial surface of 5.01 km<sup>2</sup> and a rise in the altitude of the equilibrium line of 59 meters in a period of 30 years were calculated. (1992-2022) which represents a deglaciation rate of 0.167 km<sup>2</sup>/year and 1.967 m/year respectively.

**Keywords:** *Glacial Retreat, Equilibrium Line Altitude (ELA), Regional Vector, Climate Change, Area x Altitude Balance Ratio Method (AABR)*



## INTRODUCCIÓN

En la actualidad se evidencia el deterioro de muchos ecosistemas a nivel mundial producto de actividades antropogénicas, sumado a ello se evidencia un ascenso en los niveles de temperatura donde según estudios del IPCC (2019) indica que para el año 2040 se espera que la temperatura global ascienda en  $1.5^{\circ}\text{C}$ , este factor influye en mayor o menor medida en el ciclo natural de ecosistemas, siendo los glaciares tropicales como uno de los más vulnerables ante los cambios del clima.

Los glaciares son las reservas sólidas de agua dulce más importantes en la Tierra, desempeñan un rol importante en el ciclo hidrológico del agua ya que regula el caudal de los ríos en temporada de estiaje, por otro lado, sirven de indicadores climáticos debido a que reaccionan a las fluctuaciones de temperatura, radiación solar y precipitación; el comportamiento de los glaciares nos ayuda a poder comprender de manera retrospectiva y prospectiva el clima, resaltando que gracias a las perforaciones de los glaciares (testigos de hielo) se conoce que se suscitaron como mínimo cinco grandes glaciaciones desde el origen de la Tierra, aproximadamente hace unos 4500 millones de años (INACH, 2012).

A nivel mundial, se deduce que 140 millones de personas viven en zonas donde el agua producida por la fusión glacial contribuye con carácter estacional al menos el 25% del caudal (Schaner et al., 2012). Muchas ciudades y comunidades alto andinas en el Perú dependen en gran medida de los glaciares con el fin de poder satisfacer sus principales necesidades, también muchos sectores como la agricultura, energía y minería requieren volúmenes necesarios de agua para desarrollar sus actividades de una manera eficiente.



Hoy en día se evidencia un retroceso glaciar, por lo que la presente investigación busca emplear una metodología de trabajo para el estudio de los glaciares y su entorno climático. Este trabajo de investigación tiene la finalidad de sentar bases para futuras investigaciones sobre el comportamiento de los glaciares en el departamento del Cusco con un enfoque de cambio climático.



## INDICE

<b>1. CAPITULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACION.....</b>	<b>14</b>
1.1. Planteamiento del problema .....	14
1.2. Formulación del problema .....	15
1.2.1. Problema general .....	15
1.2.2. Problemas específicos.....	15
1.3. Justificación.....	16
1.3.1. Conveniencia técnica .....	16
1.3.2. Relevancia social .....	16
1.3.3. Implicancias prácticas.....	17
1.3.4. Valor teórico .....	18
1.4. Objetivos de la investigación .....	18
1.4.1. Objetivo general.....	18
1.4.2. Objetivos específicos .....	19
1.5. Delimitación del estudio.....	19
1.5.1. Delimitación espacial.....	19
1.5.2. Delimitación temporal .....	20
<b>2. CAPITULO II: MARCO TEORICO.....</b>	<b>22</b>
2.1. Antecedentes .....	22
2.1.1. Antecedentes nacionales .....	22



2.1.2.	Antecedentes internacionales.....	24
2.2.	Bases Teóricas.....	26
2.2.1.	Análisis de series temporales.....	26
2.2.2.	Glaciares.....	29
2.2.3.	Partes de un glaciar.....	30
2.2.4.	Clasificación de los glaciares.....	31
2.2.5.	Cálculo de la altitud de la línea de equilibrio (ELA).....	33
2.2.6.	Glaciares Tropicales.....	34
2.2.7.	Distribución de glaciares tropicales en zonas climáticas.....	36
2.2.8.	Importancia de los glaciares tropicales.....	40
2.3.	Hipótesis.....	41
2.3.1.	Hipótesis general.....	41
2.3.2.	Hipótesis específicas.....	41
2.4.	Variables e indicadores.....	42
<b>3.</b>	<b>CAPITULO III: MÉTODO.....</b>	<b>43</b>
3.1.	Metodología de la investigación.....	43
3.1.1.	Tipo de investigación.....	43
3.1.2.	Nivel de investigación.....	43
3.1.3.	Diseño de investigación.....	44
3.1.4.	Población y muestra.....	44



3.2.	Descripción de la zona de estudio .....	45
3.2.1.	Clima.....	47
3.2.2.	Ecosistemas.....	49
3.3.	Procedimiento.....	51
3.3.1.	Análisis de las series de temperatura y precipitación .....	51
3.3.2.	Cálculo de la superficie glaciaria.....	55
3.3.3.	Estimación de las ELAs – Método AABR (Omaston - 2005).....	57
3.3.4.	Cálculo de la tasa de deglaciación .....	61
<b>4.</b>	<b>CAPITULO IV: RESULTADOS.....</b>	<b>63</b>
4.1.	Comportamiento histórico de las series de temperatura.....	63
4.2.	Comportamiento histórico de las series de precipitación.....	67
4.3.	Evolución de la superficie glaciaria de los nevados Japu punta y Yayamari.....	70
4.4.	Variación de la altitud de la línea de equilibrio (ELA).....	74
4.5.	Tasa de deglaciación .....	76
<b>5.</b>	<b>CAPITULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>77</b>
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>82</b>
<b>7.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>84</b>
<b>8.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>85</b>
<b>9.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>90</b>



## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Coordenadas UTM del área de estudio. Zona: 19 sur. Datum: WSG84 .....	20
<b>Tabla 2</b>	Tipologías más recurrentes de la clasificación de glaciares .....	32
<b>Tabla 3</b>	Áreas de glaciares tropicales por región y país .....	36
<b>Tabla 4</b>	Población y muestra de estudio .....	44
<b>Tabla 5</b>	Estaciones meteorológicas de trabajo.....	51
<b>Tabla 6</b>	Datos estadísticos de las estaciones meteorológicas. ....	54
<b>Tabla 7</b>	Hoja de cálculo 1 Omaston (2005) programada para calcular el valor de la ELA 2022 para el glaciar 9 (Nevado Yayamari).....	59
<b>Tabla 8</b>	Análisis de tendencia de la temperatura media .....	67
<b>Tabla 9</b>	Análisis de tendencia de la precipitación acumulada. ....	70
<b>Tabla 10</b>	Superficie glaciar para el año 1992.....	65
<b>Tabla 11</b>	Superficie glaciar para el año 2022.....	66
<b>Tabla 12</b>	Resultados de la ELA AABR para el año 1992 para los nevados Japu Punta y Yayamari.....	68
<b>Tabla 13</b>	Resultados de la ELA AABR para el año 2022 para los nevados Japu Punta y Yayamari.....	69
<b>Tabla 14</b>	Tasa de deglaciación para los nevados Japu Punta y Yayamari. ....	70



## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Partes de un glaciar.....	31
<b>Figura 2</b>	Distribución de glaciares tropicales en el mundo. ....	35
<b>Figura 3</b>	Distribución de glaciares tropicales en tres grupos de clima.....	37
<b>Figura 4</b>	Nevado Japu Punta (Cordillera Vilcanota).....	45
<b>Figura 5</b>	Nevado Yayamari (Cordillera Vilcanota).....	46
<b>Figura 6</b>	Flujo de agua superficial (Nevado Yayamari).....	47
<b>Figura 7</b>	Parámetro temperatura media, Estación Meteorológica Quisoquipina. ....	48
<b>Figura 8</b>	Parámetro humedad, Estación Meteorológica Quisoquipina.....	48
<b>Figura 9</b>	Parámetro velocidad del viento, Estación Quisoquipina. ....	49
<b>Figura 10</b>	Vector regional de las estaciones meteorológicas de trabajo. ....	53
<b>Figura 11</b>	Glaciar 1 y 8 - Nevado Japu Punta (2022).....	56
<b>Figura 12</b>	Reconstrucción de la ELA, Glaciar 9, Nevado Yayamari (2022) ....	58
<b>Figura 13</b>	Estación Pomacanchis, series de temperatura media mensual. ....	64
<b>Figura 14</b>	Estación Acomayo, series de temperatura media mensual. ....	64
<b>Figura 15</b>	Estación Ccatca, series de temperatura media mensual.....	65
<b>Figura 16</b>	Estación Sicuani, series de temperatura media mensual. ....	65
<b>Figura 17</b>	Estación Paruro, series de temperatura media mensual.....	66
<b>Figura 18</b>	Estación Pomacanchis, series de precipitación acumulada mensual ....	67
<b>Figura 19</b>	Estación Acomayo, series de precipitación acumulada mensual.....	68





<b>Figura 20</b>	Estación Ccatca, series de precipitación acumulada mensual .....	68
<b>Figura 21</b>	Estación Sicuani, series de precipitación acumulada mensual .....	69
<b>Figura 22</b>	Estación Paruro, series de precipitación acumulada mensual .....	69

## INDICE DE ACRONIMOS

**AABR:** Area x Altitude Balance Ratio

**CECs:** Centro de Estudios Científicos (Chile)

**ELA:** Altitud de la Línea de Equilibrio

**IDEAM:** Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Colombia)

**INACH:** Instituto Antártico Chileno

**INAIGEM:** Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña

**IPCC:** Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático

**IRD:** Instituto de Investigación para el Desarrollo (Francia)

**NDSI:** Índice Diferencial Normalizado de Nieve

**OMM:** Organización Mundial de Meteorología

**PEH:** Pequeña Edad de Hielo

**SENAMHI:** Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

**UNESCO:** Organización de las Naciones Unidas para la Educación, Ciencia y Cultura

**USGS:** Servicio Geológico de Estados Unidos



## CAPITULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACION

### 1.1. Planteamiento del problema

El Perú actualmente alberga el 68% de los glaciares tropicales en el mundo (Veettil & Kamp, 2019), considerando que el departamento del Cusco tiene la segunda cordillera con mayor cantidad de glaciares; en temporada de sequía los glaciares tienen la capacidad de ser el soporte hídrico de fuentes como: bofedales, lagunas y ríos, en el caso de los glaciares de la Cordillera Vilcanota (Chumpe, Japu Punta, Yayamari, Quelccaya, Ausangate etc.) la fuente hídrica más importante que alimentan es la laguna Sibinacocha, que principalmente este recurso es aprovechado para distintas actividades principalmente como el consumo humano, sistemas de irrigación para la agricultura y la generación de energía eléctrica.

Los glaciares son sensibles ante los cambios del clima, diversos estudios realizaron la reconstrucción del clima mediante testigos de hielo del casquete glaciar Quelccaya donde se revela que el último gran avance glaciar tuvo lugar entre los años 1500 y 1720 (Thompson et al., 1986), a partir de ese periodo se registró una disminución en los niveles de acumulación de masa glaciar, pero en las últimas décadas se evidencia una intensificación en la velocidad de retroceso de los glaciares tropicales; este problema conlleva una serie de impactos como la amenaza de la disponibilidad hídrica, posibles desastres como desborde de lagunas de origen glaciar y también la pérdida de especies y ecosistemas de alta montaña.

Para comprender la relación del cambio del clima con el comportamiento de los glaciares es indispensable observarlos a través de rigurosos métodos científicos como el balance de masa, también realizar mediciones con imágenes de satélite (Francou et al., 2013). Las mediciones en imágenes de satélite nos ayudan a monitorear parámetros como la evolución de la superficie



glaciar y la altitud de la línea de equilibrio que están sujetas a las condiciones climáticas de la región. Esta investigación servirá de apoyo para poder implementar medidas de adaptación frente al retroceso glaciar y también tener una mejor toma de decisiones de las distintas autoridades competentes en la gestión integral del recurso hídrico del departamento del Cusco.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cómo es la evolución del retroceso glaciar de los nevados Japu Punta y Yayamari en contexto de cambio climático, en la Cordillera Vilcanota, Departamento del Cusco?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Como es el comportamiento histórico de las series de temperatura de las estaciones meteorológicas próximas a los nevados Japu Punta y Yayamari?
- ¿Como es el comportamiento histórico de las series de precipitación de las estaciones meteorológicas próximas a los nevados Japu Punta y Yayamari?
- ¿Cuál es la evolución de la superficie glaciar de los nevados Japu Punta y Yayamari?
- ¿Cuál es la variación de la altitud de la línea de equilibrio de los nevados Japu Punta y Yayamari?
- ¿Cuál es la tasa de deglaciación en función a la variación de la superficie glaciar y la altitud de la línea de equilibrio de los nevados Japu Punta y Yayamari?



### **1.3. Justificación**

#### ***1.3.1. Conveniencia técnica***

Existe una variedad de estudios en glaciares que se pueden realizar en campo: el método tradicional es el balance de masa que indica las ganancias y pérdidas de un glaciar en un año hidrológico, también existen estudios más especializados como las perforaciones de hielo para la reconstrucción del clima, las dataciones de morrenas para observar su antigüedad, por otro lado, se pueden hacer estudios sobre la identificación de peligros por desborde de lagunas de origen glaciar.

Todos los estudios mencionados requieren de importantes esfuerzos económicos y logísticos para desarrollarse de una manera óptima, en el Perú las instituciones dedicadas al estudio de glaciares carecen de recursos, laboratorios y equipos para poder investigar el comportamiento de los glaciares, otro factor en contra es que muchos de los glaciares en la región no pueden ser estudiados porque tienen una difícil accesibilidad ya que presentan una drástica geomorfología.

En ese sentido la presente investigación consiste en estudiar los glaciares aplicando una metodología que busca suplir todas las deficiencias mencionadas, la metodología de trabajo se apoya en el manejo de imágenes de satélite con el propósito de evaluar parámetros glaciológicos en un determinado periodo de tiempo.

#### ***1.3.2. Relevancia social***

Los glaciares son fundamentales en el ciclo hidrológico debido a que alimentan a los ríos en temporada de estiaje regulando su caudal. En la actualidad el departamento del Cusco depende en gran medida de los glaciares ya que muchas actividades como la agricultura y la producción de energía eléctrica requieren volúmenes óptimos de agua para poder desarrollar



eficientemente su proceso, por lo tanto, los glaciares brindan importantes servicios ecosistémicos (provisión, regulación y soporte).

En las últimas décadas se evidencia la pérdida de masa glaciar, este problema conlleva con el tiempo a un menor aporte hídrico, sumado a ello el crecimiento poblacional hace que la demanda hídrica sea cada vez mayor, en ese marco es importante comprender el comportamiento de los glaciares para tener una mejor toma de decisiones por parte del sector público que se encarga de la gestión y manejo del recurso hídrico en el Cusco.

### ***1.3.3. Implicancias prácticas***

A partir de un diagnóstico completo sobre el comportamiento de los glaciares en un enfoque de cambio climático, es fundamental establecer e implementar medidas de adaptación frente al retroceso glaciar para evitar un posible estrés hídrico en el departamento del Cusco y también reducir la vulnerabilidad de las personas y actividades implicadas en esta problemática.

A la hora de implementar medidas de adaptación se debe tener en cuenta muchos enfoques de trabajo, las medidas pueden ser estructurales o no estructurales, es decir, se pueden ejecutar proyectos para aprovechar el agua del deshielo glaciar, estas medidas se pueden basar en conocimientos ancestrales como las amunas y qochas, por otro lado, se pueden desarrollar infraestructuras que contribuyan en la seguridad hídrica en los andes como canales de enrutamiento, canales de infiltración, laderas de infiltración, manantiales y balsas (Ochoa et al, 2019).



Respecto a las medidas no estructurales se puede desarrollar charlas y talleres para capacitar a las personas vulnerables y comunidades altoandinas con la finalidad de orientar sobre temas referidos a la conservación de ecosistemas de alta montaña y peligros asociados a los glaciares. Por su parte el gobierno debe implementar políticas para garantizar en un marco legal la seguridad de los glaciares ante actividades que degraden su ciclo natural.

#### **1.3.4. Valor teórico**

La presente investigación busca sentar bases para futuras investigaciones en glaciares a través del desarrollo de conceptos, métodos y propuestas establecidas por investigadores especialistas dentro de la rama de la glaciología, por otro lado, se detalla como es el estudio de los glaciares mediante imágenes de satélite y que parámetros o indicadores servirán para poder evaluar su comportamiento.

El trabajo de imágenes satelitales cada vez tiene un valor más importante debido a que se pueden realizar estudios evaluando un fenómeno 20 o 30 años atrás. En glaciares las imágenes de satélite pueden ayudar a calcular la superficie glaciar, la altitud de la línea de equilibrio (ELA) y la formación de lagunas por la fusión de glaciares, cabe resaltar que también es fundamental saber interpretar dichos resultados teniendo en cuenta algunas consideraciones técnicas relacionadas a la glaciología y a su entorno climático.

### **1.4. Objetivos de la investigación**

#### **1.4.1. Objetivo general**

Evaluar la evolución del retroceso glaciar de los nevados Japu Punta y Yayamari en contexto de cambio climático, en la Cordillera Vilcanota, Departamento Cusco.



#### **1.4.2. *Objetivos específicos***

- Evaluar el comportamiento histórico de las series de temperatura de las estaciones meteorológicas próximas a los nevados Japu Punta y Yayamari.
- Evaluar el comportamiento histórico de las series de precipitación de las estaciones meteorológicas próximas a los nevados Japu Punta y Yayamari.
- Determinar la evolución de la superficie glaciar de los nevados Japu Punta y Yayamari.
- Estimar la variación de la altitud de la línea de equilibrio de los nevados Japu Punta y Yayamari.
- Calcular la tasa de deglaciación en función a la variación de la superficie glaciar y la altitud de la línea de equilibrio de los nevados Japu Punta y Yayamari.

#### **1.5. *Delimitación del estudio***

##### **1.5.1. *Delimitación espacial***

Los nevados Japu Punta y Yayamari forman parte de la cordillera Vilcanota que constituyen parte de la cordillera Oriental de los Andes situada al sureste del Perú. Políticamente el área de estudio pertenece al departamento del Cusco, ubicado en el límite de la provincia de Canchis: distrito de Pitumarca y la provincia de Quispicanchis: distrito de Marcapata.

Los nevados Japu Punta y Yayamari se encuentran al este de los nevados Chumpe y Ausangate, al norte de la laguna Sibinacocha y al noroeste del casquete glaciar Quelccaya. Por otro lado, los nevados Japu Punta y Yayamari presentan una altitud por encima de los 5500 msnm.



**Tabla 1**

*Coordenadas UTM del área de estudio. Zona: 19 sur. Datum: WSG-84*

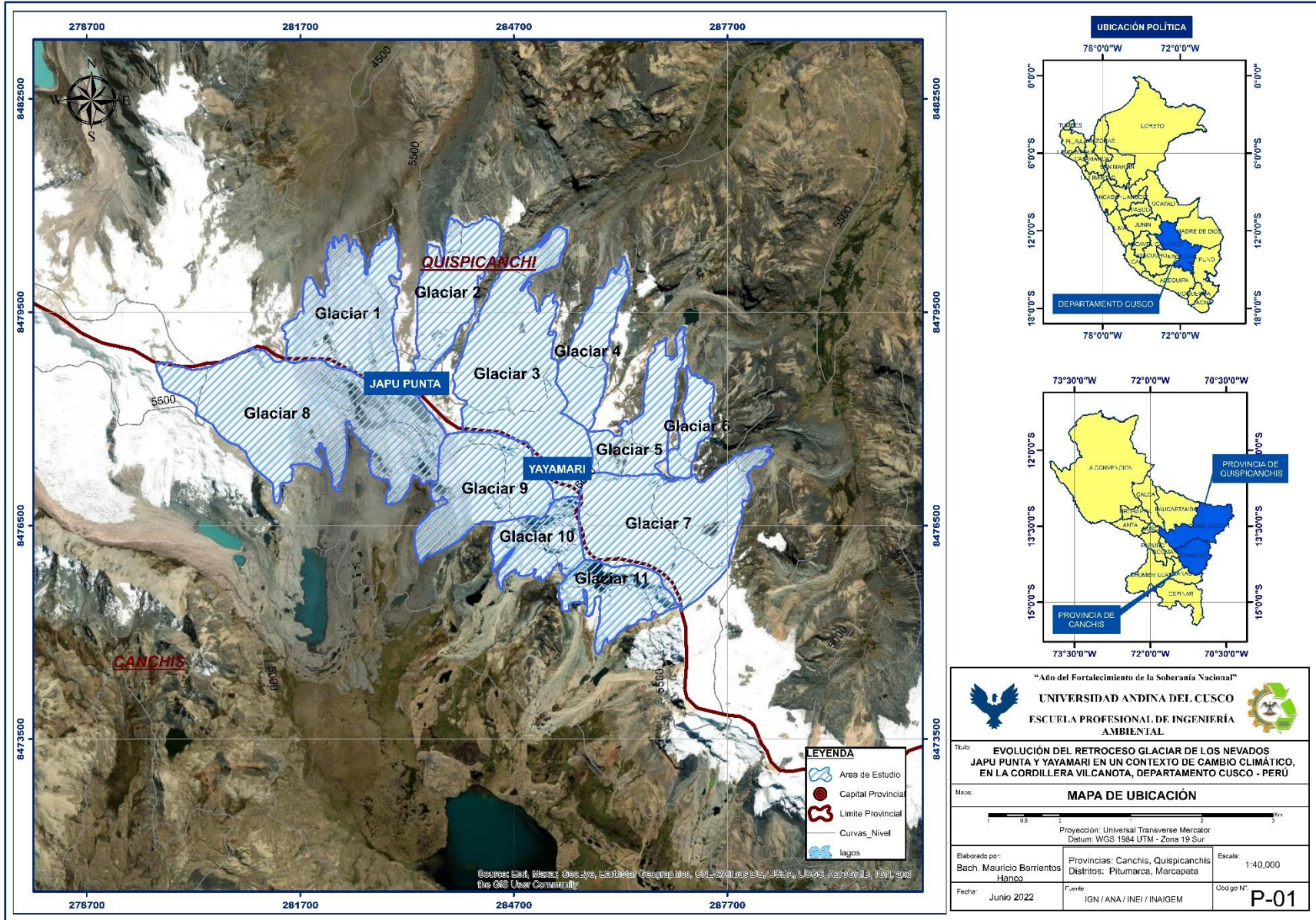
	Coordenadas	
	Este	Norte
Japu Punta	283394	8478192
Yayamari	285718	8477012

### ***1.5.2. Delimitación temporal***

El tiempo que se consideró para el estudio de glaciares fue en el periodo 1992 – 2022, el criterio de selección fue definido en vista de que el comportamiento de los glaciares se muestra en periodos largos, por lo que, para obtener resultados confiables y significativos sobre la evolución del retroceso glaciar se consideró pertinente una temporalidad de 30 años.

Sobre la evaluación del clima, se solicitó la data hidrometeorológica al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) de las estaciones cercanas a los nevados Japu Punta y Yayamari. Respecto a la temporalidad del estudio la data adquirida fue del año 1964 al año 2020, pero cabe resaltar que se consideró a partir del año 1990 debido a que en la década de los 80 existe la falta de datos registrados en las estaciones meteorológicas.







## CAPITULO II: MARCO TEORICO

### 2.1. Antecedentes

#### 2.1.1. *Antecedentes nacionales*

**Ramos (2018)**, cuya investigación titula: “Evolución de la cobertura glaciar del Nevado Coropuna y su relación con el entorno climático”; tuvo como objetivo: Evaluar el comportamiento del Nevado Coropuna (Departamento Arequipa) en un periodo de 30 años y las condiciones de su entorno climático. Los resultados de la investigación mostraron que en las series temporales de precipitación no se identificaron ningún tipo de quiebre ni tendencia a partir de la aplicación de los test estadísticos lo cual refleja la inexistencia de cambios relevantes de precipitación en las estaciones meteorológicas consideradas en dicho estudio, caso contrario referido al parámetro temperatura se mostró algunos quiebres a fines de la década de los años 80, pero principalmente se identificó en la década del 90, por su parte, se reveló una tendencia positiva en las series de temperatura. Sobre el estudio en glaciares, se calculó una disminución del 20% de su área inicial para el nevado Coropuna en un periodo de tiempo desde el año 1987 hasta el año 2015.

**Quirós (2013)**, cuya investigación titula: “Impacto del Cambio Climático en los glaciares de las montañas Chollquepucro y Pariaqaqa (Perú)”; tuvo como objetivo: Evaluar el comportamiento de los nevados Chollquepucro y Pariaqaqa a partir de los efectos del calentamiento. La metodología consistió en la delimitación de los paleoglaciares y glaciares en imágenes satélite del año 2010 de Google Earth que fueron procesadas en el software ArcMap 10, el criterio de delimitación se basó en las características geomorfológicas de los nevados, por otro lado, para el cálculo de la línea de equilibrio se desarrolló en hojas de cálculo en Excel. Las



conclusiones del estudio resaltan que desde la Pequeña Edad de Hielo (PEH) hasta el año 2010 hubo una reducción de la superficie de 18,14 km<sup>2</sup>, por su parte, el valor de la línea de equilibrio ascendió 140 metros en el mismo periodo de trabajo, dichos resultados representan una tasa de deglaciación de 0.151 km<sup>2</sup>/año para la superficie glaciar y para la ELA una tasa 1.17 m/año.

**Veettil y Souza (2016)**, cuya investigación titula: “Study of 40-year glacier retreat in the northern region of the Cordillera Vilcanota, Peru, using satellite images: preliminary results”, la metodología de trabajo consistió en la aplicación de técnicas de teledetección donde se aplicó el Índice Normalizado Diferencial de nieve (NDSI) para obtener la evolución de la superficie glaciar. Los resultados de la investigación indican que los nevados Sinaqara, Wilaquta, Qullqipunku, Minasniyuq y Anka Wachana para los años 1975, 1985, 1996, 2005 y 2015 presentan una superficie glaciar de 48.3 km<sup>2</sup>, 44.8 km<sup>2</sup>, 33.2 km<sup>2</sup>, 27.1 km<sup>2</sup> y 25.2 km<sup>2</sup> respectivamente.

**Úbeda (2011)**, cuya investigación titula: “El Impacto del Cambio Climático en los Glaciares del Complejo Volcánico Nevado Coropuna, (Cordillera Occidental de los Andes Centrales)”; tuvo como objetivos: 1) Delimitar y medir el sistema glaciar y reconstruir sus ELAs en 1955, 1987 y 2007. 2) Establecer las tasas del proceso de deglaciación del sistema glaciar y los aparatos delimitados en sus sectores NE y SE. 3) Elaborar pronósticos sobre la evolución de las masas de hielo durante el siglo XXI en diferentes escenarios de futuro. Los resultados presentados muestran que el nevado Coropuna perdió una superficie glaciar 9.55 km<sup>2</sup> en un periodo de 52 años. Respecto al valor de la ELA, se obtuvo para el sector SE del nevado Coropuna un ascenso de 75 metros de la ELA, para el sector NE del nevado Coropuna determinó un ascenso de 45 metros el valor de la ELA en el periodo 1955 - 2007.



**Bolivar (2018)**, cuya investigación titula: “Evaluación de la deglaciación del Nevado Ausangate y su influencia en la disponibilidad de recursos hídricos en la Cuenca alta del Río Pitumarca – Cusco”; tuvo como objetivo cuantificar el retroceso glaciar del nevado Ausangate considerando una temporalidad de 30 años (1986 – 2016). Esta investigación utilizó imágenes de satélite, las cuales fueron procesadas mediante el uso de herramientas SIG aplicando técnicas de teledetección. Las conclusiones fueron que: El nevado Ausangate se encuentra en un constante retroceso donde se registró en el periodo 1986 - 1996 la mayor reducción de la cobertura nival a una magnitud de 5.4 km<sup>2</sup>, en el periodo 1986 – 2016 se calculó una pérdida total de 10.1 km<sup>2</sup> en el sistema glaciar Ausangate, lo cual representa una reducción del 34% respecto a su área inicial, estos resultados reflejan una tasa de deglaciación de 0.32 km<sup>2</sup>/año.

### **2.1.2. Antecedentes internacionales**

**Díaz y Bejarano (2017)**, cuyo título es: “Análisis multitemporal del retroceso glaciar del Volcán Nevado Cotopaxi- Ecuador, entre los años 1998, 2007 y 2016”; La metodología de trabajo consistió en cuantificar el retroceso glaciar empleando el uso de imágenes satelitales Landsat 5 y Landsat 7, recopiladas para los años 1998, 2007 y 2016. Los resultados presentados indican que el volcán nevado Cotopaxi registraba una superficie glaciar aproximada de 28 km<sup>2</sup> para el año 1998, por otro lado, para el año 2016 se registró que la superficie glaciar se redujo aproximadamente a 13 km<sup>2</sup>. Las conclusiones de la investigación mencionan que, se evidencia un retroceso persistente de los glaciares por múltiples causas, destacando principalmente al incremento de temperatura producido por el calentamiento global, se recomienda que en las zonas cercanas al área de influencia ejecuten medidas de adaptación con la finalidad de prepararse para futuros escenarios de riesgo.



**Real (2013)**, cuyo título: “Implementación de un Balance de Energía sobre una superficie glaciar. Caso específico: Volcán Nevado Santa Isabel, glaciar conejeras, departamento de Caldas, Colombia”; tuvo como objetivo: Desarrollar un balance energético que facilite identificar los flujos energéticos que se suscitan en la interacción atmósfera/glaciar en el volcán nevado Santa Isabel (departamento de Caldas, Colombia); Las conclusiones mencionan que los flujos radiativos calculados para el periodo (marzo de 2012 – mayo de 2013) fue de  $1596.178 \text{ J/m}^2$  y los flujos turbulentos fueron de  $156.396 \text{ J/m}^2$ ; estos valores de energía son capaces de fusionar  $9.445 \text{ mm w.e}$  (water equivalent).

**Paez y Garcia (2016)**, cuyo título: “Análisis Multitemporal del retroceso glaciar en la sierra Nevada de Santa Marta – Colombia – para los periodos 1986, 1996, 2007 y 2014”; la finalidad de dicha investigación fue cuantificar la perdida glaciar de la Sierra Nevada de Santa Marta en distintos periodos de tiempo utilizando imágenes satélites Landsat. Los resultados obtenidos en la investigación indican que en tan solo 28 años perdió el 69.88% del área de superficie glaciar ocupada en 1986. Las conclusiones mencionan que los modelos matemáticos implementados muestran que el glaciar desaparecerá inevitablemente en el intervalo del 2022 y 2030.



## 2.2. Bases Teóricas

### 2.2.1. *Análisis de series temporales*

Una serie temporal se conceptualiza como la secuencia de N observaciones (datos) ordenadas y equidistantes cronológicamente sobre una determinada característica (serie univariante o escalar) o sobre distintas características (serie multivariante) de una unidad observable en distintos tiempos (Mauricio, 2007).

#### 2.2.1.1. Aspectos básicos de pruebas estadísticas en series hidrometeorológicas

##### A. Hipótesis

El primer paso de una prueba estadística es plantear una hipótesis nula ( $H_0$ ) y una hipótesis alternativa ( $H_1$ ). Se interpreta que, para la prueba de tendencia de las series hidrometeorológicas, se considera que  $H_0$  representaría la inexistencia de una tendencia en la serie de datos, caso contrario  $H_1$  representaría la existencia de tendencia creciente o decreciente.

##### B. Test estadístico

El test estadístico sirve para poder confrontar  $H_0$  y  $H_1$ . Este valor numérico es obtenido a partir del registro de datos que se está experimentando (Chiew & Siriwardena, 2005).

##### C. Nivel de significancia

El nivel de significancia es la probabilidad de que la prueba estadística detecte algún tipo de tendencia/cambio (rechazo  $H_0$ ).

$\alpha > 0.1$  poca evidencia contra  $H_0$

$0.05 < \alpha < 0.1$  posible evidencia contra  $H_0$

$0.01 < \alpha < 0.05$  fuerte evidencia contra  $H_0$

$\alpha < 0.01$  evidencia muy fuerte contra  $H_0$ .



### 2.2.1.2. Descripción de test estadísticos

#### A. Mann Kendall (no paramétrico)

Este test estadístico, comprueba si existe una tendencia en la serie de datos hidrometeorológicos.

Este test es una prueba no paramétrica. Los valores de las series de tiempo “n” (X1, X2, X3, Xn) se remplazan por sus rangos relativos (R1, R2, R3, Rn) (Chiew & Siriwardena, 2005).

El estadístico S es:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(R_i - R_{i+1})$$

Donde:

$$\text{sgn}(x) = 1 \text{ for } x > 0$$

$$\text{sgn}(x) = 0 \text{ for } x = 0$$

$$\text{sgn}(x) = -1 \text{ for } x < 0$$

Si la hipótesis nula H0 es cierta, por lo tanto, S es una distribución aproximadamente normal con media cero y una Varianza igual:

$$\sigma = n(n-1) (2n+5) / 18$$

Entonces, el estadístico “Z” es:

$$Z = |S| / \sigma^{0.5}$$

Un valor positivo de S denota la presencia de una tendencia en aumento, caso contrario si el valor de S es negativo es una tendencia decreciente.



## B. Test Regresión Lineal (paramétrico)

La regresión lineal es un test paramétrico que asume que los datos presentan una distribución normal. Este test prueba si existe una tendencia lineal a través del examen de la relación entre el tiempo (x) y la variable de interés (y) (Chiew & Siriwardena, 2005). El gradiente de regresión se calcula por:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

y el punto de intersección se calcula como:

$$a = \bar{Y} - b\bar{X}$$

La prueba estadística S es:

$$S = b / \sigma$$

Donde:

$$\sigma = \sqrt{\frac{12 \sum_{i=1}^n (Y_i - a - bX_i)^2}{n(n-2)(n^2-1)}}$$

La prueba estadística S sigue una distribución t de Student n-2 grados de libertad bajo la hipótesis nula. Este test estadístico considera que la serie es una distribución normal y que los errores (desviaciones de la tendencia) son independientes y continúan la misma distribución normal con media cero (Chiew & Siriwardena, 2005).





### 2.2.2. *Glaciares*

La definición conceptual del término glaciar adopta una variedad de significados que va acorde al contexto en el que se estudia a los glaciares, muchos investigadores formularon la definición conceptual teniendo en cuenta ciertos criterios como la geomorfología, las condiciones climáticas y la ubicación geográfica del glaciar, resaltando que no es lo mismo un glaciar ubicado en la Antártida que un glaciar ubicado en los andes peruanos ya que presentan una topografía distinta y un régimen de acumulación – ablación diferente.

Según Tarbuck y Lutgens (2005) un glaciar es una masa gruesa de hielo que se forma encima de la superficie mediante el proceso de acumulación de nieve, la compactación y recristalización, considerando que los glaciares tienen la propiedad de ser erosivos y tienden a fluir por efecto de la gravedad.

Por otro lado, el IPCC (2001) resalta que un glaciar es una masa de hielo que se moviliza o fluye pendiente abajo, se encuentra confinado por elementos topográficos que lo bordean como laderas o cumbres adyacentes.

Por su parte el IDEAM (1997) define que es una masa de hielo que se encuentra en constante movimiento que incluye detritos rocosos y está condicionado por el balance de masa que representa las ganancias (acumulación) y pérdidas (fusión).

Igualmente, la OMM (2012) considera que los glaciares son alimentados mediante eventos atmosféricos y que estas masas de hielo tienden a moverse en forma lenta, durante periodos largos.



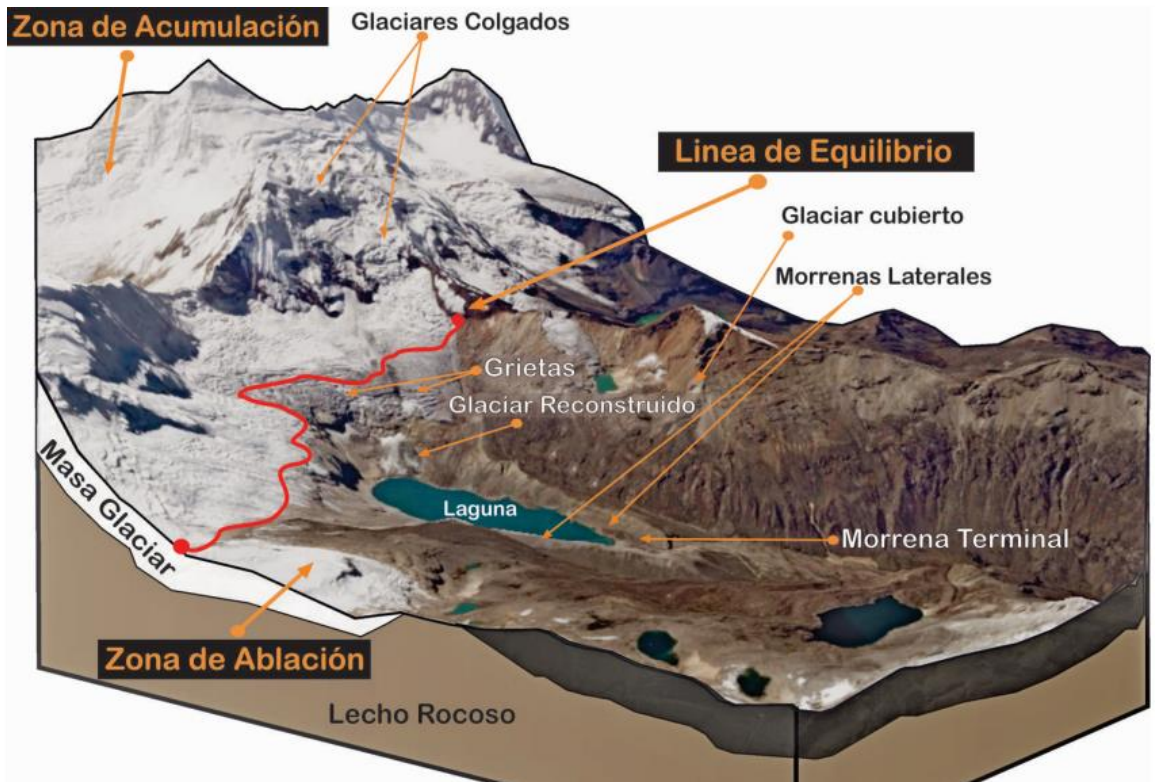
Finalmente, CECS (2009) precisa que un glaciar es aquella superficie que presenta hielo o nieve de manera duradera, tiene la propiedad de ser un flujo viscoso producto de la formación del hielo, el área mínima para que se considere glaciar es de  $0,01 \text{ km}^2$ .

### 2.2.3. *Partes de un glaciar*

- A. Zona de Acumulación:** En esta zona predominan los procesos de ganancia principalmente por la cantidad de nieve que recibe y hielo que se forma en el transcurso de un año hidrológico, también brinda información sobre los niveles de precipitaciones solidas (Francou & Pouyaud, 2008).
- B. Zona de Ablación:** En esta zona predominan los procesos de pérdida que principalmente se dan por la fusión de la masa glaciar, también suelen ocurrir eventos como la sublimación por los vientos y desprendimiento de masas de hielo por la presión en estos cuerpos de hielo (Francou & Pouyaud, 2008).
- C. Altitud de la Línea de Equilibrio (ELA):** Parámetro glaciológico que separa la zona de acumulación y la zona de ablación, este parámetro está condicionado por las variables meteorológicas y geomorfológicas de un glaciar, por otro lado, representa el balance de masa de un glaciar considerando que la variación de la altitud de la línea de equilibrio indica si el régimen acumulación – ablación es negativo, positivo o si está en equilibrio.
- D. Morrena:** Se forma por la acumulación de sedimentos conocidos como till, pueden presentar múltiples formas (en arco, convexas, en hombreras etc.), las morrenas indican hasta donde las masas de hielo lograron avanzar antiguamente (Fernandez, 2014).

**Figura 1**

*Partes de un glaciar*



Fuente: INAIGEM

#### 2.2.4. Clasificación de los glaciares

Existen diferentes características que permiten agrupar a los glaciares en distintas categorías. Los glaciares generalmente son observados de una manera homogénea, por lo que es importante agrupar a los glaciares a partir de las características que presentan, tomando en cuenta ciertos criterios de clasificación como la morfología, temperatura, dinámica, contenido de impurezas y la localización (INAIGEM, 2017).



**Tabla 2**

*Tipologías más recurrentes de la clasificación de glaciares*

<b>Parámetro de Clasificación</b>	<b>Tipo</b>	<b>Descripción</b>
Morfología	Valle	Glaciares que prosiguen la ruta de un valle preexistente, presentan la lengua glaciar prolongada.
	Montaña	Masas de hielo aferradas al lecho rocoso, donde el frente glaciar se ubica alejada de los valles, se acentúan en pendientes escarpadas.
	Glaciaretos	Reducidas masas de hielo, donde la zona de acumulación y ablación no son reconocidas fácilmente, generalmente se muestran como glaciares fragmentados.
	Capa de hielo	Masa glaciar en forma de domo, muestra un flujo en forma radial.
Temperatura	Templados	La temperatura del hielo es de 0°C, por lo tanto, se evidencia flujos de agua en el lecho o dentro de las masas y tienden a presentar una rápida deformación.
	Fríos	Masas de hielo por debajo del punto de fusión, no presenta agua en la base y brinda poco aporte superficial.
Dinámica	Activos	Glaciares con movimiento constante y formación de detritos.
	Pasivos	Glaciares que fluyen despacio, contemplan una poca formación de morrenas.
	Estáticos	No presentan acumulación, muestran poca fusión de hielo.
Contenido de Impurezas	Limpio	Glaciares denominados blancos que generalmente presentan una cobertura sin detritos.
	Cubiertos	Glaciares cubiertos con detritos y/o fragmentos rocosos de forma parcial o total.
	De roca	Llamados también glaciares rocosos, muestran una acumulación pausada de restos rocosos (angulares), con un patrón de cresta / surco distintivo y pendientes empinadas y laterales.
Localización	Polares	Se ubican en zonas polares.
	Ecuatoriales/ Tropicales	Se ubican próximas a la línea Ecuatorial.
	Trópicos internos	Se ubican entre los trópicos y cercanos a la línea ecuatorial (por ejemplo, Colombia y Ecuador).
	Trópicos externos	Se ubican entre los trópicos y se encuentra lejos de la línea ecuatorial, como es el caso para los glaciares peruanos y bolivianos.

Fuente: (IDEAM et al.,2012)



### 2.2.5. *Cálculo de la altitud de la línea de equilibrio (ELA)*

Para comprender el estado de los glaciares en relación al cambio del clima se debe calcular ciertos parámetros glaciológicos o también denominados geo - indicadores como la superficie glaciar y la altitud de la línea de equilibrio (ELA). Para el cálculo de la ELA de un glaciar existen distintos métodos:

- A. Métodos glaciológicos o hidrológicos:** Se realiza mediante observaciones sistemáticas en campo, dicho método complementa al balance de masa que verifica las ganancias y pérdidas del glaciar. (Ubeda, 2011).
- B. Métodos geomorfológicos:** Consiste en relacionar matemáticamente la geomorfología glaciar como la altitud máxima de las morrenas con la zona de acumulación, por otro lado, también se puede calcular mediante las altitudes máximas y mínimas de las masas de hielo (Ubeda, 2011).
- C. Métodos climáticos:** Formulan ecuaciones que combinan la temperatura y la humedad con el cambio de la altitud de la línea de equilibrio, que son obtenidas a través de mediciones glaciológicas en campo (Ubeda, 2011).

De todos los métodos el más preciso es el glaciológico que se realiza en campo a través de la instalación de estacas a lo largo del glaciar durante un año, la deficiencia de dicho método es que solo se puede aplicar para glaciares actuales y por otro lado este método es complejo aplicar para glaciares con una difícil accesibilidad. Por el enfoque de la investigación, se empleó el método geomorfológico que se subdivide en 2 métodos:



**A. Métodos morfométricos:** No aplica para la reconstrucción de las ELAs actuales porque se basan en parámetros característicos de los paleoglaciares, se basa en la altitud del umbral de salida, la altitud máxima de las morrenas laterales y la relación entre la altitud del frente y la cabecera o entre el área de la zona de acumulación y la superficie total de la masa de hielo (Ubeda, 2011).

**B. Métodos estadísticos:** Tienen en cuenta la superficie e hipsometría de las masas de hielo y los gradientes de acumulación y ablación, se puede aplicar indistintamente a glaciares actuales y a paleoglaciares, siempre que estén disponibles o puedan reconstruirse su superficie y su topografía (Ubeda, 2011).

En la presente investigación se aplicó el método Area x Altitude Balance Ratio (AABR) desarrollada por Omaston (2005) resaltando que presenta mejores resultados, se acerca más al valor real de la ELA. Esta metodología se fundamenta en ponderar el balance de masa en las áreas que se ubican muy por encima o por debajo de la ELA, por otro lado, aplican diferentes valores de Balance Ratio (BR) para ajustar la pendiente del glaciar. El método AABR tiene la ventaja de poder reconstruir la ELA a diferentes valores de BR que se considere necesario, Omaston (2005) publicó instrucciones precisas para programar las operaciones necesarias para aplicar el método AABR en dos hojas de cálculo.

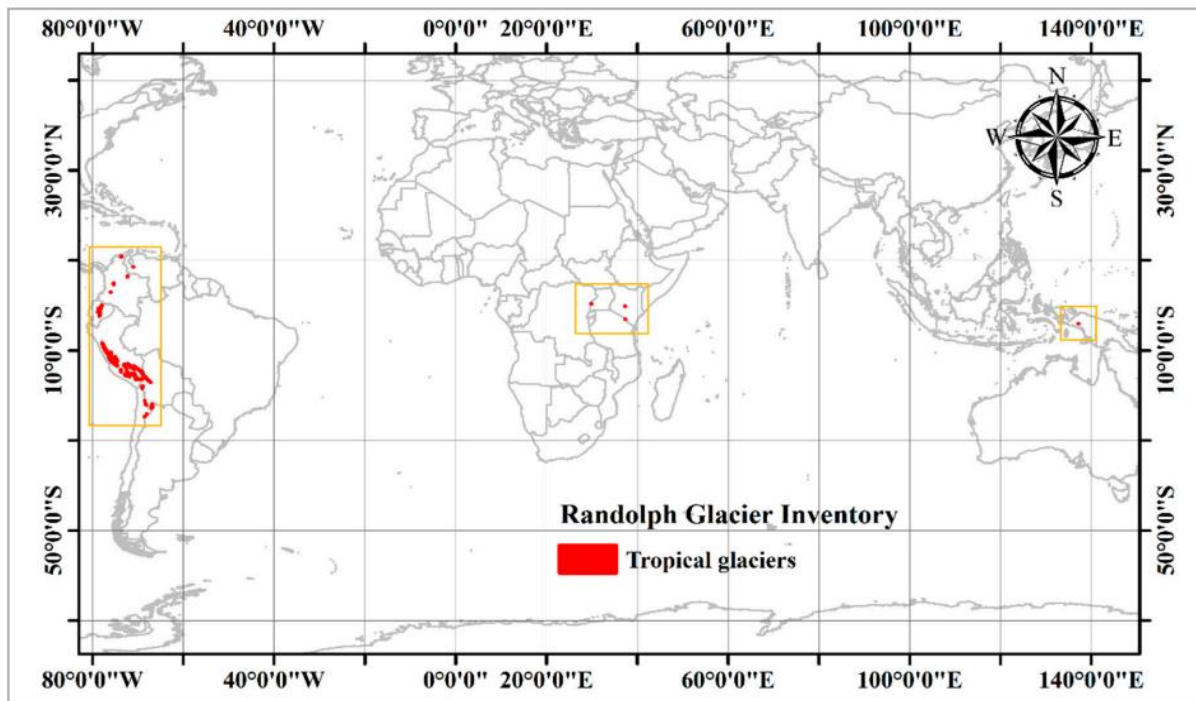
#### **2.2.6. Glaciares Tropicales**

Los glaciares tropicales pertenecen a la criósfera y son distinguidos por su sensibilidad ante cualquier cambio climático a distintas escalas. Debido a que reaccionan rápidamente ante dichos cambios se les denomina “centinelas del clima” (Francou et al., 2013).

Se localizan entre el Trópico de Cáncer y el Trópico de Capricornio ( $23^{\circ}26'13.3''$  N;  $23^{\circ}26'13.3''$  S) inmersos en la Zona de Convergencia Intertropical, existen glaciares tropicales en los Andes sudamericanos, África Oriental y Australasia (Veettil & Kamp, 2019).

## Figura 2

*Distribución de glaciares tropicales en el mundo*



Fuente: Randolph Glacier Inventory, Sentinel (2019)

Más del 99% de los glaciares tropicales se sitúan en los Andes de América del Sur, incluyendo Colombia, Venezuela, Ecuador, Perú, Chile, Bolivia y Argentina, pero cabe resaltar que en el Perú se acentúa el 68% de los glaciares tropicales (Veettil & Kamp, 2019).



**Tabla 3**

*Áreas de glaciares tropicales por región y país*

<b>Region</b>	<b>Country</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>
South América	Venezuela	0.79
	Colombia	66.19
	Ecuador	123.90
	Perú	1602.96
	Bolivia	531.58
	Northern Chile	11.81
	Northern Argentina	0.32
	Total	2337.55
África	Kenya	0.40
	Tanzania	2.87
	Uganda - Democratic Republic of Congo	1.14
	Total	4.41
Irian Jaya	Indonesia	2.14
<b>TOTAL</b>		<b>2344.10</b>

Fuente: Randolph Glacier Inventory

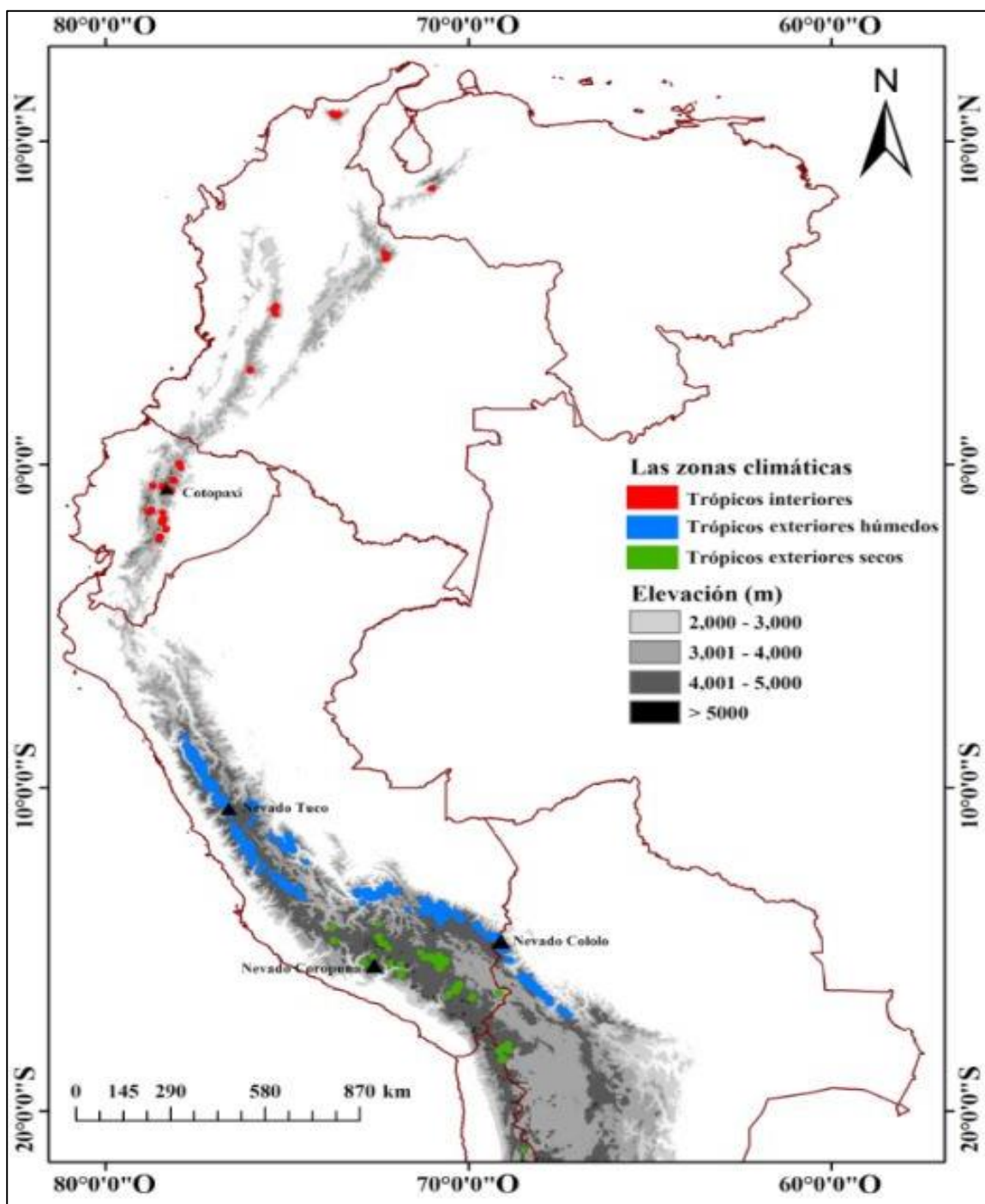
### **2.2.7. Distribución de glaciares tropicales en zonas climáticas**

Los glaciares tropicales localizados en América del Sur se clasifican en dos sub-áreas tomando como criterio las características de precipitación y la ubicación geográfica: La primera vendría a ser los trópicos interiores (Colombia, Venezuela y Ecuador) que tienen la particularidad de que el proceso de acumulación y ablación de los glaciares ocurren paralelamente durante todo el año, no se evidencia una estacionalidad en las precipitaciones; la segunda son los trópicos exteriores (Bolivia, Perú y el norte de Chile), donde existe una estacionalidad marcada resaltando que la temporada seca se registra de mayo a septiembre, con condiciones subtropicales y la temporada lluviosa de octubre a marzo (Veettil et al., 2016).



**Figura 3**

*Distribución de glaciares tropicales en tres grupos de clima.*



Fuente: Veettil et al., 2016.



### **A. Trópicos interiores:**

Se expanden desde Venezuela hasta Ecuador. El caso para Ecuador los trópicos interiores se ubican tanto en la Cordillera Occidental ( $0^{\circ}22' N - 1^{\circ}29' S$ ;  $78^{\circ}20' O - 78^{\circ}48' O$ ) como en la Cordillera Oriental ( $0^{\circ}1' N - 2^{\circ}20' S$ ;  $77^{\circ}54' O - 78^{\circ}33' O$ ). Dentro de los trópicos interiores se ubica el volcán Cotopaxi, las características de dicha región es que se registra dos eventos máximos de precipitación durante el año: el primer pico se da entre marzo y mayo, el segundo pico entre septiembre y noviembre, por otro lado, no presenta una variabilidad estacional significativa de la temperatura, pero si una variabilidad interanual. (Veettil et al., 2016).

Un parámetro importante que condiciona el balance de masa es la temperatura del aire, se precisa que en los trópicos interiores tienden a ser más sensibles de la temperatura que en los trópicos exteriores (Jomelli et al., 2009; Favier al., 2004). Otro factor importante es que la incidencia de la radiación de onda corta alcanza su máximo nivel entre marzo-abril a septiembre, si en estas fechas no hay eventos de precipitaciones sólidas, esto conlleva a una fusión significativa de los glaciares (Rabatel et al., 2013).

### **B. Trópicos exteriores húmedos del norte:**

Dentro de los trópicos exteriores húmedos del norte se localizan la Cordillera Blanca ( $8^{\circ}30' S - 10^{\circ}10' S$ ;  $77^{\circ}00' O - 78^{\circ}00' O$ ). Esta zona presenta una estacionalidad poco marcada de la temperatura anual (pero con amplias variaciones de la temperatura diaria), por otro lado, el clima está condicionado entre una temporada seca (mayo a septiembre) y una temporada lluviosa (octubre a abril) (Veettil et al., 2016).

Además, la temporada seca en los Andes peruanos se desarrolla en el transcurso del invierno austral. La ganancia de masa glaciar se da a lo largo de la temporada de lluvias, generalmente en las zonas más altas de los glaciares, caso contrario el proceso de ablación se



muestra en el transcurso de todo el año. Los niveles más altos de precipitación se registran con mayor frecuencia en las laderas Este, posiblemente al incremento del transporte de humedad de la cuenca del Amazonas (Veettil et al., 2016).

### **C. Trópicos exteriores húmedos del sur:**

En esta zona se ubican los glaciares de la cordillera oriental del Perú y los glaciares bolivianos, esta región se caracteriza por una alta incidencia de la radiación solar en el curso de todo el año, baja variabilidad de temperatura y una estacionalidad marcada en los parámetros de humedad y precipitación (Rabatel et al., 2012).

Desde una perspectiva glaciológica esta región se identifica tres tipos de ablación: (1) tasa de fusión más alta motivo de la radiación solar (octubre - diciembre), (2) tasa de ablación mayor debido a la fusión (enero - abril) y (3) tasa de ablación reducida a causa de la pérdida de energía por radiación de onda larga (mayo - agosto). Cabe resaltar que, si se originan eventos de precipitación nival entre mayo y agosto, estos tienen la posibilidad de permanecer en la estación seca debido a una baja ablación (Rabatel et al., 2012).

### **D. Trópicos exteriores secos:**

Dentro de los trópicos exteriores secos se encuentra el nevado Coropuna, en esta región su balance de masa glacial depende significativamente por la precipitación (Wagnon et al., 1999). Los niveles de precipitación en el nevado Coropuna dependen generalmente de la circulación de las masas de aire desde el Océano Atlántico hacia el oriente tropical (Herrerros et al., 2009). El caso para el nevado Coropuna la línea de equilibrio (LE) se posiciona sobre la isoterma de 0°C, mientras que en los trópicos interiores están próximas de la isoterma de 0°C. En ese sentido, los glaciares localizados en los trópicos exteriores son menos vulnerables a la temperatura (Kaser, 1999).



La temporada seca en los Andes tropicales del Perú se produce durante el invierno austral. Por otro lado, los niveles más altos de precipitación se registran en las laderas orientales, debido al incremento del transporte de la humedad de la cuenca del Amazonas (Veettil et al., 2016).

### ***2.2.8. Importancia de los glaciares tropicales***

Los glaciares tropicales son fundamentales en la hidrología de los Andes, sobre todo en regiones con características áridas o semiáridas. Según el comportamiento glaciar tiene la capacidad de almacenar agua durante los períodos fríos y liberarla en forma de escorrentía por la fusión del deshielo durante la estación seca (Buytaert et al., 2017). Debido al retroceso glaciar acelerado, se evidencia mayor escorrentía por la fusión de los glaciares, estos niveles de escorrentía llegan a su máximo nivel en el que se denomina pico hídrico. Tras alcanzar esos niveles se produce un descenso constante de los volúmenes de escorrentía que aporta el glaciar, pero cabe resaltar que a menor masa glaciar menor es el aporte hídrico (Baraër, 2012). En la cuenca baja, se registra caída del nivel de los ríos y posibles sequías, el máximo de escorrentía podría generar niveles no sostenibles de dependencia hídrica en comunidades y personas. A largo plazo, después de alcanzar su mayor aporte hídrico, se producirá una reducción del volumen de los caudales.

El suministro de agua por parte de los glaciares tropicales es fundamental, por ejemplo, en un año normal los glaciares tienen una contribución máxima mensual de aproximadamente el 5% disponible en Quito (Ecuador), el 61% en La Paz (Bolivia) y el 67% en Huaraz (Perú), mientras que, en un año con condiciones secas, la contribución máxima mensual de agua aumentaría, contribuyendo aproximadamente el 15% en Quito (Ecuador), el 85% en La Paz (Bolivia) y el 91% en Huaraz (Perú) (Buytaert et al., 2017).



El departamento del Cusco depende notablemente del aporte hídrico de los glaciares sobre todo las comunidades altoandinas que afrontan una prolongada estación seca, de entre cinco y seis meses de duración. Los glaciares de la Cordillera Vilcanota son el soporte hídrico de la laguna Sibinacocha que alimenta al río Vilcanota para regular el caudal en temporada de estiaje, este sistema “glaciar - laguna - río” es fundamental para satisfacer las principales actividades productivas, extractivas y recreativas que se desarrollan en la cuenca Vilcanota - Urubamba como los sistemas de irrigación para la agricultura, pesca, turismo de aventura y la generación de energía eléctrica en el sector Machupichu operado por EGEMSA.

### **2.3. Hipótesis**

#### **2.3.1. Hipótesis general**

La evolución del retroceso glaciar de los nevados Japu Punta y Yayamari en contexto de cambio climático representa un balance negativo por la disminución de la superficie glaciar y el ascenso de la altitud de la línea de equilibrio.

#### **2.3.2. Hipótesis específicas**

- H0: El comportamiento histórico de las series de temperatura de las estaciones meteorológicas próximas a los nevados Japu Punta y Yayamari no presenta una tendencia positiva.
- H1: El comportamiento histórico de las series de temperatura de las estaciones meteorológicas próximas a los nevados Japu Punta y Yayamari presenta una tendencia positiva.
- H0: El comportamiento histórico de las series de precipitación de las estaciones meteorológicas próximas a los nevados Japu Punta y Yayamari no presenta una tendencia negativa.



- H1: El comportamiento histórico de las series de precipitación de las estaciones meteorológicas próximas a los nevados Japu Punta y Yayamari presenta una tendencia negativa.

#### **2.4. Variables e indicadores**

##### V1: Cambio Climático

- Temperatura media mensual (°C)
- Precipitación acumulada mensual (mm)

##### V2: Retroceso Glaciar

- Superficie Glaciar (km<sup>2</sup>)
- Altitud de la línea de equilibrio (m.s.n.m)
- Tasa de deglaciación (km<sup>2</sup>/año) (m/año)



## CAPITULO III: MÉTODO

### 3.1. Metodología de la investigación

#### 3.1.1. *Tipo de investigación*

El tipo de investigación es aplicada considerando que se determina el retroceso glaciar de los nevados Japu Punta y Yayamari, también se evalúa el comportamiento histórico del clima de las estaciones meteorológicas aledañas a la zona de estudio. Según Maletta (2009) menciona que la investigación aplicada se caracteriza por desarrollar conocimientos en un campo en específico, la investigación aplicada consigue convalidar una teoría en un terreno singular, desarrolla y calibra parámetros cuantitativos de una teoría planteada, también sustenta una determinada teoría hacia un campo sin antecedentes ni trabajos previos, finalmente puede sentar bases para un posterior desarrollo de tecnología.

#### 3.1.2. *Nivel de investigación*

El nivel de la investigación para el estudio de los glaciares es descriptivo porque busca cuantificar y describir parámetros glaciológicos de los nevados Japu Punta y Yayamari en un tiempo determinado. Según Sabino (1992) indica que el nivel descriptivo son investigaciones que emplean y desarrollan criterios sistemáticos y ordenados que permiten estudiar el comportamiento de un fenómeno de una manera estructurada, para después poder compararlos y contrastarlos con otras investigaciones.

Por otro lado, respecto al estudio del clima la investigación se ajusta a un nivel correlacional debido a que se calculan tendencias mediante la correlación de parámetros climáticos con el tiempo.



### 3.1.3. *Diseño de investigación*

El diseño es de tipo no experimental considerando que las variables de investigación serán descritas y explicadas mas no modificadas. Según Hernandez et al. (2014) menciona que la investigación no experimental se desarrolla sin manipular deliberadamente las variables, la característica de este diseño es que las variables independientes se suscitan y no se puede controlar ni manipular, solo se puede observar sus efectos.

### 3.1.4. *Población y muestra*

**Tabla 4**

*Población y muestra de estudio.*

<b>Población</b>	La población objetivo son los glaciares ubicados en la Cordillera Vilcanota, Departamento Cusco – Perú.
<b>Muestra</b>	La muestra de estudio son los glaciares ubicados en los nevados Japu Punta y Yayamari, Cordillera Vilcanota Departamento Cusco – Perú.



### 3.2. Descripción de la zona de estudio

Se realizó una expedición en los nevados Japu Punta y Yayamari con la finalidad de comprender el estado actual de los glaciares; a través del reconocimiento de la zona de estudio se puede identificar la geomorfología y como es que se forman las masas de hielo sobre la superficie.

#### **Figura 4**

*Nevado Japu Punta (Cordillera Vilcanota)*



*Coordenadas UTM. Zona: 19L. Datum: WSG-84*

**Este:** 281847

**Norte:** 8477372

**Fecha de registro:** 8/07/2023



**Figura 5**

*Nevado Yayamari (Cordillera Vilcanota)*



*Coordenadas UTM. Zona: 19L. Datum: WSG-84:*

**Este:** 283572

**Norte:** 8475998

**Fecha de registro:** 8/07/2023

## Figura 6

*Flujo de agua superficial (Nevado Yayamari)*



*Coordenadas UTM. Zona: 19L. Datum: WSG-84*

**Este:** 283086

**Norte:** 8476806

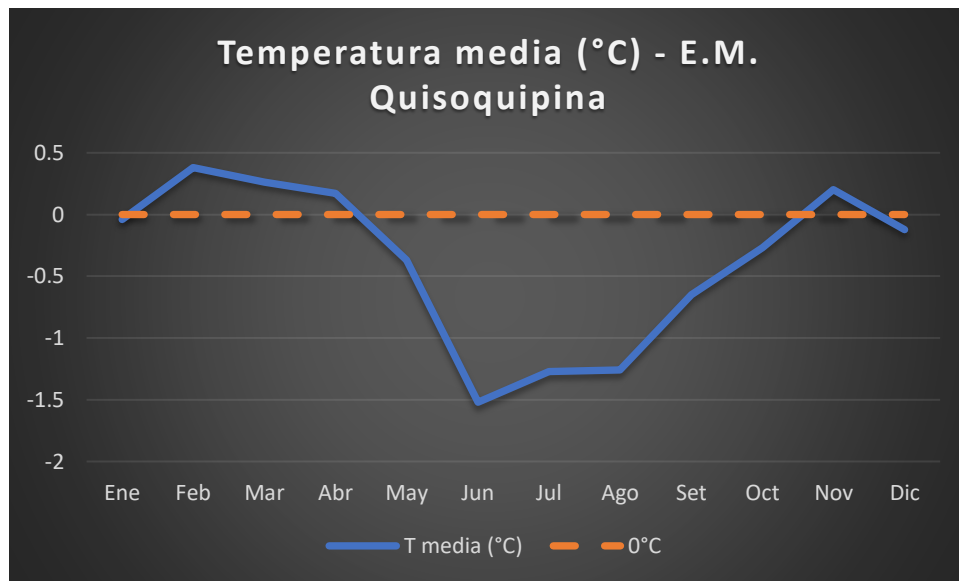
**Fecha de registro:** 8/07/2023

### 3.2.1. *Clima*

Las condiciones climáticas juegan un rol importante en el comportamiento de los glaciares debido a su alta sensibilidad, en ese sentido es fundamental monitorear dichos parámetros; respecto a los nevados Japu Punta y Yayamari la estación meteorológica Quisoquipina es la más cercana a la zona de estudio, dicha estación se ubica en la provincia: Canchis; distrito: Pitumarca. Se encuentra a 5157 m.s.n.m. de altitud.

**Figura 7**

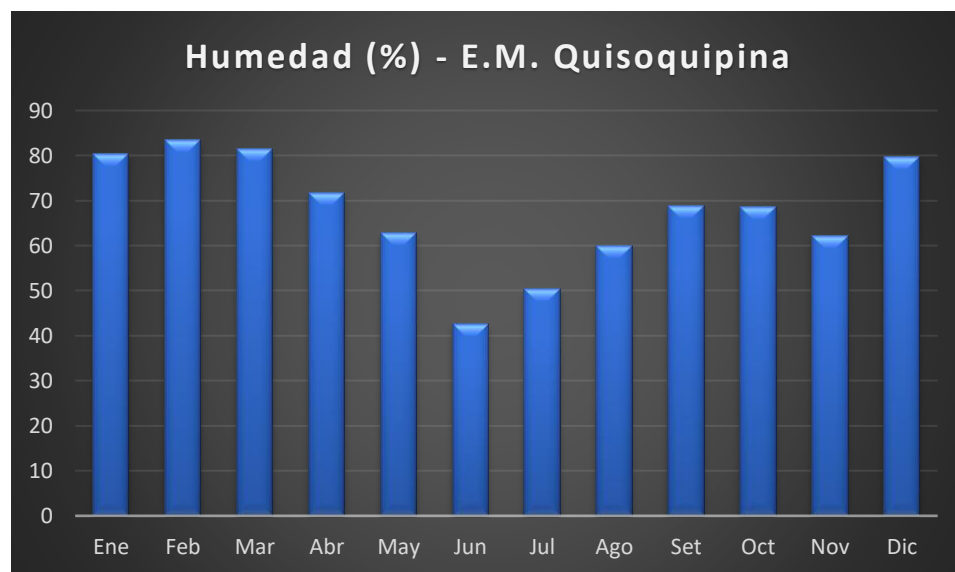
*Parámetro temperatura media, Estación Meteorológica Quisoquipina.*



Las condiciones actuales de temperatura reflejan que entre los meses mayo y agosto (época seca) hay un importante descenso de temperatura debido a la alta reflectancia de la radiación solar, esto influye en que los niveles de ablación sean reducidos en estas fechas.

**Figura 8**

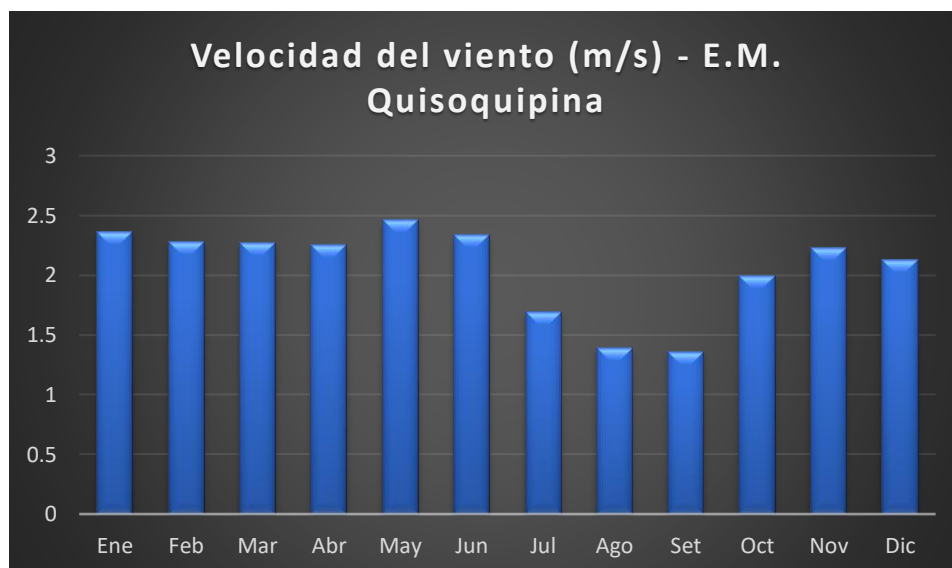
*Parámetro humedad, Estación Meteorológica Quisoquipina.*



Respecto a las condiciones actuales de la humedad se verifica que alcanza los niveles mas altos entre los meses diciembre y marzo (época húmeda), lo cual se puede interpretar que en esas fechas los glaciares de la cordillera Vilcanota registran importantes precipitaciones sólidas lo cual repercute en el ciclo de acumulación.

### Figura 9

*Parámetro velocidad del viento, Estación Quisoquipina.*



Respecto al parámetro velocidad del viento, no suele presentar una estacionalidad como es el caso de la temperatura y humedad. En ese sentido que se verifica que los niveles de la velocidad del viento tienden a fluctuar de una manera no definida.

#### 3.2.2. Ecosistemas

Es importante identificar los ecosistemas aledaños al área de estudio debido que su ciclo natural están interrelacionados con el comportamiento de los glaciares. Según la caracterización de ecosistemas de la cuenca Sibinacocha se identifican cinco tipos de ecosistemas teniendo como



referencia el mapa nacional de ecosistemas: glaciar, cuerpos de agua, humedales, pastizales y escasa vegetación (periglaciario) (Castro, 2022).

- a) **Glaciar:** Para el caso de la cuenca Sibinacocha se evidencia la presencia de glaciares por la parte norte como es el caso de los nevados Chumpe, Callangate, Japu Punta y Yayamari ubicados de este a oeste pertenecientes a la Cordillera Vilcanota.
- b) **Cuerpos de agua:** En la cuenca de Sibinacocha, principalmente se encuentra a la laguna Sibinacocha, por otro lado, también se evidencia lagunas periglaciares y proglaciares originadas mediante la escorrentía de los glaciares y el afloramiento de agua subterránea que forman espejos de agua (Castro, 2022).
- c) **Humedal:** Los humedales en la cuenca Sibinacocha también denominados bofedales o turberas, son ecosistemas caracterizado por inundaciones permanentes o estacionales, que están vinculados a fuente hidrológicas como la precipitación, escorrentía superficial y/o subterránea (Castro, 2022).
- d) **Pastizal:** Los pastizales están conformados por una superficie con céspedes, pajonales y herbazales, no superan los 80 cm de alto (MINAM, 2015). En la cuenca Sibinacocha los pastizales abarcan en su mayoría gran parte de su extensión, este ecosistema es aprovechado por los pobladores como zonas de pastoreo de camélidos sudamericanos. (Castro, 2022)
- e) **Escasa vegetación:** La escasa vegetación es una cobertura con similares características a la periglaciario. En la cuenca Sibinacocha, se evidencia este tipo de cobertura periglaciario, respecto a su distribución se ubica no solamente próximas al entorno glaciar, sino también en la parte baja de la cuenca donde se encuentran suelos desnudos, afloramientos rocosos y vegetación dispersa debido a las condiciones propias del suelo. (Castro, 2022)



### 3.3. Procedimiento

#### 3.3.1. Análisis de las series de temperatura y precipitación

##### A. Recopilación de información hidrometeorológica

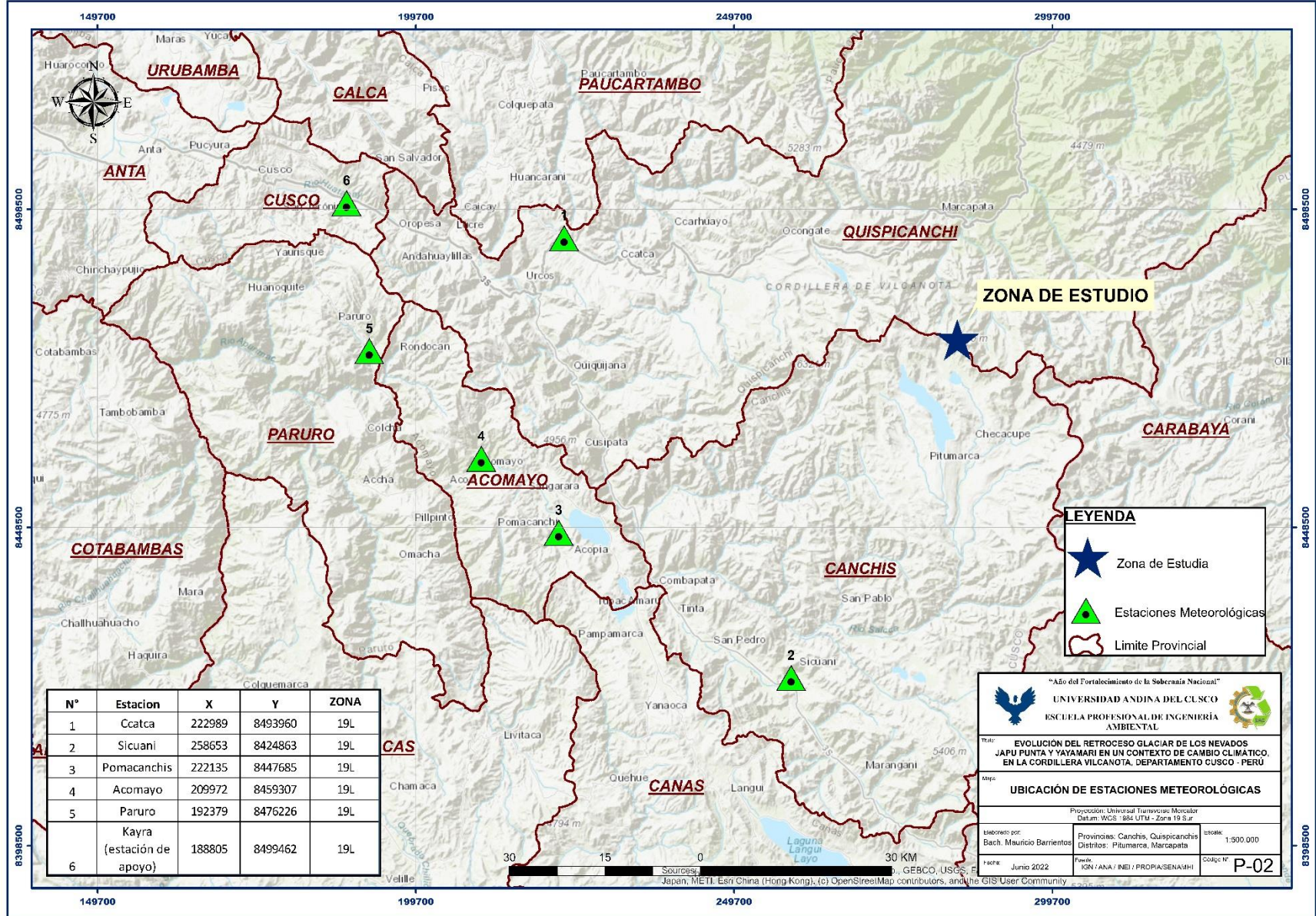
La información hidrometeorológica fue obtenida mediante los registros del SENAMHI donde se obtuvo desde el año 1964 hasta el año 2020, pero en el presente trabajo se consideró desde 1990 debido a la falta de data registrada en la década de los 80, los parámetros de estudio son la precipitación acumulada mensual y la temperatura media mensual de las siguientes estaciones meteorológicas:

**Tabla 5**

*Estaciones meteorológicas de trabajo.*

<b>Id Estación</b>	<b>Este</b>	<b>Norte</b>	<b>Zona</b>
Ccatca	222989	8493960	19L
Sicuani	258653	8424863	19L
Pomacanchis	222135	8447685	19L
Acomayo	209972	8459307	19L
Paruro	192379	8476226	19L
Kayra ( <i>estación de apoyo</i> )	188805	8499462	19L

En base a las estaciones Sicuani y Ccatca se consideró las demás estaciones resaltando que deben pertenecer a la misma región climática. Ciertas estaciones fueron excluidas por dos principales razones: registro de data muy corta como es el caso de las estaciones Quisoquipina, Salcca y Caicay. El segundo motivo de la exclusión es que no pertenecen a la misma zona climática como es el caso de las estaciones Macusani y Crucero (departamento de Puno).



"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TÍTULO: EVOLUCIÓN DEL RETROCESO GLACIAR DE LOS NEVADOS JAPU PUNTA Y YAYAMARI EN UN CONTEXTO DE CAMBIO CLIMÁTICO, EN LA CORDILLERA VILCANOTA, DEPARTAMENTO CUSCO - PERÚ

UBICACIÓN DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS

Proyección: Universal Transversal Mercator  
Datum: WGS 1984 UTM - Zona 19 S.r

Elaborado por: Bach. Mauricio Barrientos  
Provincias: Canchis, Quispicanchi  
Distritos: Pitumarca, Marcapata  
Escala: 1:500,000

Fecha: Junio 2022  
Fuente: IGN / ANA / INEI / PROPIA/SENAMHI  
Código: P-02



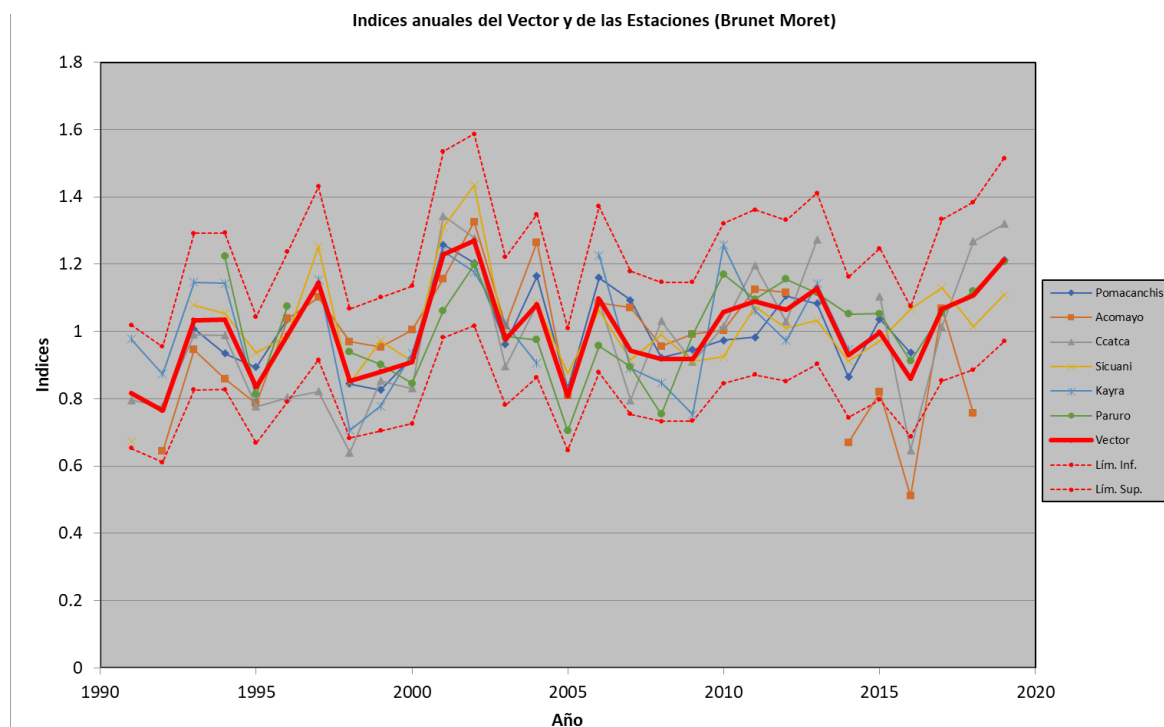
## B. Aplicación del Método Vector Regional

Antes de aplicar cualquier test estadístico es fundamental tener la consistencia de las series hidrometeorológicas. Por lo que se aplicó el Método Vector Regional (MVR) que sirve para la crítica de datos resaltando que este método excluye los datos extremos o anómalos, por otro lado, nos ayuda en la homogenización, es decir, nos indica si las estaciones de trabajo están en la misma zona climática y si presentan un régimen proporcional; finalmente también tiene la función de la completación de datos faltantes de las series hidrometeorológicas.

El MVR consiste en crear una estación ficticia a partir del promedio de todas las estaciones de trabajo, para cada año o mes se calcula un índice que será superior a “1” cuando el año presente valores altos (año excedentario), e inferior a 1 cuando el año presente valores bajos (año deficitario). A este conjunto de índices anuales o mensuales se le denomina Vector Regional, ya que toma como referencia información de una región que es climáticamente homogénea.

**Figura 10**

*Vector regional de las estaciones meteorológicas de trabajo.*





El vector regional fue calculado mediante el software Hydracces, donde dentro de sus módulos presenta la función vector regional que ya viene implementado el modelo matemático listo para el desarrollo de las estaciones de trabajo; el software Hydracces posterior al cálculo del vector también presenta resultados estadísticos donde se puede interpretar la calidad, consistencia y la homogenización de las estaciones meteorológicas.

**Tabla 6**

*Datos estadísticos de las estaciones meteorológicas.*

<b>Id Estación</b>	<b>Media Obs. (mm)</b>	<b>D.E. Desvíos</b>	<b>Correl. /Vector</b>
Pomacanchis	857.9	0.062	<b>0.874</b>
Acomayo	790.2	0.14	<b>0.683</b>
Ccatca	678.3	0.117	<b>0.833</b>
Sicuani	736.9	0.084	<b>0.82</b>
Paruro	849.1	0.091	<b>0.766</b>
Kayra ( <i>Apoyo</i> )	696.6	0.104	<b>0.777</b>

Los parámetros estadísticos más relevantes de las series hidrometeorológicas son la correlación con el vector, considerando que si las estaciones de trabajo pertenecen a una misma zona climática el nivel correlación debe superar un valor de 0.65. En la presente investigación todas las estaciones de trabajo presentan una correlación por encima del límite lo que significa que presentan un régimen proporcional respecto al vector regional.

Otro parámetro es la desviación estándar de los desvíos que compara la desviación de una estación respecto al vector, este parámetro se interpreta que mientras el valor sea más bajo existe más cercanía al vector y caso contrario valores altos significa que se alejan más del vector.



### **C. Aplicación test estadísticos**

Para evaluar el comportamiento de la precipitación y temperatura de las estaciones meteorológicas aledañas a los nevados Japu Punta y Yayamari, serán sometidas a test estadístico con la finalidad de identificar la existencia o no de tendencias en las series hidrometeorológicas. Para el cálculo de tendencia de las estaciones de trabajo se ejecutó en el software libre TREND, los test estadísticos que se emplearon para la tendencia son Mann Kendall (no paramétrica) y Regresión lineal (paramétrico).

#### **3.3.2. Cálculo de la superficie glaciar**

Para determinar la evolución de la superficie glaciar se puede desarrollar mediante dos métodos: Aplicando técnicas de teledetección a través del Índice Normalizado Diferencial de Nieve (NDSI) y la delimitación de glaciares a través del criterio geomorfológico, este último método será empleado en el presente estudio debido a que el primer método (NDSI) sobrestima los resultados. Para dicho método se tomó en cuenta los siguientes pasos:

##### **A. Recopilación de imágenes de satélite**

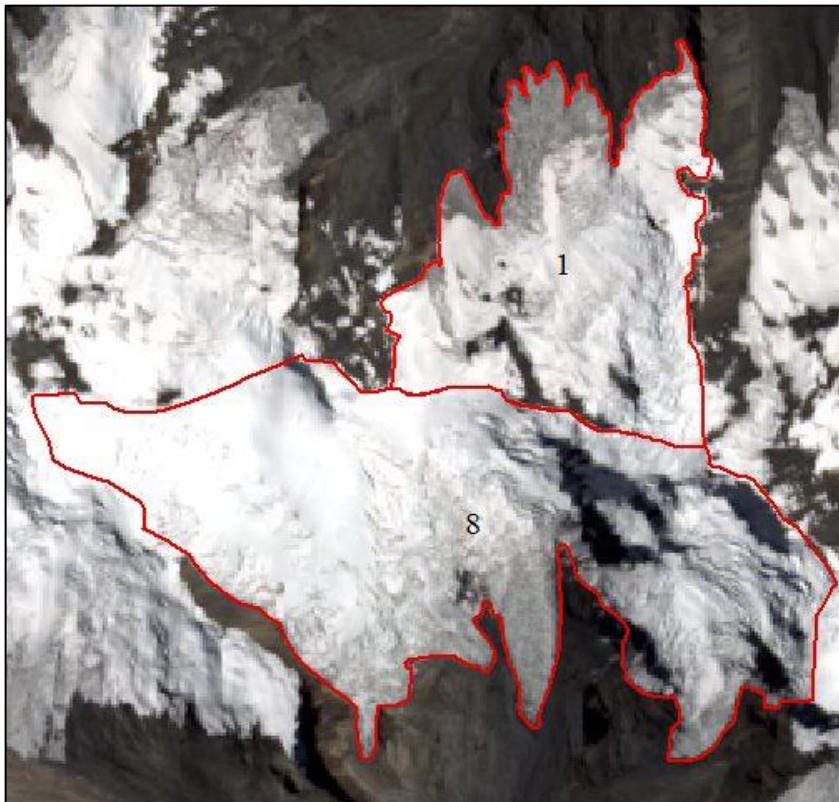
Se trabajó con dos imágenes de satélite Landsat que fueron adquiridas del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), para la descarga de dichas imágenes es fundamental considerar ciertos aspectos técnicos como: el ciclo de acumulación - ablación de la zona de estudio y su entorno climático, esto se refiere a que la fecha ideal de descarga es entre el mes de mayo y septiembre, debido a la poca o nula nubosidad y los escasos eventos de precipitaciones sólidas, este último complica el estudio en glaciares ya que generalmente se suele confundir la superficie nival de la glaciar por lo que conlleva a posibles errores de sobreestimación y delimitación.

## B. Delimitación de la superficie glaciar

Previo a la delimitación de glaciares se hizo el reconocimiento de la geomorfología en el programa Google Earth con una imagen del año 2016, con la finalidad de identificar las partes del glaciar (zona de acumulación, zona de ablación, morrenas laterales o frontales, lengua glaciar), respecto a la delimitación de glaciares se desarrolló con el apoyo del software ArcMap. Se consideró pertinente primero trabajar con la imagen del año 2022 (Landsat 9) debido que presenta una mejor resolución espacial, también dicha imagen se utilizó de soporte para la delimitación de glaciares del año 1992 (Landsat 4) considerando que los contornos laterales y los límites superiores son los mismos, la variación está reflejada mayormente en la zona de ablación y la lengua glaciar.

### Figura 11

*Glaciar 1 y 8 - Nevado Japu Punta (2022)*





Otro factor importante para la delimitación de los glaciares fueron las grietas conocidas como Crevasses, formadas generalmente por la presión de las masas de hielo, estas grietas están orientadas en función de la lengua glaciar y nos indican por dónde va el flujo glaciar. Para la delimitación de glaciares se crearon polígonos con la finalidad de individualizar los glaciares inmersos en los Nevados Japu Punta y Yayamari

### C. Cálculo de la superficie glaciar

Una vez que se digitalizó todos los glaciares en el software ArcMap, se realizó el cálculo de la superficie glaciar con la herramienta *Calculate Geometry* (km<sup>2</sup>) desde la misma Tabla de Atributos de cada glaciar.

#### 3.3.3. Estimación de las ELAs – Método AABR (Omaston - 2005)

Para el cálculo de la altitud de la línea de equilibrio (ELA) para los nevados Japu Punta y Yayamari se basó en el método AABR propuesto por Omaston (2005) que consta de 2 hojas de cálculo Excel. Previo a la ejecución de dicha metodología es importante adquirir los siguientes datos para cada glaciar dentro del entorno ArcMap:

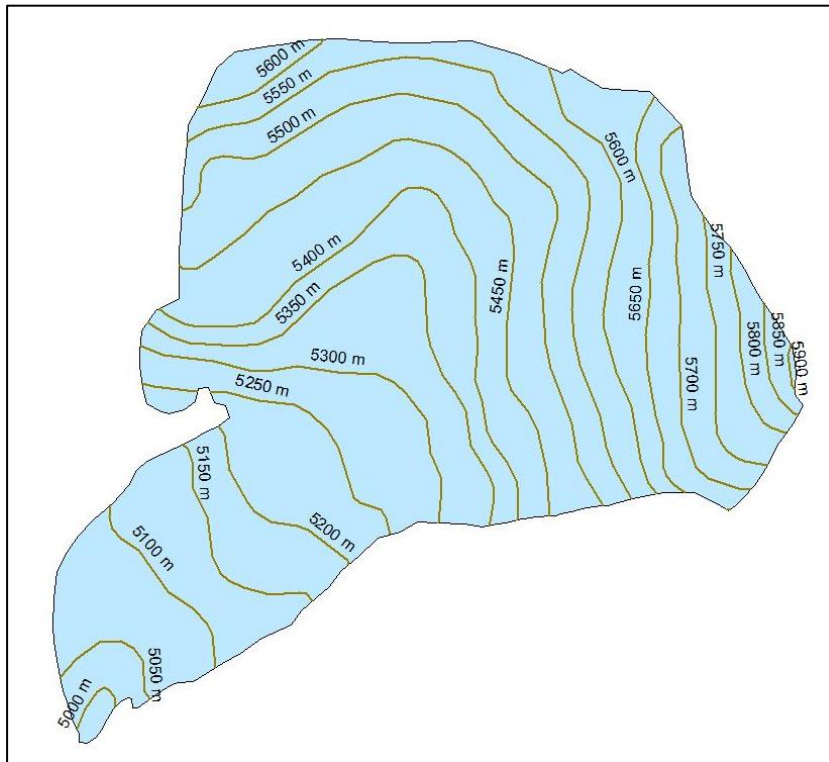
- Altitud máxima
- Altitud mínima
- Área del intervalo altitudinal

Para obtener dicha información primero se generaron curvas de nivel cada 50 metros para la zona de estudio con el apoyo del software Global Mapper a partir del Modelo de Elevación Digital ASTER GDEM, después en *Geoprocessing* con la herramienta *Intersect* se hizo la intersección de los glaciares delimitados con las curvas de nivel, por lo tanto, cada glaciar queda dividido en un número determinado de bandas altitudinales donde cada banda tiene una altitud máxima y mínima.

Posteriormente se generó polígonos de los intervalos altitudinales para todos glaciares con la finalidad de extraer el área del intervalo ( $m^2$ ).

**Figura 12**

*Reconstrucción de la ELA, Glaciar 9, Nevado Yayamari (2022)*



Una vez extraída la data, ya se puede obtener el valor de la ELA en base a la metodología propuesta por Omaston (2005). Para explicar el funcionamiento de las hojas de cálculo se desarrolló como ejemplo un glaciar en específico (Glaciar 9, Nevado Yayamari - 2022).



Tabla 7

Hoja de cálculo 1 Omaston (2005) programada para calcular el valor de la ELA 2022 para el glaciar 9 (Nevado Yayamari).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
	GLACIAR	e (m)2	Z minima	Z maxima	Z media	Área	Z X A	Balance Ratio (BR)	ELA trial contour (1)	Belt area x Alt above trial contour	Area x Alt x Balance Ratio for contour(1)	ELA trial contour (2)	Belt area x Alt above trial contour (2)	Area x Alt x Balance Ratio for contour(2)
4	Glaciar 9 (2022)	50	5000	5000	5000	8110	40551623	3	5300	-2433097.403	-7299292.208	5350	-2838613.636	-8515840.909
5			5000	5050	5025	29375	147610606			-8078192.341	-24234577.02		-9546954.585	-28640863.76
6			5050	5100	5075	112448	570674819			-25300854.04	-75902562.11		-30923266.05	-92769798.14
7			5100	5150	5125	106859	547653331			-18700357.63	-56101072.89		-24043316.95	-72129950.86
8			5150	5200	5175	80475	416457093			-10059350.08	-30178050.24		-14083090.11	-42249270.34
9			5200	5250	5225	111780	584049684			-8383488.283	-25150464.85		-13972480.47	-41917441.41
10			5250	5300	5275	131801	695249821			-3295022.85	-9885068.551		-9885068.551	-29655205.65
11			5300	5350	5325	162280	864139691			4056993.856	4056993.856		-4056993.856	-12170981.57
12			5350	5400	5375	136074	731396083			10205526.74	10205526.74		3401842.245	3401842.245
13			5400	5450	5425	232100	1259144341			29012542.42	29012542.42		17407525.45	17407525.45
14			5450	5500	5475	229852	1258440317			40224119.74	40224119.74		28731514.1	28731514.1
15			5500	5550	5525	181434	1002420421			40822551.09	40822551.09		31750873.07	31750873.07
16			5550	5600	5575	162278	904698797			44626398.07	44626398.07		36512507.52	36512507.52
17			5600	5650	5625	131252	738294191			42656997.72	42656997.72		36094382.68	36094382.68
18			5650	5700	5675	80336	455904483			30125846.88	30125846.88		26109067.29	26109067.29
19			5700	5750	5725	79035	452474336			33589797.88	33589797.88		29638056.95	29638056.95
20			5750	5800	5775	50776	293229263			24118424.21	24118424.21		21579642.72	21579642.72
21			5800	5850	5825	28983	168824115			15215907.37	15215907.37		13766773.33	13766773.33
22			5850	5900	5875	13239	77777991			7612314.034	7612314.034		6950373.683	6950373.683
23	<b>SUMA TOTAL</b>					2068486	11208991007			246017057.4	93516332.13		142592774.8	-76106793.59
24	<b>RESULTADOS</b>													
25	ELA AA (equivalente a la ELA AABR para BR = 1,0) ..... 5419													
26	VERDADERO (la hoja de calculo devuelve el resultado "VERDADERO" si funciona correctamente o "FALSO" si se ha cometido algun error)													
27	ELA AABR para otros valores de BR (interpolada entre las curvas de nivel) ..... 5327													
28														
29	ELAs AABR del glaciar para los diferentes valores de BR													
30						BR = 1.0	BR = 1.5	BR = 2.0	BR = 2.5	BR = 3.0				
31						5418	5385	5361	5342	5327				
32														



### A. Funcionamiento de la hoja de cálculo 1

La información observada en la hoja de cálculo 1, las columnas C, D y F se obtuvieron del entorno ArcMap, por otro lado, la celda B5 es la equidistancia entre las curvas de nivel que en este caso se trabajó con 50 metros; la columna E es la media entre la altitud máxima y mínima, por su parte, la columna G es el producto de la altitud media y el área del intervalo altitudinal.

La celda H5 es el balance ratio (BR) sirve para ajustar la pendiente de acuerdo a las características geomorfológicas de un glaciar. Omaston (2005) considera pertinente trabajar con los valores 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 y 3.0 ya que muchos autores han usado valores que están dentro de este rango. No obstante, la utilización de diferentes valores de BR y criterios de selección estadística siguiendo el procedimiento propuesto por Osmaston (2005) elimina la subjetividad que implica la utilización de un único valor de BR, cuya selección se encuentra sujeta irremediablemente a la subjetividad y la experiencia parcial del investigador (Ubeda, 2011).

Después se aplicó la fórmula desarrollada por Sissons (1974, 1980) denominado el Método AA:

$$ELA = \frac{\sum Z \cdot A}{\sum A}$$

El resultado de dicha fórmula se encuentra en la celda G27, posteriormente se completa la celda I5 que es la curva de nivel que se encuentra debajo del valor de la celda G27. La columna J es el producto del área del intervalo (F) por el desnivel entre la altitud media (E) y la curva “ELA trial contour (1)” (I), este procedimiento se repite para toda la columna. Respecto a la columna K “Area x Alt x Balance Ratio for contour (1)” esta columna mantiene su mismo valor si es positivo, si es negativo se multiplica por el balance de ratio (BR) que es la celda H5, posteriormente para obtener la celda L5 se suma la equidistancia con la curva “ELA trial contour (1)”, a partir de la columna M en adelante el procedimiento es el mismo.





Para corroborar el correcto funcionamiento de la hoja de cálculo Omaston (2005) menciona que el resultado del método AA debe ser igual al resultado con el BR=1. Después se procedió a calcular el valor de la ELA para cada BR (1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0). Todos los valores obtenidos de cada BR para cada glaciar son tabulados para la hoja de cálculo 2.

### **B. Funcionamiento de la hoja de cálculo 2**

Las ELAs obtenidas de la hoja de cálculo 1 se tabulan en columnas conjuntamente con el valor de cada BR empleado en la ponderación de los cálculos, por otro lado, se obtiene los promedios y las desviaciones estándares de cada serie. Finalmente se elige el promedio de las ELAs que presente el valor más bajo de la desviación estándar, considerando que es el más probable (Osmaston, 2005). La hoja de cálculo 2 se presenta en el capítulo IV (Resultados).

#### **3.3.4. Cálculo de la tasa de deglaciación**

La tasa de deglaciación nos indica a qué velocidad están retrocediendo los glaciares, para el cálculo de este parámetro será en función de la variación de la superficie glaciar y la altitud de la línea de equilibrio de los nevados Japu Punta y Yayamari, las ecuaciones que se emplearon en la presente investigación fueron propuestas y validadas por Úbeda (2011) en su investigación sobre el nevado Coropuna (departamento Arequipa), las ecuaciones planteadas son las siguientes:

$$TdS = \Delta S/R$$



Donde:

TdS: la tasa de deglaciación ( $\text{km}^2/\text{año}$ )

$\Delta S$ : cambio en la superficie glaciar ( $\text{km}^2$ )

R: período estudiado (años)

$$TdELA = \Delta ELA/R$$

Donde:

TdELA: la tasa de desglaciación (m/año)

$\Delta ELA$ : cambio de la ELA (m/año)

R: período estudiado (años)



## CAPITULO IV: RESULTADOS

En el presente capítulo se muestran los resultados de la evaluación del comportamiento histórico de las series temporales de temperatura y precipitación mediante el análisis de tendencias de las estaciones meteorológicas cercanas a los nevados Japu Punta y Yayamari, donde se utilizó la data registrada por el SENAMHI, la cual fue sometida a un análisis de consistencia mediante el método Vector Regional con la finalidad de evaluar, corregir y completar los datos de las series hidrometeorológicas, posteriormente se aplicó los test estadísticos: Mann Kendall y Regresión lineal.

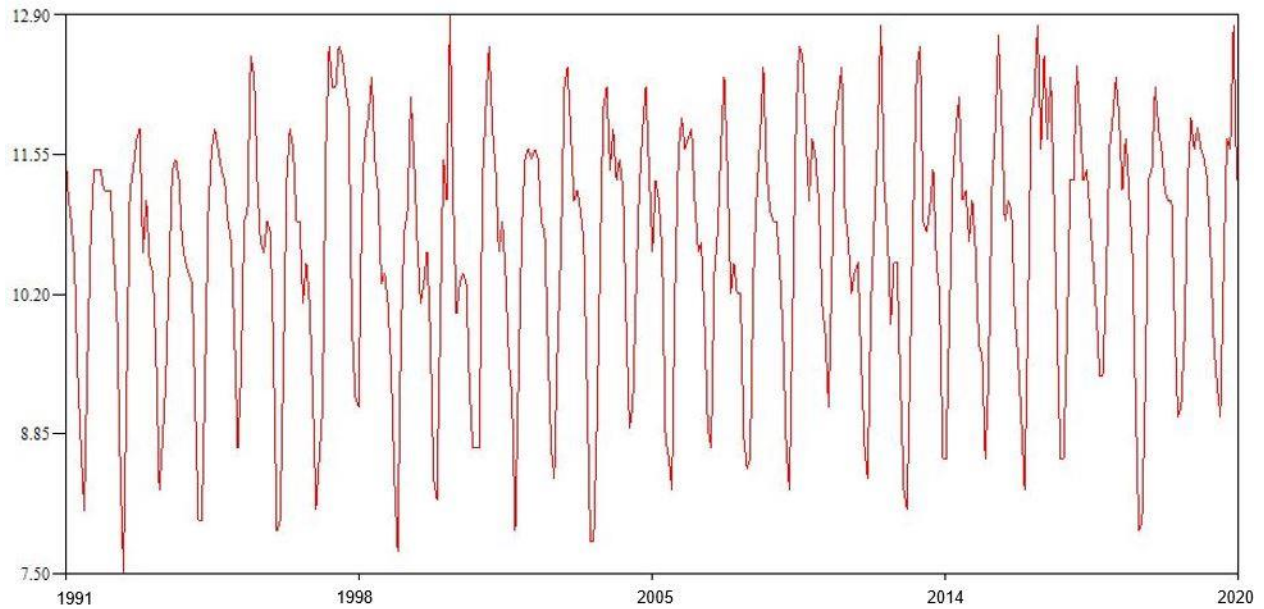
Referido al estudio de glaciares se trabajó con imágenes de satélite Landsat donde se calculó la superficie glaciar y la altitud de la línea de equilibrio de los nevados Japu Punta y Yayamari.

### **4.1. Comportamiento histórico de las series de temperatura**

Para la evaluación del comportamiento histórico de las series de temperatura de las estaciones meteorológicas próximas a los nevados Japu Punta y Yayamari, se realizó el análisis de tendencias donde se consideró la temperatura media mensual, el periodo de trabajo empleado fue del año 1991 al 2020 para las siguientes estaciones:

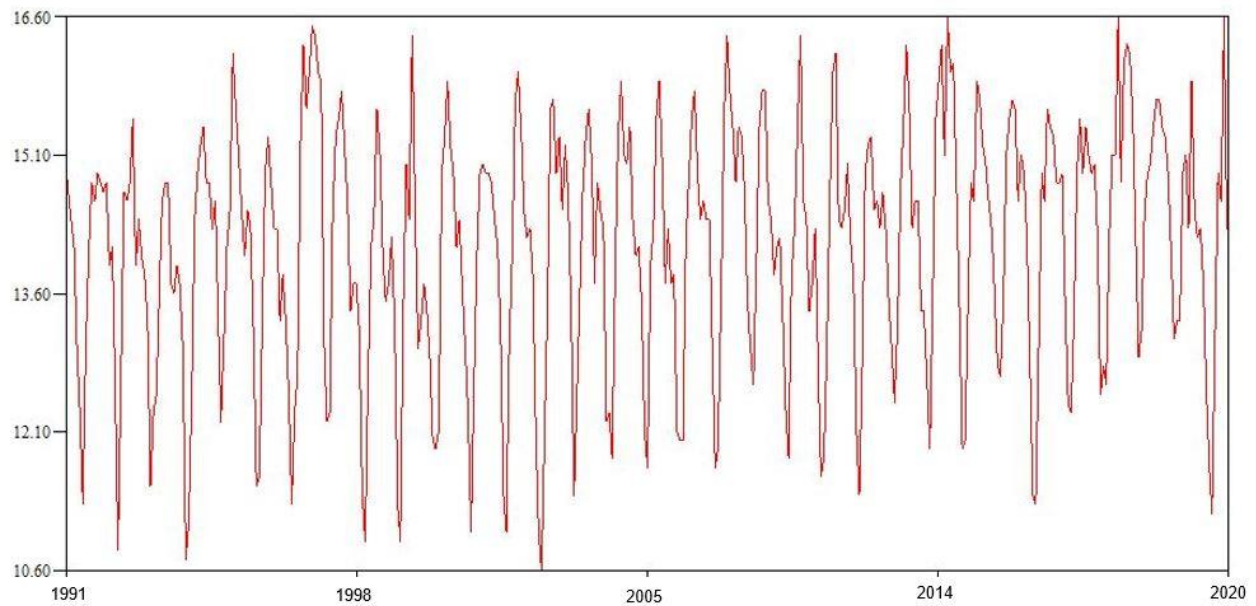
**Figura 13**

*Estación Pomacanchis, series de temperatura media mensual.*



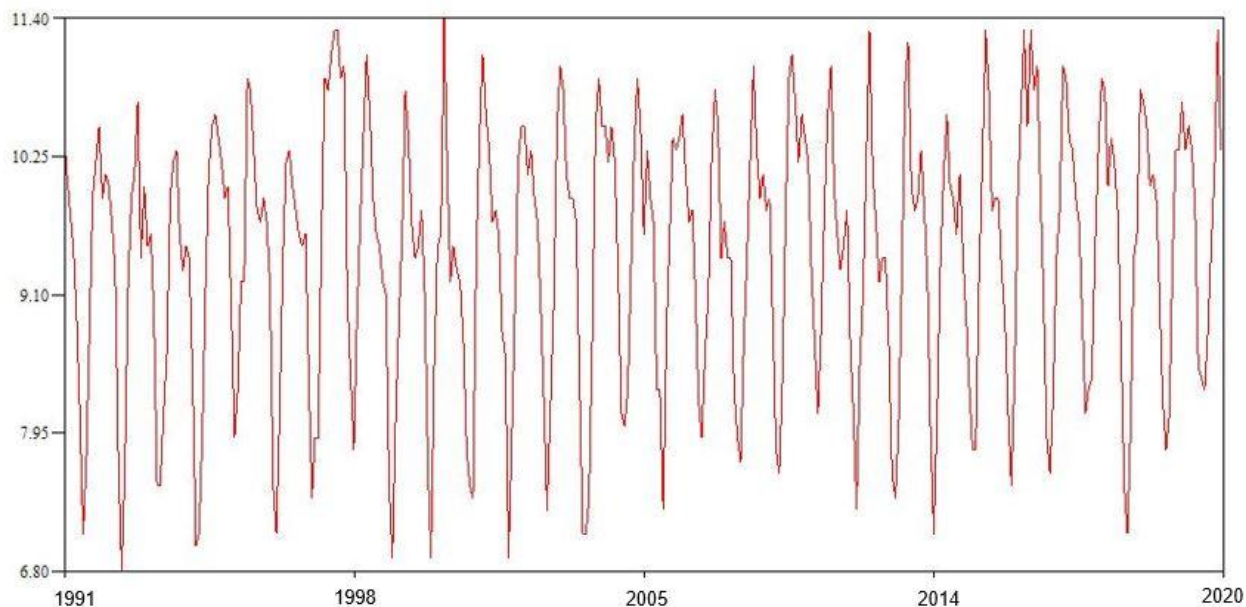
**Figura 14**

*Estación Acomayo, series de temperatura media mensual.*



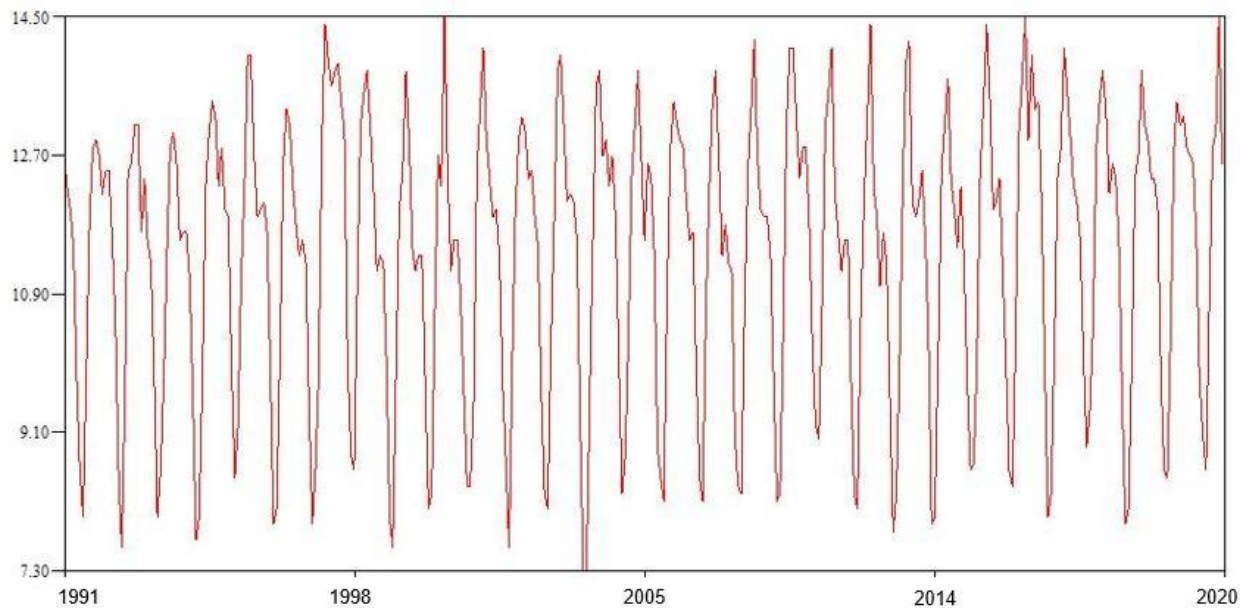
**Figura 15**

*Estación Ccatca, series de temperatura media mensual.*



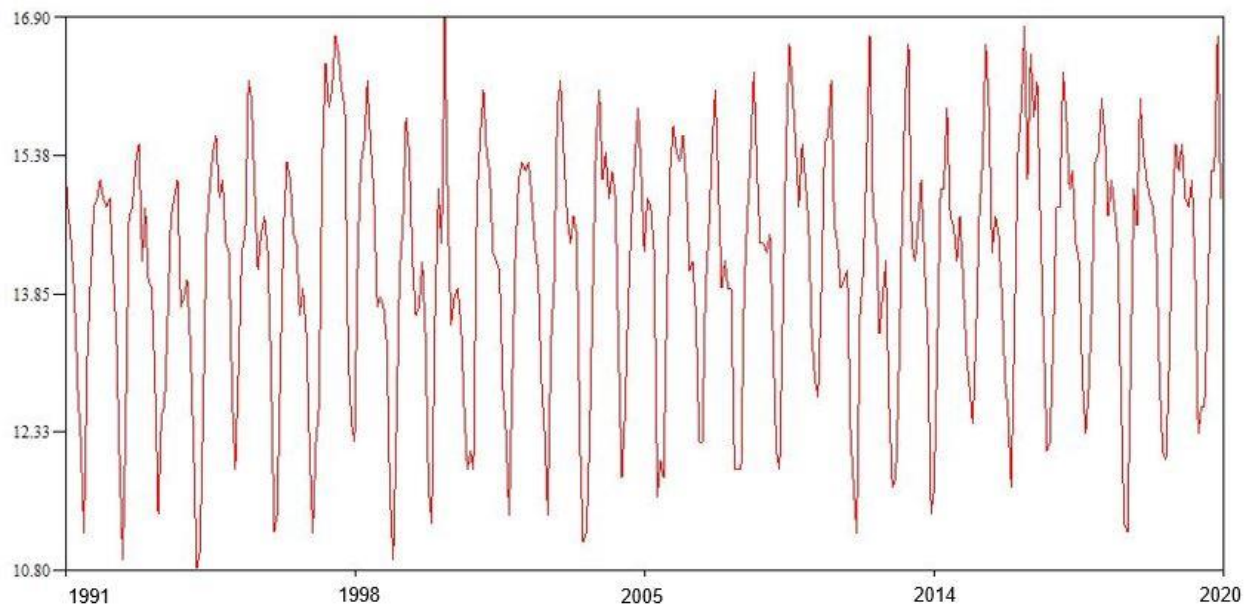
**Figura 16**

*Estación Sicuani, series de temperatura media mensual.*



**Figura 17**

*Estación Paruro, series de temperatura media mensual*



En el cálculo de tendencias de las series de temperatura media mensual se demostró que 3 de las 5 estaciones meteorológicas muestran una tendencia positiva significativa lo que representa un aumento progresivo de la temperatura en el tiempo. Según la tabla 8 se puede interpretar que la estación Acomayo presenta una tendencia positiva con un nivel de significancia del 99%, por otro lado, las estaciones Paruro y Pomacanchis también presentan una tendencia positiva con un nivel de significancia del 90%. Por su parte las estaciones Ccatca y Sicuani no se evidenció la presencia de tendencias significativas (véase la Tabla 8).

**Tabla 8**

*Análisis de tendencia de la temperatura media*

Test estadístico		Pomacanchis	Acomayo	Ccatca	Sicuani	Paruro
Tendencia	Mann -	<b>+S</b>	<b>+S</b>	NS	NS	<b>+S</b>
	Kendall	<b>(0.1)</b>	<b>(0.01)</b>			<b>(0.1)</b>
	Regresión	<b>+S</b>	<b>+S</b>	NS	NS	<b>+S</b>
	Lineal	<b>(0.1)</b>	<b>(0.01)</b>			<b>(0.1)</b>

(+): Tendencia positiva

(-): Tendencia negativa

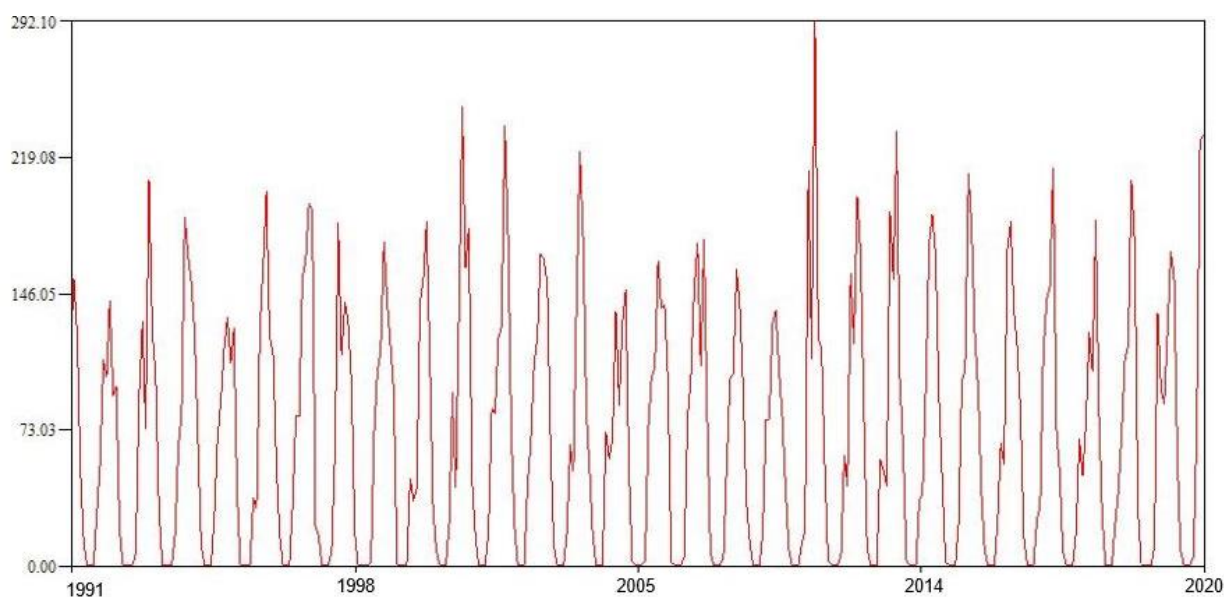
(NS): No significativo

#### 4.2. Comportamiento histórico de las series de precipitación

En este caso, el comportamiento histórico de las series de precipitación también se consideró el periodo de estudio 1991 – 2020, el parámetro de evaluación para el análisis de tendencias es la precipitación acumulada mensual de las siguientes estaciones:

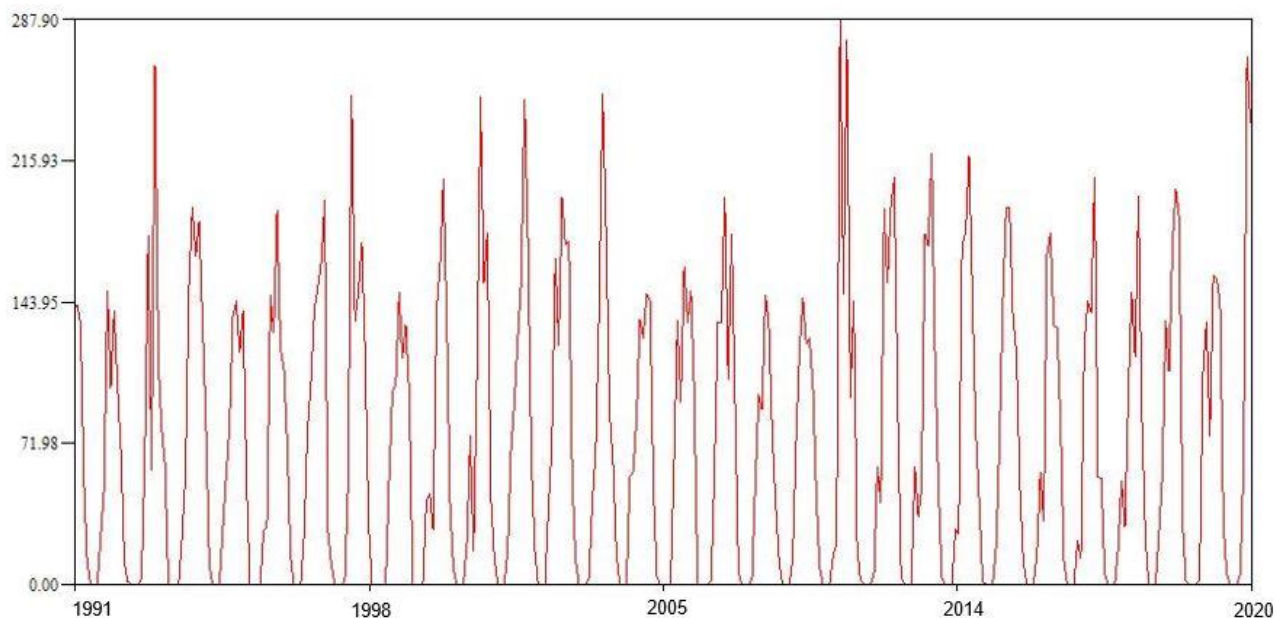
**Figura 18**

*Estación Pomacanchis, series de precipitación acumulada mensual*



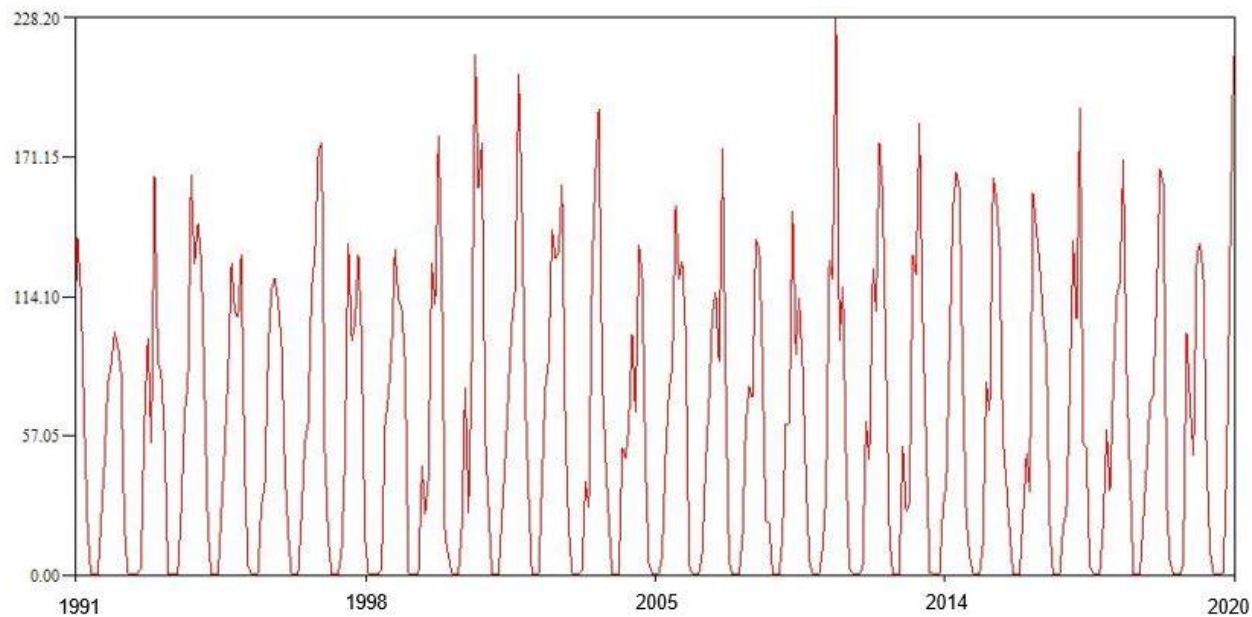
**Figura 19**

*Estación Acomayo, series de precipitación acumulada mensual.*



**Figura 20**

*Estación Ccatca, series de precipitación acumulada mensual.*

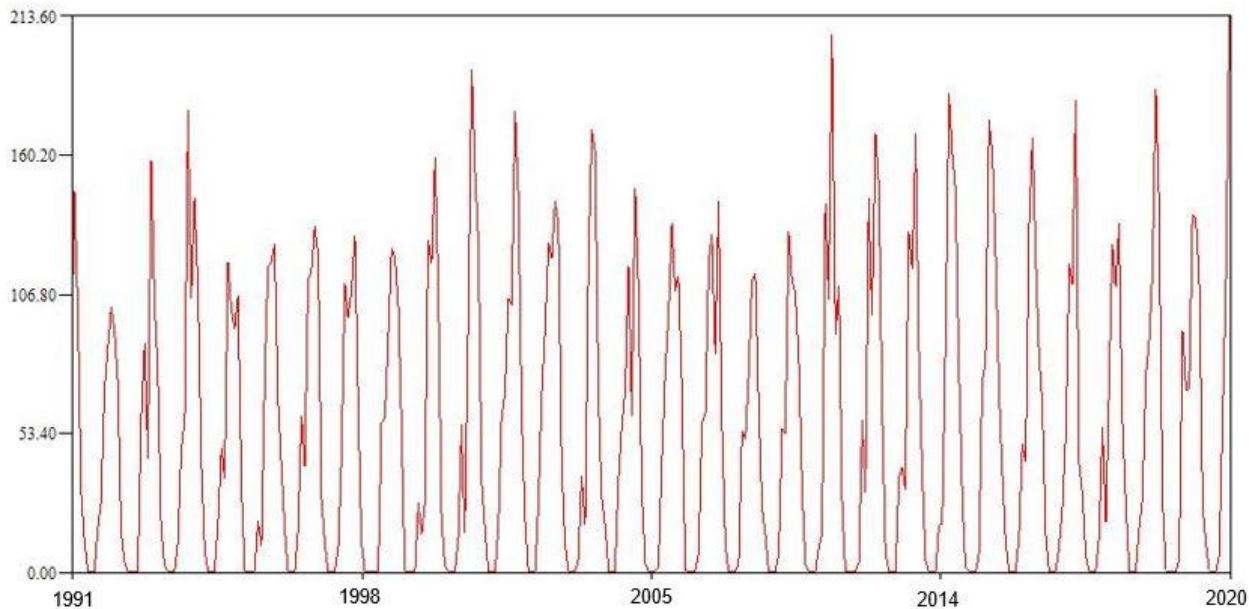






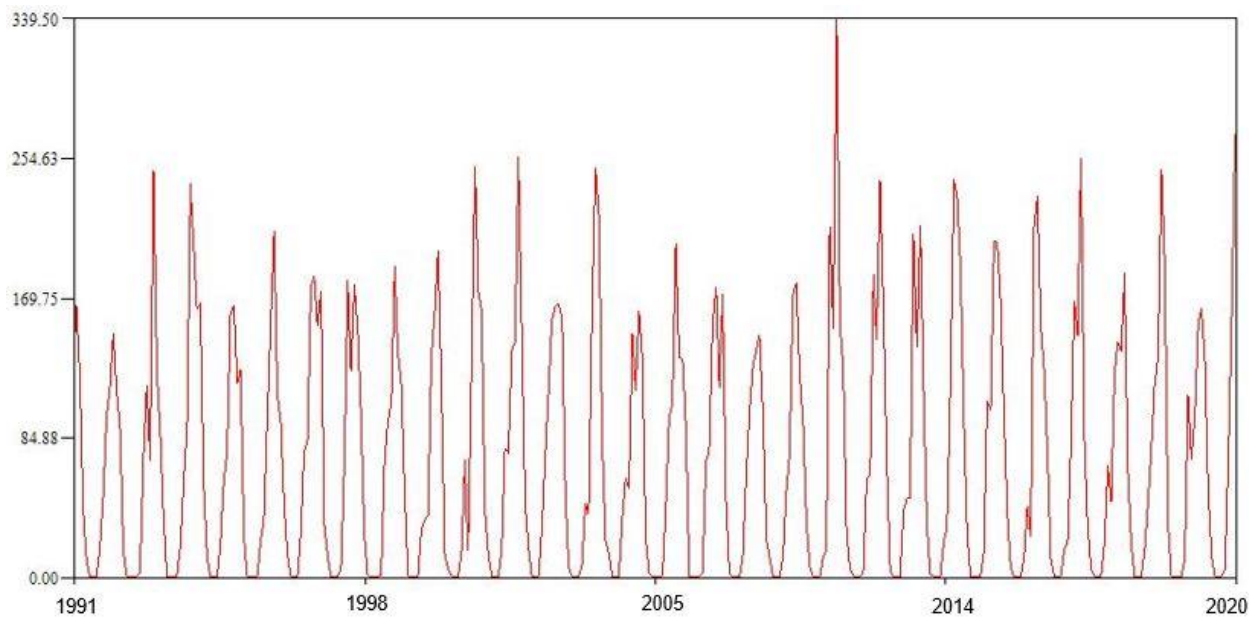
**Figura 21**

*Estación Sicuani, series de precipitación acumulada mensual*



**Figura 22**

*Estación Paruro, series de precipitación acumulada mensual*





Tal como se observa en la Tabla 9 se puede identificar que no existe ningún tipo de tendencia ya sea positiva ni negativa en ninguna de las estaciones de trabajo, esto se puede interpretar que existen años húmedos y años con déficit de precipitación, mas no un cambio progresivo en los niveles de precipitación en las estaciones meteorológicas cercanas a los nevados Japu Punta y Yayamari.

**Tabla 9**

*Análisis de tendencia de la precipitación acumulada.*

Test estadístico		Pomacanchis	Acomayo	Ccatca	Sicuni	Paruro
Tendencia	Mann -	NS	NS	NS	NS	NS
	Kendall					
	Regresión	NS	NS	NS	NS	NS
	Lineal					

(+): Tendencia positiva

(-): Tendencia negativa

(NS): No significativo

#### **4.3. Evolución de la superficie glaciar de los nevados Japu punta y Yayamari**

Para evaluar el comportamiento de los glaciares de los nevados Japu Punta y Yayamari se tomó en cuenta la superficie glaciar y la altitud de la línea de equilibrio, estos parámetros glaciológicos o también denominados geo-indicadores responden a las variaciones, cambios y fluctuaciones del clima ya sea de manera natural o antrópica en un determinado periodo de tiempo.



Para obtener la evolución de la superficie glaciar se aplicó el criterio geomorfológico basándose en las partes del glaciar; se identificaron y delimitaron 11 glaciares inmersos en los nevados Japu Punta y Yayamari.

Tal como se observa en la Tabla 10 para el año 1992 se obtuvo una superficie glaciar total de 27.50 km<sup>2</sup>, por otro lado, en la Tabla 11 indica que para el año 2022 se obtuvo una superficie glaciar total de 22.49 km<sup>2</sup>.

**Tabla 10**

*Superficie glaciar para el año 1992*

Superficie glaciar 1992		
Nevado	Glaciar	Área (Km <sup>2</sup> )
Japu Punta	Glaciar 1	3.17
	Glaciar 2	2.08
	Glaciar 8	5.69
Yayamari	Glaciar 3	4.18
	Glaciar 4	1.32
	Glaciar 5	1.73
	Glaciar 6	0.73
	Glaciar 7	3.59
	Glaciar 9	2.30
	Glaciar 10	1.43
	Glaciar 11	1.29
<b>Superficie total</b>		<b>27.50</b>

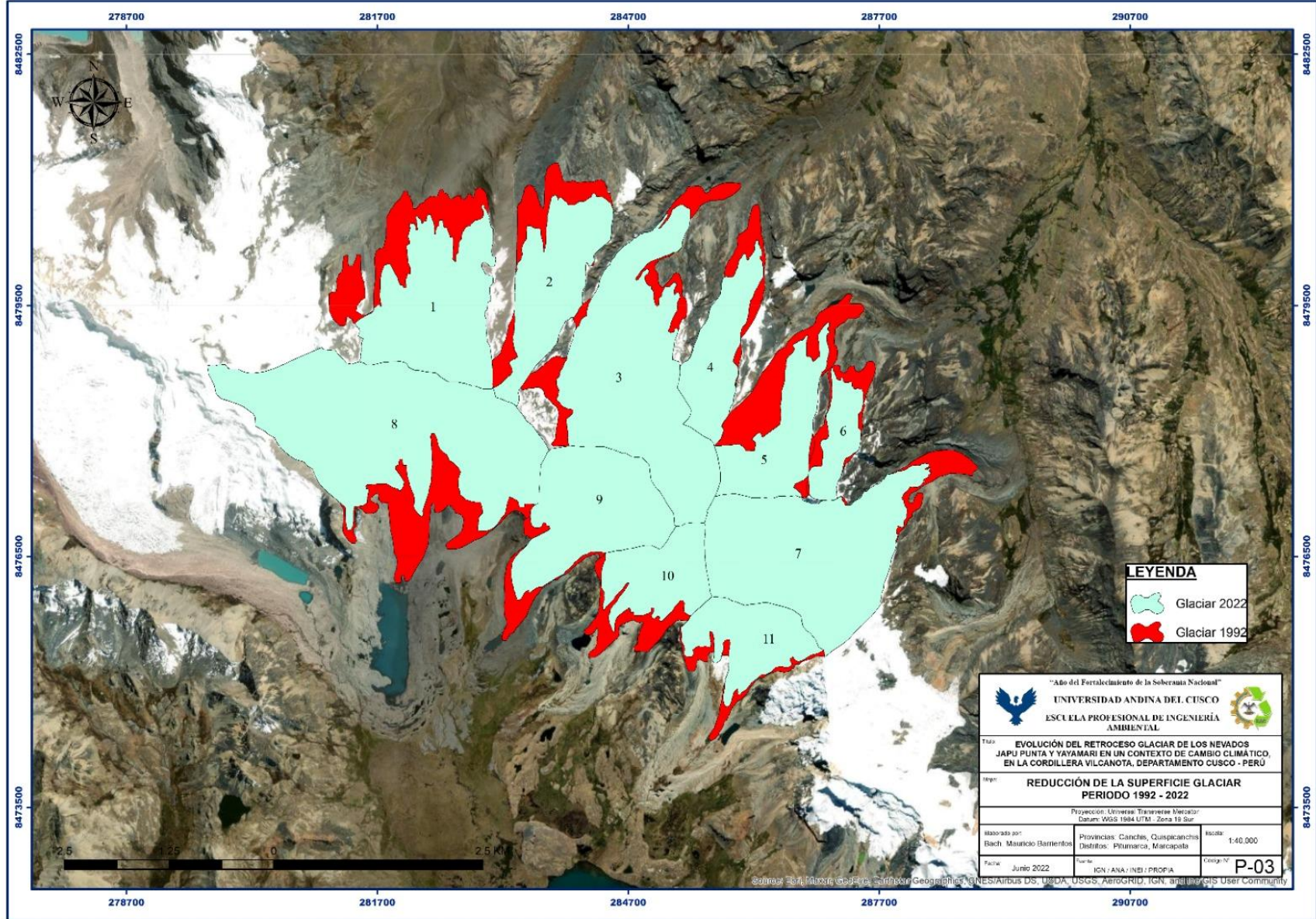


**Tabla 11**

*Superficie glaciar para el año 2022*

<b>Superficie glaciar 2022</b>		
<b>Nevado</b>	<b>Glaciar</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>
Japu Punta	Glaciar 1	2.29
	Glaciar 2	1.53
	Glaciar 8	4.74
Yayamari	Glaciar 3	3.64
	Glaciar 4	1.08
	Glaciar 5	1.10
	Glaciar 6	0.52
	Glaciar 7	3.34
	Glaciar 9	2.07
	Glaciar 10	1.07
	Glaciar 11	1.11
<b>Superficie total</b>		<b>22.49</b>

Los resultados reflejan que en un periodo de 30 años la superficie glaciar de los nevados Japu Punta y Yayamari redujo 5.01 km<sup>2</sup> aproximadamente, lo cual representa una pérdida del 18% de su área inicial.





#### 4.4. Variación de la altitud de la línea de equilibrio (ELA)

Para obtener la Altitud de la Línea de Equilibrio (ELA) para los nevados Japu Punta y Yayamari se aplicó la metodología propuesta por Omaston (2005), que consiste en un modelo estadístico que se basa en la hipsometría y las superficies de un glaciar. Se calculó las ELAs para los 11 glaciares delimitados para cada balance de ratio (BR), sin embargo, según la propuesta Omaston (2005) menciona que se elige la ELA con menor desviación estándar, ya que considera que es el más probable en un grupo de glaciares. Tal como se observa en la Tabla 12 para el año 1992 el valor de la ELA para el sistema glaciar Japu Punta - Yayamari se encuentra a 5234 m.s.n.m considerando que presenta la menor desviación estándar.

**Tabla 12**

*Resultados de la ELA AABR para el año 1992 para los nevados Japu Punta y Yayamari.*

<b>Estimación del valor de la ELA más probable para el grupo homogéneo de glaciares (1992)</b>					
<b>Nevado Japu Punta</b>	<b>BR = 1.0</b>	<b>BR = 1.5</b>	<b>BR = 2.0</b>	<b>BR = 2.5</b>	<b>BR = 3.0</b>
Glaciar 1	5185	5159	5141	5127	5116
Glaciar 2	5160	5133	5115	5102	5091
Glaciar 8	5305	5274	5251	5233	5219
<b>Nevado Yayamari</b>	<b>BR = 1.0</b>	<b>BR = 1.5</b>	<b>BR = 2.0</b>	<b>BR = 2.5</b>	<b>BR = 3.0</b>
Glaciar 3	5355	5305	5269	5241	5217
Glaciar 4	5325	5278	5245	5219	5199
Glaciar 5	5401	5357	5326	5302	5283
Glaciar 6	5290	5264	5245	5230	5218
Glaciar 7	5416	5369	5332	5303	5277
Glaciar 9	5384	5347	5320	5300	5283
Glaciar 10	5421	5385	5361	5343	5328
Glaciar 11	5426	5395	5374	5358	5346
<b>Promedio</b>	5333	5297	5271	5251	<b>5234</b>
<b>Desviación estándar</b>	92	88	84	82	<b>80</b>



Respecto a la Tabla 13 indica que para el año 2022 el valor de la ELA del sistema glaciar Japu Punta – Yayamari se encuentra a 5293 m.s.n.m debido a que presenta la menor desviación estándar.

**Tabla 13**

*Resultados de la ELA AABR para el año 2022 para los nevados Japu Punta y Yayamari.*

<b>Estimación del valor de la ELA más probable para el grupo homogéneo de glaciares (2022)</b>					
<b>Nevado Japu Punta</b>	<b>BR = 1.0</b>	<b>BR = 1.5</b>	<b>BR = 2.0</b>	<b>BR = 2.5</b>	<b>BR = 3.0</b>
Glaciar 1	5241	5219	5204	5193	5183
Glaciar 2	5183	5160	5146	5134	5125
Glaciar 8	5356	5331	5313	5300	5288
<b>Nevado Yayamari</b>	<b>BR = 1.0</b>	<b>BR = 1.5</b>	<b>BR = 2.0</b>	<b>BR = 2.5</b>	<b>BR = 3.0</b>
Glaciar 3	5387	5340	5307	5281	5260
Glaciar 4	5396	5355	5325	5303	5284
Glaciar 5	5456	5418	5391	5370	5354
Glaciar 6	5324	5305	5291	5280	5272
Glaciar 7	5463	5426	5399	5376	5357
Glaciar 9	5418	5385	5361	5342	5327
Glaciar 10	5490	5456	5433	5416	5402
Glaciar 11	5449	5421	5402	5387	5374
<b>Promedio</b>	5378	5347	5325	5307	<b>5293</b>
<b>Desviación estándar</b>	96	91	88	85	<b>83</b>

Los resultados presentados reflejan que en un periodo de 30 años el valor de la ELA ascendió aproximadamente 59 metros de altitud lo que representa que los glaciares de los Nevados Japu Punta y Yayamari presentan un balance de masa negativo.



#### 4.5. Tasa de deglaciación

Para determinar la tasa de deglaciación en base a la variación de la superficie glaciár y la ELA se tomó en cuenta un periodo de tiempo de 30 años. Tal como se observa en la Tabla 14, se calculó una tasa de deglaciación para la superficie glaciár de 0.167 km<sup>2</sup>/año, respecto a la tasa de deglaciación de la ELA se obtuvo un valor de 1.967 metros/año.

**Tabla 14**

*Tasa de deglaciación para los nevados Japu Punta y Yayamari.*

<b>Periodo</b>	<b>R (años)</b>	<b>TdS (km<sup>2</sup>/año)</b>	<b>TdELA (m/año)</b>
1992 - 2022	30	0.167	1.967





## CAPITULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Según los hallazgos encontrados en la presente investigación, se acepta la hipótesis general que expresa que los Nevados Japu Punta y Yayamari se encuentran en un retroceso glaciar constante, lo cual fue corroborado a través de la evaluación parámetros glaciológicos o geo-indicadores como la superficie glaciar y la altitud de la línea de equilibrio.

Por otro lado, se plantearon dos hipótesis específicas sobre comportamiento histórico de las series de temperatura y precipitación de las estaciones meteorológicas cercanas a los nevados Japu Punta y Yayamari, respecto a la primera hipótesis específica sobre las series de temperatura se rechaza la hipótesis nula y se aprueba la hipótesis alternativa para las estaciones meteorológicas Acomayo, Paruro y Pomacanchis debido a que presentan una tendencia positiva con un nivel de significancia aceptable, pero para el caso de las estaciones meteorológicas Ccatca y Sicuani se acepta la hipótesis nula debido a que no presentan una tendencia positiva significativa. Respecto a las series de precipitación se acepta la hipótesis nula considerando que no existe ningún tipo de tendencia ya sea negativa o positiva por parte de todas las estaciones meteorológicas.

Por el enfoque de la investigación se tomó en cuenta el trabajo de maestría realizado por Ramos (2018) en el cual realiza un estudio del entorno climático del nevado Coropuna, según los resultados planteados en su investigación se puede evidenciar que la mayoría de estaciones meteorológicas (departamento Arequipa) presentan una tendencia positiva en las series de temperatura. Por su parte, las series de precipitación no presentan ningún tipo de tendencia definidas. En ese sentido se verifica una gran similitud sobre las tendencias identificadas en las estaciones de trabajo por parte de ambos estudios, pero cabe resaltar que la evidencia del



aumento de temperatura (tendencia positiva) está condicionada por muchos factores que a la fecha siguen en estudio, resaltando la excesiva emisión de gases de efecto invernadero provocado principalmente en nuestra región por el parque automotor, ladrilleras e incendios forestales. Otros factores que influyen en el ascenso de temperatura es el cambio de uso de suelo, deforestación, urbanización, es decir, cualquier actividad que degrade y altere el ciclo natural de los ecosistemas será factor de cambio en contra del clima.

Para el estudio de los nevados Japu Punta y Yayamari se considera pertinente realizar la comparación de resultados con las investigaciones de Úbeda (2011) sobre el nevado Coropuna y Quiroz (2013) sobre los nevados Pariaqaqa y Chollquepucro debido a que emplearon una similar metodología de trabajo tanto para el cálculo de la superficie glaciar como la altitud de la línea de equilibrio (ELA).

El método empleado para el cálculo de la superficie glaciar fue a través del criterio geomorfológico que consiste en delimitar el glaciar basado en las partes de un glaciar (zona de acumulación y ablación, lengua glaciar, crevasses y formación de morrenas).

En ese enfoque de trabajo en la presente investigación se obtuvo una superficie glaciar para los nevados Japu Punta y Yayamari de 27.50 km<sup>2</sup> para el año 1992 y para el año 2022 se obtuvo una superficie glaciar de 22.49 km<sup>2</sup>, lo cual indica una reducción de 5.01 km<sup>2</sup> en un periodo de 30 años, en el caso de la investigación realizada por Úbeda (2011) según los resultados obtenidos se evidencia una superficie glaciar para el nevado Coropuna de 56.14 km<sup>2</sup>, 54.09 km<sup>2</sup> y 46.59 km<sup>2</sup> para los años 1955, 1986 y 2007 respectivamente, lo que resalta una pérdida de superficie glaciar de 9.55 km<sup>2</sup> en un periodo de 52 años. Por su parte Quiroz (2013) obtuvo una reducción de la superficie glaciar de 18.14 km<sup>2</sup> desde la Pequeña edad de hielo (PEH) hasta el año 2010 para los nevados Pariaqaqa y Chollquepucro.



Se considera relevante también comparar los resultados de la superficie glaciar que fueron calculados mediante otro método que consiste en aplicar técnicas de teledetección conocido como el Índice Normalizado Diferencial de Nieve (NDSI), autores como Veetil y Zouza (2017) a través de dicho método obtuvieron para un grupo de nevados en el norte de la Cordillera Vilcanota (Sinaqara, Wilaquta, Qullqipunku, Minasniyuq y Anka Wachana) una reducción de 23.1 km<sup>2</sup> de superficie glaciar en un periodo de tiempo de 40 años (1975 – 2015). Por su parte Bolívar (2018) a través del mismo método obtuvo una reducción de 10.1 km<sup>2</sup> de la superficie glaciar en el nevado Ausangate en un periodo de 30 años (1986-2016).

Según los resultados presentados por ambas metodologías se evidencia una sobreestimación de resultados de la superficie glaciar por parte del método basado en técnicas de teledetección (NDSI), haciendo la comparación se evidencia grandes diferencias en los valores presentados, considerando que Úbeda (2011) determinó que el Nevado Coropuna perdió el 17% del área inicial en un tiempo de 52 años, mientras que Veetil y Zouza (2017) mediante teledetección (NDSI) determino para su zona de estudio una pérdida del 52.2% del área inicial en un tiempo de 40 años. El caso es el mismo para el presente estudio ya que los nevados Japu Punta y Yayamari en un tiempo de 30 años la superficie glaciar se redujo en un 18% de su área inicial, pero mediante el otro método (NDSI) Bolívar (2018) determino para el nevado Ausangate presenta una reducción del 34.4% de su área inicial en el mismo periodo de tiempo que es 30 años, por lo tanto, cabe resaltar que existe una diferencia notable entre los resultados presentados por ambas metodologías de trabajo.



Respecto al cálculo de la altitud de la línea de equilibrio (ELA), se empleó a través del método AABR propuesto por Omaston (2005), en esta investigación obtuvo un valor de la ELA de 5234 msnm para el año 1992, y para el año 2022 se obtuvo un valor de 5293 msnm lo cual representa un ascenso de 59 metros en 30 años, por su parte, Quiroz (2013) mediante el mismo método determino un ascenso del valor de la ELA de 140 metros desde la PEH al 2010 para los nevados Pariaqaqa y Chollquepucro. Según Úbeda (2011) en el periodo 1955 – 2007 determino para el sector SE del nevado Coropuna un ascenso de 75 metros de la ELA, para el sector NE del nevado Coropuna determino un ascenso de 45 metros el valor de la ELA.

De acuerdo a los resultados presentados sobre el valor de la ELA, en todos los casos se evidencia un ascenso de este parámetro, lo cual representa de que los glaciares presentan un balance de masa negativo, es decir, es mayor la cantidad de masa glaciaria que pierden de la que ganan. El comportamiento y la velocidad de ascenso de la ELA generalmente no es homogéneo en glaciares que se ubican incluso en la misma cordillera, menos aún en glaciares que se ubican en otras cordilleras y que presentan otro régimen de acumulación - ablación.

Los nevados Japu Punta y Yayamari presentan pendientes fuertes lo cual son más vulnerables a la pérdida de masa glaciaria y al ascenso de la ELA que glaciares con pendientes moderadas o suaves como es el caso del Quelccaya, en ese sentido se interpreta que la variación de la ELA de los nevados Japu Punta y Yayamari no necesariamente es similar a glaciares ubicados en la Cordillera Vilcanota a pesar de que presentan un mismo régimen de acumulación - ablación.



Para esta investigación se determinó una tasa de deglaciación para la superficie glaciar de  $0.167 \text{ km}^2/\text{año}$ , para la ELA se obtuvo una tasa de  $1.97 \text{ m/año}$ . Según Quiroz (2013) obtuvo para la superficie glaciar y la ELA una tasa de deglaciación de  $0.151 \text{ km}^2/\text{año}$  y  $1.17 \text{ m/año}$  respectivamente. Los resultados obtenidos en ambos estudios difieren en las velocidades de deglaciación tanto de la superficie glaciar como de la ELA, como se mencionó anteriormente las velocidades de deglaciación van a estar sujetas a las condiciones climáticas y a la geomorfología propia de la zona de estudio.

Finalmente, dada las condiciones climáticas que se registraron en las estaciones meteorológicas cercanas a los nevados Japu Punta y Yayamari para el periodo de registro 1991 – 2020, se verifica que los niveles de temperatura media mensual en 3 de las 5 estaciones meteorológicas presentan un aumento significativo (Estaciones meteorológicas: Pomacanchis, Acomayo y Paruro). Este parámetro combinado con la radiación solar son los principales agentes que influyen en la pérdida de masa glaciar, por otro lado, los niveles de precipitación tanto sólidas como líquidas no muestra un patrón definido en el periodo de estudio (1991 – 2020). En ese enfoque se puede deducir que los procesos de acumulación (precipitación sólida) en los glaciares no compensan o equilibran los procesos de ablación (radiación solar y temperatura), pero cabe resaltar que para comparar directamente las dos variables de estudio es necesario realizar mediciones in situ en los glaciares de la Cordillera Vilcanota de manera sostenida en el tiempo para observar las variaciones respecto al clima en el departamento del Cusco.



## CONCLUSIONES

- En la presente investigación a través de la medición de la superficie glaciar y la altitud de la línea de equilibrio se concluye que los nevados Japu Punta y Yayamari se encuentran un constante retroceso glaciar, considerando que las condiciones climáticas de su entorno reflejan que 3 de las 5 estaciones meteorológicas registran un aumento significativo de temperatura y un patrón no definido en los niveles de precipitación en los últimos 30 años.
- El comportamiento histórico de las series temperatura de las estaciones meteorológicas próximas a los nevados Japu Punta y Yayamari, se evidenció, en el periodo 1991 – 2020, una tendencia positiva significativa por parte de las estaciones Acomayo, Paruro y Pomacanchis, caso contrario las estaciones Ccatca y Sicuani no presentan una tendencia positiva significativa.
- En lo referente al comportamiento histórico de las series de precipitación, no existe ningún tipo de tendencia definida ya sea positiva o negativa en todas las estaciones meteorológicas, lo cual se define como la presencia de años húmedos o años con déficit de precipitaciones mas no un cambio progresivo en los niveles de precipitación en el tiempo.
- Sobre la evolución de la superficie glaciar para los nevados Japu Punta y Yayamari, se identificaron 11 glaciares los cuales se calculó una superficie total de 27.50 km<sup>2</sup> para el año 1992, por otro lado, para el año 2022 se calculó una superficie total de 22.49 km<sup>2</sup> lo cual representa una perdida 18% de su área inicial en un periodo de 30 años.



- En relación a la evolución de la altitud de la línea de equilibrio (ELA) para los nevados Japu Punta y Yayamari, mediante el método AABR se calculó un valor de la ELA de 5234 m.s.n.m para el año 1992, por otro lado, para el año 2022 se calculó un valor de la ELA de 5293 m.s.n.m, lo cual representa un ascenso de 59 metros en un periodo de 30 años.
- La velocidad de retroceso para los nevados Japu Punta y Yayamari se determinó para la superficie glaciar una tasa de deglaciación de  $0.167 \text{ km}^2/\text{año}$ , referido a la altitud de la línea de equilibrio se calculó una tasa de deglaciación de  $1.967 \text{ m/año}$ .



## RECOMENDACIONES

- Para complementar la presente investigación se considera pertinente monitorear constantemente los glaciares de la Cordillera Vilcanota a través de balance de masa y energía con la finalidad de comprender el estado actual de los glaciares en el departamento del Cusco.
- Cuantificar el aporte hídrico en temporada de sequía de los principales glaciares de la Cordillera Vilcanota a través de la medición hidrológica in situ de la esorrentía producida por la fusión de los glaciares.
- Diagnosticar y evaluar el comportamiento de los ecosistemas de alta montaña ubicados en la Cordillera Vilcanota con la finalidad de identificar que ecosistemas son más vulnerables ante un evidente retroceso glaciar.
- Realizar campañas de sensibilización sobre temas referidos a peligros asociados a los glaciares, por otro lado, es fundamental implementar medidas de adaptación frente al retroceso glaciar con la finalidad de prevenir, reducir y responder ante cualquier escenario de riesgo sobre un posible estrés hídrico en el departamento del Cusco.





## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Baraër, M. (2012). *Hydrogeology in the Cordillera Blanca, Peru: significance, processes and implications for regional water resources*. Montreal.
- Bolivar, E. (2018). Evaluación de la deglaciación del Nevado Ausangate y su influencia en la disponibilidad de recursos hídricos en la Cuenca alta del Río Pitumarca – Cusco. *para optar el Título de Ingeniero Ambiental*. Universidad Alas Peruanas, Cusco.
- Buytaert, W. (2017). *Glacial melt content of water use in the tropical Andes*. Londres.
- Castro, J. (2022). Uso del Modelo Random Forest mediante Google Earth Engine para determinar el cambio de área de los Ecosistemas y su relacion con el Cambio Climatico en la Cuenca Sibinacocha, 1984 - 2020. *Para optar el grado académico de Magíster en Cambio Climático y Desarrollo Sostenible*. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú.
- CECS. (2009). *Estrategia Nacional de Glaciares - Fundamentos*. Republica de Chile, Ministerio de Obras Publicas - Direccion General de Aguas, Santiago. Obtenido de
- Chiew, F., & Siriwardena, L. (2005). *User Guide - Trend*.
- Diaz, V., & Bejarano, E. (2017). *Análisis Multitemporal del retroceso glaciar del Volcán Nevado Cotopaxi- Ecuador, entre los años 1998, 2007 y 2016*. Latacunga.
- Favier, V., Wagnon, P., & Pierre, R. (2004). *Glaciers of the outer and inner tropics: A different behaviour but a common response to climatic forcing*.
- Fernandez, P. (2014). *Geomorfología - Glaciar 2*. Universidad Complutense de Madrid, Dpto. Geodinámica. Facultad C.C. Geológicas, Madrid. Obtenido de
- Francou, B., & Pouyaud, B. (2008). *Glaciares: ¿cómo y dónde estudiarlos?*



- Francou, B., Rabatel, A., Soruco, A., & Silvestre, E. (2013). *Glaciares de los Andes Tropicales víctimas del Cambio Climático*. Comunidad Andina - Secretaria General.
- Hernandez, R., Fernández, C., & Pilar, B. (2014). *Metologia de la Investigacion* (Vol. Sexta edicion). McGRAW-HILL.
- Herreros, J., Moreno, I., Taupin, D., Patris, N., & Ginot, P. (2009). *Environmental records from temperate glacier ice on Nevado Coropuna saddle, southern Peru*.
- IDEAM. (1997). *Geosistemas de Alta Montaña*. (U. N. Colombia, Ed.) Bogota, Colombia.
- INACH. (2012). *Las Glaciaciones y el Calentamiento Global*.
- INAIGEM. (2017). *Manual Metodológico de Inventario Nacional de Glaciares*. Huaraz .
- IPCC. (2001). *Climate change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*.
- IPCC. (2019). *Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Jomelli, V., Favier, V., Rabatel, A., Brunstein, D., & Francou, B. (2009). *Fluctuations of glaciers in the tropical Andes over the last millennium and palaeoclimatic implications: A review*.
- Kaser, G. (1999). *A review of the modern fluctuations of tropical glaciers*.
- Maletta, H. (2009). *Epistemología Aplicada: Metodología y tecnica de la produccion cientifica*. Lima : Consorcio de Investigación Económica y Social.
- Mauricio, A. (2007). *Introducción al Analisis de Series Temporales*. Universidad Complutense de Madrid, Madrid.
- MINAM. (2015). *Mapa Nacional de Cobertura Vegetal - Memoria Descriptiva*.
- Ochoa, B. (2019). *Potential contributions of pre-Inca infiltration infrastructure to Andean water security*. Department of Civil and Environmental Engineering & Grantham Institute. Nature Sustainability.



- Omaston, H. (2005). *Estimates of glacier equilibrium line altitudes by the Area x Altitude, the Area x Altitude Balance Ratio and the Area x Altitude Balance Index methods and their validation*. Cumbria: Science Direct.
- OMM. (2012). *International Glossary of Hydrology*. (UNESCO, Ed.)
- Paez, B., & Garcia, C. (2016). Analisis Multitemporal del retroceso glaciar en la Sierra Nevada de Santa Marta - Colombia - para los periodos 1986, 1996, 2007 y 2014. *Trabajo de grado para optar el titulo de: Ingenierio Catastral y Geodesta*. Universidad Distrital Francisco Jose Caldas, Bogota, Colombia.
- Quirós Carrera, T. (2013). Impacto del Cambio Climático en los glaciares de las montañas Chollquepucro y Pariaqaqa (Perú). *Trabajo de fin de grado*. Universidad Complutense de Madrid.
- Rabatel, A., Bermejo, A., Loarte, E., Alvaro, S., Jesus, G., & Gonzalo, L. (2012). *Can the snowline be used as an indicator of the equilibrium line and mass balance for glaciers in the outer tropics?*
- Rabatel, A., Francou, B., Soruco, A., & Joice, G. (2013). *Current state of glaciers in the tropical Andes: A multi-century perspective on glacier evolution and climate change*. The Cryosphere.
- Ramos Alonzo, R. B. (2018). Evolucion de la cobertura glaciar del nevado Coropuna y su relacion con el entorno climatico . *Tesis para optar el grado de Magister Scientiae en Recursos Hidricos*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Peru.



- Real, E. (2013). Implementacion de un balance de energia sobre una superficie glaciar. caso especifico: Volcan Nevado Santa Isabel, Glaciar Conejeras, Departamento de Caldas, Colombia. *Tesis o trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de: Magíster en Ciencias Meteorología*. Universidad Nacional de Colombia, Bogota, Colombia.
- Sabino, C. (1992). *El Proceso de la Investigacion*. Caracas: Panapo.
- Schaner, N. (2012). *The contribution of glacier melt to streamflow*. Department of Civil and Environmental Engineering, University of Washington, Box 352700, Seattle, WA 98195, USA, Washington.
- Sissons, J. (1974). *A Late-glacial ice cap in the central Grampians, Scotland*. University of Edinburg.
- Sissons, J. (1980). *The Loch Lomond Advance in the Lake District, northern England*.
- Tarback, E., & Lutgens, F. (2005). *Ciencias de la Tierra* (Vol. Octava edicion ). Madrid, España.
- Thompson, L., Mosley, E., Dansgaard, W., & Grootes. (1986). *The Little Ice Age as Recorded in the Stratigraphy of the Tropical Quelccaya Ice Cap*.
- Ubeda, J. (2011). El Impacto del Cambio Climático en los glaciares del Complejo Volcánico Nevado Coropuna, (Cordillera Occidental de los Andes Centrales). *Memoria para optar al grado de doctor*. Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España.
- Veettil, B. K., & Kamp, U. (30 de Abril de 2019). *Global Disappearance of Tropical Mountain Glaciers: Observations, Causes, and Challenges*. geosciences.
- Veettil, B., & Souza, S. (2016). *Study of 40-year glacier retreat in the northern region of the Cordillera Vilcanota, Peru, using satellite images: preliminary results*.



Veettil, B., Ruiz, S., Shanshan, W., & Teixeira, P. (2016). *Un análisis comparativo del retroceso glaciar en los Andes Tropicales usando teledetección*. Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM).

Wagnon, P., Pierre, R., Kaser, G., & Berton, P. (1999). *Energy balance and runoff seasonality of a Bolivian glacier*.



ANEXOS

Anexo 01: Matriz de Operacionalización de Variables

VARIABLES	DEFINICIÓN	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍNDICE	NIVEL DE MEDICIÓN
V1						
Cambio climático	El cambio climático se comprende como el cambio del <b>clima</b> atribuido directa o indirectamente a la actividad antrópica que influye en la composición de la atmósfera sumado a la variabilidad natural del clima observada durante un periodo de tiempo comparables.	El cambio climático será medido a través de la revisión y análisis documental de información de los registros del SENAMHI de las estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio.	Clima	Temperatura media  Precipitación acumulada	°C  mm	De razón
V2						
Retroceso glaciar	Se denomina <b>retroceso glaciar</b> al proceso de disminución de masa glaciar y al ascenso de la línea de equilibrio de los glaciares, lo cual representan un régimen acumulación – ablación negativa por las condiciones climáticas presentes.	La cuantificación del retroceso glaciar será a través del software ArcMap, siendo la herramienta para el trabajo de las imágenes de satélite.	Retroceso Glaciar	Superficie Glaciar  Altitud de la Línea de Equilibrio (ELA)  Tasa de deglaciación	km <sup>2</sup>  m.s.n.m  km <sup>2</sup> /año m/año	De razón



Anexo 02: Data registrada de las series de temperatura media

A. Estación Pomacanchis

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ANUAL
1990													
1991												12.18	
1992	11.78	11.77	11.77					8.71	11.53	11.40	11.72	12.11	
1993	10.29	11.10	10.47	10.44	9.59	8.32	8.19	8.66	10.44	11.35	11.48	11.33	10.14
1994	10.70	10.91	10.43	10.31	9.09	7.60	7.98	9.45	10.98	11.65	11.57	11.60	10.19
1995	11.39	11.29	10.85	10.73	9.79	8.74	9.44	10.86	11.02	12.52	12.25	11.30	10.85
1996	10.66	10.63	10.93	10.81	9.59	7.95	8.01	9.50	10.92	11.75	11.35	10.90	10.25
1997		10.12	10.20	10.07	8.77	8.09	8.62	9.14	11.75	12.78	12.20	12.68	
1998	12.90	12.86	12.19	12.04	10.40	9.23	9.11	11.04	12.08	11.94	12.29	11.53	11.47
1999	11.24	10.02	10.20	10.05	9.52	8.45	7.69	9.79	10.84	11.04	12.14	11.46	10.20
2000	10.68	10.06	10.14	10.55	9.81	7.99	8.17	9.83	11.22	10.51	12.73	10.74	10.20
2001	9.96	10.30	10.45		9.34	8.70	8.66	8.66	11.29	11.99	12.58	11.76	
2002	11.40	10.55	11.09	10.35	9.57	9.19	7.91	9.43	10.53	11.51	11.65	11.49	10.39
2003	11.63	11.51	11.10	10.81	9.74	9.14	8.41	9.68	10.56	12.19	12.38	11.82	10.75
2004	11.11	11.22	11.02	10.72	9.32	7.83	7.81	8.89	10.26	12.02	12.19	11.42	10.32
2005	11.80	11.33	11.87	11.20	10.18	8.93	9.13	10.17	11.24	11.63	12.20	11.39	10.92
2006	10.55	11.26	11.06	10.57	8.81	8.62	8.25	10.25	11.60	11.90	11.60	11.72	10.51
2007	11.82	11.13	10.64	10.70	9.86	8.95	8.69	10.39	10.83	11.56	12.28	11.39	10.69
2008	10.21	10.46	10.17	10.16	8.84	8.46	8.60	10.44	11.00	11.70	12.36	11.16	10.30
2009	10.63	10.86	10.88		9.75	8.73	8.27	10.03	11.95	12.92	12.68	11.63	
2010	11.05	11.68	11.49	11.09	10.11	9.84	9.56	10.97	11.95	12.44	12.76	10.74	11.14
2011	10.68	10.24	10.37	10.49	9.50	8.73	8.38		10.62	11.72	12.79	11.32	
2012	10.77	9.86	10.79	10.48	9.31	8.34	8.07	9.52	11.05	12.38	12.55	10.92	10.34
2013	10.81	11.04	11.45	10.47	10.18	8.59	8.58	10.01	11.29	11.83	12.11	11.15	10.62
2014	11.23	10.69	11.10	10.58	9.69	9.57	8.60	9.38	10.76	11.29	12.73	11.52	10.60
2015	10.17	10.64	10.96	10.02	9.56	9.04	8.25	9.91	12.05	12.05	12.79	11.33	10.56
2016	12.19	11.72	12.34	11.11	9.76	8.60	8.59	9.79	11.27	11.26	12.74	11.95	10.94
2017	11.28	11.10		10.54	9.96	9.44	9.45	10.78	11.62	12.13	12.34	12.19	
2018	11.19								11.55	11.37	12.18	12.07	
2019	12.04	11.21	11.08	11.15	10.26	9.81	9.06	10.55	11.57	12.19	11.58	11.81	11.03
2020	11.60	11.47	11.68			9.90	9.89	11.24	11.70	11.75	13.06	11.29	



**B. Estación Acomayo**

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ANUAL
1990	14.04	14.50	14.43	14.75	14.50	11.66	12.04	13.16	15.08	14.94	15.14	14.84	14.09
1991	15.15	15.27	15.28	14.70								14.22	
1992	13.67	14.32	14.52	13.86	14.10	12.59	11.62	12.71	14.93	14.63	15.20	15.52	13.97
1993	13.93	14.36	14.17	13.83	13.27	10.65	11.44	12.50	13.92	14.57	14.44	14.13	13.43
1994	13.70	13.59	14.35	13.66	13.00	10.71	11.11	12.44	14.42	14.87	15.20	15.43	13.54
1995	14.79	14.80	13.75	14.14	12.64	11.28	12.18	14.13	14.67	16.55	16.19	15.05	14.18
1996	14.52	14.00	14.21	14.27	13.21	11.52	11.62	13.25	14.87	15.65	15.31	14.29	13.89
1997	13.92	13.31	13.79	13.31	11.97	10.31	11.64	12.67	14.96	16.27	15.63	15.39	13.60
1998	15.42	15.68	15.31	14.96	13.05	12.22	11.59	13.97	15.01	15.20	15.45	14.70	14.38
1999	14.61	13.38	13.54	13.22	12.71	11.37	10.85	12.73	13.59	14.05	15.26	14.35	13.31
2000	13.62	13.09	13.29	13.63	12.65	11.27	10.95	12.62	14.35	14.14	16.35	14.05	13.33
2001	13.04	13.33	13.38	12.94	12.43	11.35	11.88	12.06	14.91	15.34	15.93	15.16	13.48
2002	14.43	13.60	13.90	13.69	13.01	12.30	10.96	12.62	13.99	14.95	14.98	14.90	13.61
2003	14.47	14.23	13.94	13.42	12.67	11.37	11.01	13.02	13.66	15.74	16.04	15.00	13.72
2004	14.02	14.22	14.34	13.78	12.11	10.97	10.55	12.05	13.52	15.17	15.42	14.42	13.38
2005	14.67	14.48	14.60	14.09	12.78	11.44	11.93	13.59	14.73	15.33	15.58	14.84	14.00
2006	13.74	14.78	14.52	14.29	12.23	12.27	11.79	13.75	15.32	15.91	15.10	14.98	14.06
2007	14.85	14.35	13.67	13.41	12.83	12.12	11.69	13.92	14.62	15.49	15.92	14.98	13.99
2008	13.72	14.28	13.70	13.76	12.08	11.99	12.01	14.10	14.84	15.49	15.79	15.57	13.95
2009	15.12	14.58	14.78	14.41	12.98	11.71	11.91	13.48	15.05	16.13	15.84	15.10	14.26
2010	14.80	14.99	14.90	14.73	13.51	13.01	12.60	13.95	15.45	15.80	15.82	14.65	14.52
2011	14.36	13.80	14.15	14.71	13.27	12.30	11.82	14.70	15.12	16.08	16.75	14.86	14.33
2012	14.36	13.37	13.69	14.25	13.58	12.29	12.64	13.69	14.69	16.64	16.90	14.91	14.25
2013	14.90	14.53	15.43	14.96				12.78	14.90	14.95	15.25	14.53	
2014	15.05	14.34	14.98	14.32	13.54	13.04	13.24	13.74	15.35	15.73	16.01	16.39	14.64
2015	15.75	15.44	14.89	13.44	14.01	13.94	13.54	14.46	15.48	16.20	15.65	15.74	14.88
2016	16.64	16.00	16.08	15.71	14.46	12.93	12.81	13.54	14.36	14.58	15.55	16.51	14.93
2017	16.48	16.13	15.66	15.19	14.19	13.40	12.73	13.46	15.12	16.06	16.35	16.40	15.10
2018	16.12	16.34	16.24	15.52	14.17	12.86	13.23	14.47	14.90	14.99	15.44	15.72	15.00
2019	15.67	15.36	15.25	14.90	14.09	13.09	13.27						
2020	14.49	14.22	14.25			11.70	11.20	13.17	14.85	14.62	16.61	14.26	





C. Estación Meteorológica Ccatca

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ANUAL
1990	9.62	9.87	9.75	9.71	9.09	7.28	7.25	8.22	9.27	9.88		9.97	
1991	10.82	9.63	9.16	9.48	8.53	7.69	7.11	7.73	8.82	9.90	10.21	10.50	9.13
1992	9.89	9.71	9.99	9.74	9.28	7.72	6.02	7.68	9.16	9.87	10.10	10.50	9.14
1993	9.39	9.49	9.16	9.30	8.43	6.95	7.52	8.14	8.60	9.89	10.19	10.27	8.95
1994	9.30	9.32	9.15	8.84	8.39	6.97	7.13	7.94	9.05	10.12	10.33	10.45	8.92
1995	10.38	10.24	9.89	10.36	8.60	7.94	8.72	9.17	9.23	10.86	10.99	10.33	9.72
1996	9.84	9.72	9.93	9.70	9.18	7.51	7.06	8.06	9.58	10.24	10.54	10.39	9.31
1997	10.07	9.61	9.84	9.59	8.42	7.92	7.89	7.89	9.58	11.42	11.29	11.45	9.58
1998	11.78	11.82	11.41	11.82	9.73	8.36	8.47	9.37	9.96	10.68	11.14	10.85	10.45
1999	9.92	9.58	9.52	9.23	9.09	7.99	6.91	8.11	9.41	9.65	11.13	10.66	9.27
2000	9.73	9.45	9.50	9.75	9.08	8.24	6.91	8.54	9.90	9.89	11.60	10.63	9.44
2001	9.22	9.50	9.28	9.19	8.67	7.78	7.54	7.02	9.19	10.38	11.07	10.65	9.12
2002	10.34	10.13	10.06	9.95	9.16	8.62	6.88	7.87	9.44	10.21	10.51	10.32	9.46
2003	10.13	10.33	9.90	10.10	8.99	8.22	7.26	7.69	9.04	10.50	10.98	10.82	9.50
2004	10.10	9.88	10.19	10.05	9.00	7.14	7.14	7.13	8.88	10.54	11.11	10.50	9.31
2005	10.97	10.16	10.51		9.28	8.08	7.99	8.29	9.13	10.32	10.89	10.50	
2006	9.64	10.31	9.95	9.69	8.32	8.31	7.88	8.75	9.56	10.35	10.08	10.42	9.44
2007	10.87	10.43	9.66	9.79	9.51	8.20	7.88	8.58	8.83	9.98	10.82	10.53	9.59
2008	9.73	9.69	9.43	9.44	8.29	8.37	7.73	9.07	9.39	10.41	11.02	10.25	9.40
2009	9.91	10.06	9.82	9.88	8.86	8.48	8.14	8.97	10.08	10.95	11.53	11.06	9.81
2010	10.66	11.25	10.78	10.59	9.92	9.09	8.57	8.76	9.81	10.65	10.64	10.30	10.08
2011	9.60	8.96	9.33	9.77	9.23	8.05	7.68	8.75	9.29	10.01	10.83	10.08	9.30
2012	9.66	9.17	9.35	9.45	8.71	7.58	7.88	8.44	8.98	10.80	11.18	10.00	9.26
2013	9.79	9.87	10.53	9.84	9.20	7.91	7.14	8.13	9.16	10.05	10.62	9.99	9.35
2014	9.93	9.65	10.08	9.41	8.91	8.34	7.36	7.79	9.17	9.89	10.96	10.32	9.32
2015	9.38	9.85	9.85	8.96	8.92	8.05	7.09	8.04	9.87	10.38	11.57	10.50	9.37
2016	11.28	11.18	11.18	10.03	8.72	7.39	6.88	8.28	9.37	9.83	10.99	10.50	9.64
2017	9.80	9.91	9.66	9.70	8.93	8.13	8.25	8.43	9.51	10.25	10.62	10.33	9.46
2018	9.39	9.84	9.79	9.28	8.27	6.88	6.51	7.64	9.03	9.55	11.03	10.31	8.96
2019	10.07	9.96	9.95	9.93	8.76	7.28	7.11	6.97	8.70	9.60	10.29	10.39	9.08
2020	10.55	10.54	10.26	9.75	8.52	7.97					10.92		



**D. Estación Sicuani**

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ANUAL
1990	12.23	12.44	12.13	11.85									
1991	12.68	12.70	12.37	12.00	10.85	9.35	8.43	9.87	11.89	12.36	11.95	11.88	11.36
1992	12.16	12.49						9.70	12.14	12.61	12.64	13.05	
1993	12.08	12.43	11.57	12.07	11.12	9.25	9.90	10.44	11.93	13.11	13.55	12.98	11.70
1994	12.29	11.73	11.74	11.78	10.22	8.66	8.69	10.64	13.12	13.40	13.76	13.16	11.60
1995	12.31	12.81	11.97	12.25	11.00	9.53	10.07	11.90	12.82	14.55	14.02	12.99	12.18
1996	11.94	12.04	12.43	11.96	10.89	8.58	9.06	11.13	12.78	14.01	13.51	12.58	11.74
1997	11.76	11.77	11.82	11.31	10.33	8.77	9.71	10.60	13.81	14.45	13.86	14.00	11.85
1998	14.26	13.92	13.66	13.34	9.97	9.25	8.65	11.13	13.11	13.67	13.80	13.11	12.32
1999	12.32	11.19	11.36	11.29	9.96	7.30	7.57	9.88	11.98	12.80	13.79	12.92	11.03
2000	11.53	11.18	11.18	11.35	9.78	8.12	8.25	10.74	12.44	12.27	14.53	12.07	11.12
2001	11.17	11.56	11.65	10.77	9.55	8.75	8.37	9.36	12.53	13.34	14.08	12.88	11.17
2002	12.43	11.92	12.02	10.88	9.07	8.70	7.57	9.98	12.04	12.88	12.92	13.03	11.12
2003	12.41	12.46	11.86	11.07	9.57	7.61	7.55	10.28	11.94	13.76	14.29	13.37	11.35
2004	12.10	12.21	11.80	11.01	8.28	7.32	7.29	9.49	11.59	13.55	13.81	12.71	10.93
2005	12.90	12.28	12.90	11.85	9.57	7.57	8.84	10.43	12.17	13.05	13.52	12.68	11.48
2006	11.58	12.63	12.35	11.38	7.79	7.95	7.21	10.86	12.36	13.41	13.10	12.90	11.13
2007	12.79	12.14	11.61	11.71	9.92	7.95	8.17	10.25	12.40	13.26	13.77	12.67	11.39
2008	11.35	11.48	11.26	11.22	8.70	7.88	7.78	10.43	12.46	12.95	14.21	12.41	11.01
2009	12.01	11.91	11.85	11.38	9.71	7.05	8.34	9.65	12.85	14.08	13.65	13.21	11.31
2010	12.39	12.83	12.79	11.85	9.87	8.76	8.10	10.39	13.28	13.50	14.06	11.93	11.65
2011	11.69	11.21	11.55	11.33	9.07	7.55	7.44	10.06	11.57	13.20	14.74	12.32	10.98
2012	11.91	11.00	11.71	11.27	8.88	7.79	7.37	9.03	12.18	13.44	14.16	12.07	10.90
2013	11.95	12.12	12.08	11.00	9.82	7.88	7.96	9.65	12.48	13.35	14.02	12.42	11.23
2014	11.98	11.51	12.13	11.34	9.68	8.59	8.68	9.96	12.08	13.48	14.74	13.37	11.46
2015	12.03	12.15	12.41	11.24	9.99	8.65	7.89	10.38	12.96	13.68	14.46	12.92	11.56
2016	14.04	13.27	13.44	11.67	9.59	8.02	8.29	10.08	12.41	12.81	13.79	13.51	11.74
2017	12.85	12.33	12.05	11.59	10.08	8.90	9.37	10.48	12.53	12.80	13.48	12.90	11.61
2018	11.83	12.15	12.22	11.47	9.33	7.89	8.07	9.52	12.37	12.33	13.78	13.14	11.18
2019	12.88	12.37	12.40	11.99	9.80	8.55	8.47	10.32	12.73	13.88	13.37	13.21	11.67
2020	12.78	12.70	12.55	12.11	9.78	9.07	8.62	10.82	12.77	13.03	14.82	12.55	11.80



E. Estación Paruro

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ANUAL
1990													
1991													
1992													
1993			14.39	13.45	12.12	11.45	12.53	12.62	12.86	14.72	14.88	15.11	
1994	13.73	13.77	14.26	13.26	12.18	10.75	10.99	12.10	13.85	14.53	15.38	15.65	13.37
1995	14.89	15.14	14.41	14.34	12.66	11.87	11.95	13.12	13.70	15.14	14.83	14.47	13.88
1996	14.07	14.54	14.68	13.76	12.24	10.57	10.43	12.01	14.65	14.31	14.14	13.94	13.28
1997		13.60	13.56	13.45	12.15	10.30	11.28	11.89	14.26	15.44	15.13	15.30	
1998	16.09	15.78	15.64	15.05	12.20	11.67	11.52	13.58	14.40	15.15	16.66	15.48	14.43
1999	15.49	14.33	14.20	14.40	13.28	11.62	10.93	12.45	13.78	14.64	15.81	15.45	13.86
2000	14.82	14.42	14.50	15.06	13.43	11.73	11.87	13.65	15.83	15.13	17.07	15.24	14.39
2001	13.90	13.83	13.87	13.98	13.21	11.90	12.13	12.56	15.27	15.62	16.15	15.45	13.99
2002	15.17	14.30	14.18	14.14	12.80	12.27	11.39	12.94	14.26	15.42	15.66	15.54	14.01
2003	15.27	14.93	14.74	14.53	13.43	12.26	11.98	13.32	14.26	15.86	15.95	15.35	14.32
2004	14.71	14.44	14.68	14.47	12.82	11.10	11.22	12.28	13.87	15.50	16.35	15.46	13.91
2005	14.91	14.91	14.92	14.85	13.69	12.42	12.47	13.74	15.05	15.73	16.17	15.65	14.54
2006	14.27	14.92	14.76	14.29	12.17	12.61	11.76	13.70	15.21	16.01	15.43	15.28	14.20
2007	15.58	15.10	14.31	14.20	13.58	12.20	12.20	13.92	14.50	15.37	16.44	15.00	14.37
2008	13.95	14.72	13.92	13.90	12.67	11.91	11.94	13.88	14.67	15.43	16.32	15.20	14.04
2009	14.35	14.43	14.25	14.47	13.33	12.07	11.90	13.59	15.48	16.56	16.11	15.50	14.34
2010	14.75	15.02	15.07	14.62	13.45	12.88	12.74	13.41	15.15	15.63	16.16	14.56	14.45
2011	14.88	13.93	14.28	14.10	12.25	11.66	11.17		14.15	15.26	16.66	14.32	
2012	14.63	13.82	13.84	14.16	12.61	11.69	11.80	12.95	14.77	15.83	16.29	14.43	13.90
2013		14.62	14.81	14.16	13.38	11.36	11.67	13.33	14.97	15.01	15.93	14.73	
2014	14.58	14.23	14.74	13.97	13.23	12.76	12.45	13.39	14.97	15.90	17.04	15.86	14.43
2015	14.25	14.72	14.51	13.81	12.91	12.47	11.71	13.46	15.39	16.24	16.77	15.06	14.27
2016	16.47	15.23	15.87	14.60	13.25	12.15	12.18	13.98	15.42	15.20	16.64	15.35	14.69
2017	14.98	15.21	14.42	14.23	12.90	12.29	12.33	13.76	15.27	15.43	15.96	15.60	14.37
2018	14.69	15.14	14.76	14.41	12.76	11.30	11.24	13.12	14.96	14.61	15.96	15.45	14.03
2019	15.14	14.89	14.75	14.29	12.95	12.11	11.99	13.60	15.26	15.94	15.47	15.29	14.31
2020	14.87	14.79	15.06					13.76				15.38	



Anexo 03: Data registrada de las series de precipitación acumulada

A. Estación Pomacanchis

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
1990													
1991												133.50	
1992	142.00	90.50	96.00					15.50	6.50	92.30	89.00	73.00	
1993	206.80	125.00	102.50	31.50	0.00	2.00	6.00	12.00	16.50	87.00	81.00	186.70	857.00
1994	166.00	151.50	125.00	47.50	5.50	0.00	0.00	1.00	25.50	68.50	88.00	116.50	795.00
1995	133.00	108.50	127.00	37.00	13.50	0.00	8.50	1.50	36.00	9.00	126.00	161.00	761.00
1996	200.50	91.50	114.60	55.50	17.00	0.00	0.00	28.80	32.30	108.00	79.50	155.00	882.70
1997		194.00	190.50	21.00	16.00	0.00	5.00	12.50	7.50	83.00	135.80	79.00	
1998	141.00	130.30	136.80	17.50	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	72.00	104.50	115.00	718.10
1999	173.50	140.60	84.20	93.30	9.20	0.00	1.60	0.00	19.10	34.40	40.70	106.30	702.90
2000	119.20	184.20	112.00	30.60	7.50	14.80	6.00	16.10	22.50	92.30	41.30	138.10	784.60
2001	246.00	159.60	180.90	45.20	15.70	3.30	21.30	15.80	18.90	84.00	81.30	198.30	1070.30
2002	128.00	236.10	174.20	69.00	13.70	0.60	27.80	17.30	62.30	65.50	108.40	121.90	1024.80
2003	167.20	164.40	150.60	63.50	16.40	8.70	0.00	6.00	17.10	64.40	50.20	110.00	818.50
2004	260.90	175.40	81.50	51.20	25.40	10.20	8.90	16.90	71.50	57.20	67.20	164.00	990.30
2005	85.80	130.30	148.00	52.00	2.10	0.00	0.20	4.30	2.60	74.20	101.50	105.70	706.70
2006	163.70	232.30	95.60	140.60	1.10	11.10	0.00	7.30	4.30	80.20	101.30	149.30	986.80
2007	172.60	175.40	226.50	77.60	14.10	0.00	4.80	0.00	4.00	52.50	99.70	102.70	929.90
2008	158.60	140.80	128.30	33.70	12.90	4.40	0.00	3.10	17.00	77.90	78.30	129.50	784.50
2009	136.70	105.60	80.50	41.80	8.60	0.00	14.10	0.00	11.00	18.20	277.60	111.10	805.20
2010	292.10	88.40	116.60	53.80	2.40	0.00	0.00	12.80	5.30	58.90	42.10	156.70	829.10
2011	119.10	151.80	135.70	60.20	9.30	4.70	7.10	8.90	56.50	50.90	42.80	189.70	836.70
2012	184.70	232.70	100.40	63.90	2.60	10.20	1.10	2.90	34.90	38.30	95.50	172.60	939.80
2013	188.20	167.10	91.80	46.20	8.90	1.30	0.00	19.90	22.30	60.50	105.10	210.30	921.60
2014	131.00	124.70	94.00	39.00	7.50	0.00	3.20	2.50	43.40	92.80	54.30	142.60	735.00
2015	184.30	136.40	151.00	80.60	14.70	0.00	11.20	7.90	6.60	32.40	115.30	142.30	882.70
2016	149.20	273.50	73.30	74.90	7.10	0.00	7.00	3.20	17.20	67.40	47.90	75.50	796.20
2017	124.70	104.00		42.60	25.00	0.60	2.20	13.00	22.40	40.30	70.70	109.90	
2018	118.10								10.50	135.20	94.20	86.70	
2019	125.10	168.40	155.90	60.10	8.00	0.00	4.60	1.40	4.60	44.80	227.30	230.90	1031.10
2020	162.40	214.70	151.80			2.60	0.00	0.20	10.20	56.70	119.40	124.20	



**B. Estación Acomayo**

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
1990	255.70	120.60	76.20	86.20	11.60	66.00	0.00	0.00	28.60	117.60	160.20	133.10	1055.80
1991	137.80	142.90	208.80	32.20								60.00	
1992	80.00	101.30	67.60	10.80	1.20	3.40	1.40	9.40	15.40	67.10	112.60	58.00	528.20
1993	264.50	76.90	78.70	61.20	0.00	2.80	6.90	3.00	24.40	33.30	90.60	133.40	775.70
1994	85.10	185.20	133.90	82.80	3.30	0.00	0.00	0.00	10.80	35.00	79.70	89.20	705.00
1995	110.60	118.40	83.20	51.30	0.00	0.00	10.20	0.00	27.30	29.50	86.10	128.00	644.60
1996	191.10	119.90	110.50	71.70	14.60	0.00	1.00	38.70	25.30	79.40	58.30	141.00	851.50
1997	151.40	164.10	195.70	26.90	17.40	0.00	0.00	18.60	1.20	53.40	140.70	134.30	903.70
1998	188.60	174.30	116.20	30.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	52.90	98.80	134.30	795.10
1999	148.70	115.10	132.70	98.20	0.00	0.00	0.00	0.00	20.90	46.50	27.50	192.10	781.70
2000	125.90	206.40	90.70	39.00	7.30	8.70	4.50	19.80	21.40	107.20	16.70	176.40	824.00
2001	248.40	153.80	179.30	44.20	15.10	3.40	10.90	15.70	18.10	39.00	93.80	126.90	948.60
2002	192.60	247.30	238.90	62.80	18.10	1.10	19.80	7.50	22.90	49.20	105.50	121.90	1087.60
2003	197.80	172.90	127.50	54.40	13.00	10.10	0.00	3.80	3.10	42.10	68.80	140.90	834.40
2004	250.10	179.10	87.80	63.60	16.90	12.90	10.60	36.50	54.70	57.50	85.20	182.60	1037.50
2005	125.70	148.40	95.40	48.80	4.30	0.00	0.00	2.90	0.00	61.90	82.20	93.10	662.70
2006	162.20	133.70	149.90	98.80	0.00	12.40	0.00	5.30	1.90	58.40	133.80	133.50	889.90
2007	197.30	163.60	178.70	92.50	1.00	0.00	5.50	0.00	2.90	51.20	96.60	88.90	878.20
2008	147.40	212.90	76.70	41.90	20.00	7.70	0.00	0.00	12.60	73.10	46.20	145.90	784.40
2009	122.50	125.50	100.00	76.80	8.20	0.00	8.90	0.00	4.50	20.60	199.60	147.70	814.30
2010	278.00	94.90	112.00	19.00	9.90	0.00	0.00	11.30	5.00	60.20	41.20	191.40	822.90
2011	153.50	163.40	207.30	62.20	3.20	3.50	8.30	0.00	59.90	34.60	48.20	179.00	923.10
2012	172.30	219.60	116.20	50.70	3.50	13.10	0.00	0.00	28.00	25.70	107.50	179.00	915.60
2013	158.60	146.20	76.90	42.40				15.50	18.90	72.10	75.30	135.30	
2014	84.70	91.10	118.40	19.90	12.50	0.00	5.40	8.60	15.70	30.30	32.40	130.10	549.10
2015	179.10	131.70	131.10	83.20	0.50	1.70	12.20	5.00	8.20	13.50	24.70	81.20	672.10
2016	61.10	90.80	54.60	25.50	0.30	0.30	2.40	0.70	5.10	52.80	29.50	95.20	418.30
2017	148.80	115.70	231.90	84.50	11.50	1.30	0.50	3.20	42.50	55.80	72.00	108.70	876.40
2018	173.30	137.40	112.40	9.90	1.60	7.20	7.90	1.40	1.90	66.00	66.60	34.90	620.50
2019	103.40	79.10	61.10	29.80	5.40	0.00	2.50						
2020	160.40	189.70	122.90			6.20	0.00	0.00	1.80	45.60	50.40	98.50	



C. Estación Ccatca

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
1990	115.70	68.70	55.20	24.20	1.30	37.90	0.00	8.00	1.30	36.90		117.50	
1991	70.70	146.10	54.40	31.00	3.90	23.40	0.00	0.00	16.30	26.30	69.90	109.90	551.90
1992	144.20	92.70	49.10	14.90	3.70	33.60	0.00	25.90	0.00	43.00	87.90	43.30	538.30
1993	158.20	102.80	77.80	16.40	2.30	2.10	0.00	49.10	11.20	31.20	57.90	177.20	686.20
1994	104.90	143.70	110.70	41.60	8.20	0.00	0.00	2.50	29.00	47.40	35.60	161.70	685.30
1995	100.70	66.50	156.60	31.90	9.60	0.00	0.00	0.00	9.90	10.10	75.60	77.00	537.90
1996	118.90	125.60	64.80	25.80	1.20	0.00	0.00	22.40	16.50	29.60	40.40	112.10	557.30
1997	115.30	132.60	121.90	11.30	5.10	0.00	0.00	4.00	8.80	22.40	84.60	63.50	569.50
1998	73.80	129.40	62.70	10.70	0.00	15.20	0.00	0.00	0.00	31.90	58.80	61.10	443.60
1999	124.30	120.40	102.20	40.00	0.00	0.00	3.20	0.00	33.80	14.00	26.20	127.40	591.50
2000	169.30	110.50	107.70	20.10	2.00	1.80	6.40	6.60	23.70	56.30	14.90	57.20	576.50
2001	265.30	153.90	126.90	62.10	22.60	0.00	18.00	24.90	17.00	98.40	67.80	74.30	931.20
2002	102.50	176.90	144.80	62.00	8.30	13.00	34.80	9.10	25.40	67.30	92.80	149.40	886.30
2003	120.40	142.60	133.40	15.70	10.30	9.20	2.50	25.50	4.80	15.70	17.80	123.50	621.40
2004	169.70	106.50	91.60	28.50	17.20	28.20	27.90	14.70	48.00	55.40	69.90	91.30	748.90
2005	60.20	147.40	109.80	30.00	2.80	0.00	1.50	5.60	9.90	27.50	77.70	98.70	571.10
2006	104.30	108.00	161.50	70.30	0.40	3.30	0.00	14.10	6.60	84.60	85.40	118.60	757.10
2007	129.50	83.60	107.60	31.90	9.90	0.00	5.10	1.90	2.50	53.70	50.70	75.30	551.70
2008	151.60	114.70	62.60	24.00	8.40	6.20	0.00	13.70	6.40	54.80	87.10	185.20	714.70
2009	112.60	106.60	80.30	31.30	2.40	0.00	14.90	4.00	17.30	14.60	141.60	104.70	630.30
2010	206.30	91.00	148.50	9.80	0.00	1.70	6.10	4.70	3.60	57.90	30.60	143.40	703.60
2011	133.30	223.40	147.40	62.10	6.90	4.50	12.70	1.20	36.30	40.10	31.50	130.80	830.20
2012	116.20	168.10	60.90	38.60	10.20	6.90	3.80	3.00	17.80	18.00	86.20	183.60	713.30
2013	160.70	173.50	124.00	29.40	8.60	0.90	12.30	18.10	6.70	94.50	80.10	173.60	882.40
2014	160.20	120.30	69.60	38.20	16.80		0.00	5.90	4.50	33.20	42.50	133.60	
2015	166.80	159.80	83.80	111.60	13.90	0.00	14.00	12.30	9.30	23.70	52.10	118.10	765.40
2016	110.40	113.10	41.80	30.30	12.70	3.50	13.30	0.50	12.60	39.90	19.00	51.50	448.60
2017	126.10	109.50	133.70	88.40	25.20	8.40	0.00	3.20	16.40	27.90	75.30	89.00	703.10
2018	115.80	185.80	208.70	26.90	0.00	34.20	20.40	11.20	4.50	131.50	69.90	70.10	879.00
2019	137.20	227.60	112.90	24.60	18.40	0.00	0.00	0.00	6.50	59.80	114.30	213.60	914.90
2020	144.00	161.70	121.10	10.60	7.40	3.50					45.40		



**D. Estación Sicuani**

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
1990	127.10	104.80	71.20	33.80									
1991	93.30	76.30	83.30	59.30	18.10	14.40	0.00	0.00	12.70	44.90	43.70	41.30	487.30
1992	99.20	61.40						19.50	19.10	62.80	96.80	53.60	
1993	163.00	87.10	116.20	57.40	0.00	1.20	2.00	9.80	26.70	66.00	136.40	114.10	779.90
1994	127.50	143.80	128.40	74.90	18.80	0.30	0.00	1.20	9.30	50.50	81.00	127.40	763.10
1995	107.40	105.20	131.30	64.40	3.10	1.20	2.80	0.00	16.60	36.00	92.30	117.00	677.30
1996	121.30	112.00	155.50	42.70	16.30	0.00	0.00	12.00	24.50	54.20	61.60	115.70	715.80
1997	226.70	173.80	176.90	49.90	3.50	0.00	5.20	15.20	8.90	45.50	135.50	64.60	905.70
1998	102.30	131.00	97.80	15.10	0.00	0.00	0.00	5.60	1.70	92.20	73.60	92.70	612.00
1999	133.30	145.40	83.40	85.70	17.60	3.20	0.30	0.00	44.10	24.40	38.50	127.20	703.10
2000	110.40	180.00	121.90	15.60	7.20	6.00	4.40	1.70	18.60	76.40	25.20	92.60	660.00
2001	213.00	158.10	176.90	55.30	25.90	1.20	13.90	10.50	34.70	48.30	76.20	134.40	948.40
2002	154.70	205.20	145.70	126.40	32.90	0.00	26.10	4.70	37.40	75.90	87.30	141.50	1037.80
2003	129.20	131.80	160.00	59.60	18.70	6.60	0.00	8.00	1.60	37.50	27.20	125.50	705.70
2004	162.60	191.00	80.40	47.00	7.60	8.20	4.20	12.00	51.60	28.90	92.40	98.40	784.30
2005	66.30	178.80	120.30	44.90	4.50	0.00	2.70	0.00	7.60	48.30	75.00	85.40	633.80
2006	151.20	120.80	92.80	99.00	3.30	5.70	0.00	10.30	23.30	45.40	111.30	106.40	769.50
2007	115.80	86.90	174.40	45.10	5.30	0.00	9.00	0.00	15.20	60.70	77.00	72.40	661.80
2008	137.30	133.50	117.90	21.60	7.00	0.70	0.60	0.60	2.60	84.10	61.60	149.00	716.50
2009	89.80	140.60	85.80	37.60	5.70	0.00	6.20	0.00	11.10	32.20	129.00	121.10	659.10
2010	161.00	95.80	118.00	48.40	2.60	0.00	0.00	5.70	2.40	62.80	46.60	125.10	668.40
2011	107.60	118.40	156.40	132.70	14.40	2.90	4.40	2.60	52.20	25.30	29.00	131.10	777.00
2012	148.00	184.80	103.00	51.60	0.50	3.20	0.80	0.00	14.20	36.40	38.70	149.80	731.00
2013	191.80	157.70	78.90	23.50	7.20	7.10	0.00	11.20	1.80	38.10	66.70	162.70	746.70
2014	154.10	134.30	55.40	36.70	9.40	0.00	0.20	6.30	24.50	49.20	33.80	156.40	660.30
2015	142.00	97.20	104.40	55.20	8.40	2.50	12.60	7.00	10.10	52.50	74.60	136.50	703.00
2016	131.40	259.50	53.80	82.80	3.20	0.00	0.30	6.90	19.90	79.00	57.90	77.00	771.70
2017	162.30	119.10	126.90	60.80	40.80	0.00	2.20	13.80	22.70	72.90	121.90	73.40	816.80
2018	112.60	165.90	116.60	30.80	5.20	20.40	20.10	28.60	4.40	76.20	104.60	48.60	734.00
2019	131.60	135.70	86.10	43.00	8.50	0.00	0.00	0.00	0.50	47.30	137.50	212.30	802.50
2020	114.50	175.70	121.70	13.00	19.80	0.10	0.00	0.00	10.80	36.40	23.20	106.80	622.00



**E. Estación Paruro**

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
1990													
1991													
1992													
1993			32.60	38.00	0.00	0.00	7.00	5.00	18.00	57.00	90.50	239.00	
1994	202.00	163.00	166.00	88.00	12.00	0.00	1.00	1.00	33.00	91.00	112.00	159.00	1028.00
1995	165.00	72.00	126.00	24.00	0.00	0.00	7.00	0.00	38.00	34.00	60.40	157.00	683.40
1996	210.00	110.00	95.30	71.30	21.60	0.00	0.00	34.50	26.10	76.30	82.90	176.00	904.00
1997		152.50	173.50	60.00	13.00	0.00	0.00	9.00	4.00	69.50	180.00	125.50	
1998	177.50	149.20	96.20	56.00	0.30	3.00	0.00	1.50	0.70	105.50	94.50	105.00	789.40
1999	188.50	98.20	156.80	52.00	0.00	2.00	0.00	0.00	28.50	61.00	37.50	133.50	758.00
2000	160.50	198.50	115.00	13.50	4.50	10.00	9.00	11.00	7.00	70.50	15.40	95.40	710.30
2001	249.60	172.90	162.40	21.30	5.40	3.50	10.50	6.70	16.00	78.10	75.40	91.50	893.30
2002	142.80	255.90	149.10	43.90	22.60	4.20	18.50	18.80	29.70	51.50	114.00	156.30	1007.30
2003	164.70	165.80	157.70	50.50	5.90	2.60	0.00	8.70	7.40	65.10	38.20	161.70	828.30
2004	189.50	219.70	56.80	22.60	14.10	12.20	8.70	0.00	34.40	59.80	53.80	148.10	819.70
2005	113.00	107.10	96.00	23.30	1.90	0.00	2.50	2.20	0.40	43.30	96.60	105.60	591.90
2006	202.80	133.00	132.50	90.00	0.00	6.20	0.00	8.80	2.30	42.30	77.20	109.80	804.90
2007	176.50	74.60	172.00	46.70	2.10	0.00	0.60	0.00	11.30	39.50	101.70	127.70	752.70
2008	137.50	70.40	100.30	22.50	21.40	4.50	0.00	3.20	28.40	52.00	75.10	118.70	634.00
2009	178.30	123.20	92.70	33.40	6.50	0.00	6.40	0.30	11.80	16.30	213.00	150.70	832.60
2010	339.50	153.90	126.70	45.10	4.50	0.00	0.00	6.90	2.50	59.10	62.10	183.50	983.80
2011	84.10	241.10	164.40	51.10	2.40	3.20	4.90	0.70	40.30	72.10	47.30	208.80	920.40
2012	139.80	213.80	111.00	30.70	1.40	4.40	1.60	0.00	41.00	28.80	156.90	241.60	971.00
2013	171.70	188.90	97.90	27.60	0.00	7.00	1.50	15.40	14.70	106.90	101.20	203.90	936.70
2014	252.00	168.50	96.50	62.00	6.10	0.00	4.00	2.10	12.30	42.90	24.40	212.60	883.40
2015	231.10	109.80	125.00	74.60	17.90	0.00	3.20	6.50	47.70	21.00	80.00	167.60	884.40
2016	103.30	254.70	85.80	31.30	4.80	0.00	7.20	3.20	20.00	88.10	45.30	122.90	766.60
2017	143.00	181.30	184.30	83.20	25.60	2.20	2.30	11.60	16.30	45.00	76.70	115.50	887.00
2018	133.30	248.20	190.40	31.70	0.00	10.90	21.00	14.10	10.50	110.10	71.50	99.40	941.10
2019	154.50	162.80	194.00	50.40	12.30	0.00	8.10	0.50	4.10	71.70	160.50	196.90	1015.80
2020	138.70	205.50	158.50					0.00				147.30	





**Anexo 04: Tabla estadística de tendencias de temperatura – Test Mann Kendall**

**A. Estación Pomacanchis**

### Result

Test display

Choose a te Mann-Kendall ▼

Summary Statistics

Mean :	10.588	Year count :	360
Median :	10.8		
Std Dev :	1.233		

**Mann-Kendall Test**

Total S score :	4005								
Standard Deviation	2281.556								
z-statistic :	1.755								
Result :	Data show statistically significant trend (at $\alpha < 0.1$ ). Increasing trend.								
Critical values :	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 5px;"> <tr> <td style="width: 33%;"></td> <td style="text-align: center;"><math>\alpha = 0.10</math></td> <td style="text-align: center;"><math>\alpha = 0.05</math></td> <td style="text-align: center;"><math>\alpha = 0.01</math></td> </tr> <tr> <td>Statistic tabl</td> <td style="text-align: center;">1.645</td> <td style="text-align: center;">1.96</td> <td style="text-align: center;">2.576</td> </tr> </table>		$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$	Statistic tabl	1.645	1.96	2.576
	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$						
Statistic tabl	1.645	1.96	2.576						

**B. Estación Acomayo**

### Result

Test display

Choose a te Mann-Kendall ▼

Summary Statistics

Mean :	14.093	Year count :	396
Median :	14.3		
Std Dev :	1.335		

**Mann-Kendall Test**

Total S score :	7633								
Standard Deviation	2631.716								
z-statistic :	2.9								
Result :	Data show statistically significant trend (at $\alpha < 0.01$ ). Increasing trend.								
Critical values :	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 5px;"> <tr> <td style="width: 33%;"></td> <td style="text-align: center;"><math>\alpha = 0.10</math></td> <td style="text-align: center;"><math>\alpha = 0.05</math></td> <td style="text-align: center;"><math>\alpha = 0.01</math></td> </tr> <tr> <td>Statistic tabl</td> <td style="text-align: center;">1.645</td> <td style="text-align: center;">1.96</td> <td style="text-align: center;">2.576</td> </tr> </table>		$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$	Statistic tabl	1.645	1.96	2.576
	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$						
Statistic tabl	1.645	1.96	2.576						



### C. Estación Ccatca

## Result

Test display

Choose a te Mann-Kendall

Summary Statistics

Mean :	9.421	Year count :	360
Median :	9.6		
Std Dev :	1.095		

### Mann-Kendall Test

Total S score : 3413

Standard Deviation 2281.556

z-statistic : 1.495

Result : Data show no statistically significant trend (at  $\alpha = 0.10$ ).

Critical values :

	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$
Statistic tabl	1.645	1.96	2.576

### D. Estación Sicuani

## Result

Test display

Choose a te Mann-Kendall

Summary Statistics

Mean :	11.425	Year count :	360
Median :	11.9		
Std Dev :	1.827		

### Mann-Kendall Test

Total S score : 3149

Standard Deviation 2281.556

z-statistic : 1.38

Result : Data show no statistically significant trend (at  $\alpha = 0.10$ ).

Critical values :

	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$
Statistic tabl	1.645	1.96	2.576



### E. Estación Paruro

## Result

Test display

Choose a te Mann-Kendall ▾

Summary Statistics

Mean :	14.099	Year count :	360
Median :	14.3		
Std Dev :	1.401		

### Mann-Kendall Test

Total S score : 4170

Standard Deviation 2281.556

z-statistic : 1.827

Result : Data show statistically significant trend (at  $\alpha < 0.1$ ).  
Increasing trend.

Critical values :

	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$
Statistic tabl	1.645	1.96	2.576

## Anexo 05: Tabla estadística de tendencias de temperatura – Test Regresión Lineal

### A. Estación Pomacanchis

## Result

Test display

Choose a te Linear regressio ▾

Summary Statistics

Mean :	10.588	Year count :	360
Median :	10.8		
Std Dev :	1.233		

### Linear regression Test

Sigma : 0.001 More...

t-statistic : 1.83

Result : Data show statistically significant trend (at  $\alpha < 0.1$ ).  
Increasing trend.

Critical values :

	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$
Statistic tabl	1.654	1.975	2.606



### B. Estación Acomayo

## Result

Test display

Choose a te Linear regressic

Summary Statistics

Mean :	14.093	Year count :	396
Median :	14.3		
Std Dev :	1.335		

### Linear regression Test

Sigma : 0.001 More...

t-statistic : 2.97

Result : Data show statistically significant trend (at  $\alpha < 0.01$ ).  
Increasing trend.

Critical values :

	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$
Statistic tabl	1.654	1.974	2.604

### C. Estación Ccatca

## Result

Test display

Choose a te Linear regressic

Summary Statistics

Mean :	9.421	Year count :	360
Median :	9.6		
Std Dev :	1.095		

### Linear regression Test

Sigma : 0.001 More...

t-statistic : 1.571

Result : Data show no statistically significant trend (at  $\alpha = 0.10$ ).

Critical values :

	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$
Statistic tabl	1.654	1.975	2.606



### D. Estación Sicuani

### Result

Test display

Choose a te

Summary Statistics

Mean :	11.425	Year count :	360
Median :	11.9		
Std Dev :	1.827		

#### Linear regression Test

Sigma : 0.001 [More...](#)

t-statistic : 1.144

Result : Data show no statistically significant trend (at a = 0.10).

Critical values :

	a = 0.10	a = 0.05	a = 0.01
Statistic tabl	1.654	1.975	2.606

### E. Estación Paruro

### Result

Test display

Choose a te

Summary Statistics

Mean :	11.425	Year count :	360
Median :	11.9		
Std Dev :	1.827		

#### Linear regression Test

Sigma : 0.001 [More...](#)

t-statistic : 1.144

Result : Data show no statistically significant trend (at a = 0.10).

Critical values :

	a = 0.10	a = 0.05	a = 0.01
Statistic tabl	1.654	1.975	2.606



**Anexo 06: Tabla estadística de tendencias de precipitación – Test Mann Kendall**

**A. Estación Pomacanchis**

### Result

Test display

Choose a te Mann-Kendall

Summary Statistics

Mean :	68.645	Year count :	348
Median :	54.05		
Std Dev :	67.399		

**Mann-Kendall Test**

Total S score : 554

Standard Deviation 2168.588

z-statistic : 0.255

Result : Data show no statistically significant trend (at  $\alpha = 0.10$ ).

Critical values :

	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$
Statistic tabl	1.645	1.96	2.576

**B. Estación Acomayo**

### Result

Test display

Choose a te Mann-Kendall

Summary Statistics

Mean :	71.423	Year count :	348
Median :	52.85		
Std Dev :	72.452		

**Mann-Kendall Test**

Total S score : 651

Standard Deviation 2168.588

z-statistic : 0.3

Result : Data show no statistically significant trend (at  $\alpha = 0.10$ ).

Critical values :

	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$
Statistic tabl	1.645	1.96	2.576



**C. Estación Ccatca**

### Result

Test display

Choose a te Mann-Kendall ▼

Summary Statistics

Mean : 53.627      Year count : 348  
 Median : 35.3  
 Std Dev : 55.008

**Mann-Kendall Test**

Total S score : 1319  
 Standard Deviation 2168.588

z-statistic : 0.608  
 Result : Data show no statistically significant trend (at  $\alpha = 0.10$ ).

Critical values :

	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$
Statistic tabl	1.645	1.96	2.576

**D. Estación Sicuani**

### Result

Test display

Choose a te Mann-Kendall ▼

Summary Statistics

Mean : 59.122      Year count : 348  
 Median : 47.15  
 Std Dev : 57.302

**Mann-Kendall Test**

Total S score : 374  
 Standard Deviation 2168.588

z-statistic : 0.172  
 Result : Data show no statistically significant trend (at  $\alpha = 0.10$ ).

Critical values :

	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$
Statistic tabl	1.645	1.96	2.576



### E. Estación Paruro

**Result**

Test display: Choose a test: **Mann-Kendall**

Summary Statistics: Mean: 69.991, Median: 43.6, Std Dev: 74.238, Year count: 348

**Mann-Kendall Test**

Total S score: 725  
Standard Deviation: 2168.588

z-statistic: 0.334  
Result: Data show no statistically significant trend (at  $\alpha = 0.10$ ).

Critical values:

	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$
Statistic tabl	1.645	1.96	2.576

## Anexo 07: Tabla estadística de tendencias de precipitación – Test Regresión Lineal

### A. Estación Pomacanchis

**Result**

Test display: Choose a test: **Linear regressio**

Summary Statistics: Mean: 68.645, Median: 54.05, Std Dev: 67.399, Year count: 348

**Linear regression Test**

Sigma: 0.036 More...

t-statistic: 0.392  
Result: Data show no statistically significant trend (at  $\alpha = 0.10$ ).

Critical values:

	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$
Statistic tabl	1.655	1.975	2.606





### B. Estación Acomayo

## Result

Test display

Choose a te Linear regressio

Summary Statistics

Mean :	71.423	Year count :	348
Median :	52.85		
Std Dev :	72.452		

### Linear regression Test

Sigma : 0.039 More...

t-statistic : 0.35

Result : Data show no statistically significant trend (at  $\alpha = 0.10$ ).

Critical values :

	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$
Statistic tabl	1.655	1.975	2.606

### C. Estación Ccatca

## Result

Test display

Choose a te Linear regressio

Summary Statistics

Mean :	53.627	Year count :	348
Median :	35.3		
Std Dev :	55.008		

### Linear regression Test

Sigma : 0.029 More...

t-statistic : 0.831

Result : Data show no statistically significant trend (at  $\alpha = 0.10$ ).

Critical values :

	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$
Statistic tabl	1.655	1.975	2.606



### D. Estación Sicuani

## Result

Test display

Choose a te Linear regressio

Summary Statistics

Mean :	59.122	Year count :	348
Median :	47.15		
Std Dev :	57.302		

### Linear regression Test

Sigma : 0.031 More...

t-statistic : 0.264

Result : Data show no statistically significant trend (at  $\alpha = 0.10$ ).

Critical values :

	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$
Statistic tabl	1.655	1.975	2.606

### E. Estación Paruro

## Result

Test display

Choose a te Linear regressio

Summary Statistics

Mean :	69.991	Year count :	348
Median :	43.6		
Std Dev :	74.238		

### Linear regression Test

Sigma : 0.04 More...

t-statistic : 0.586

Result : Data show no statistically significant trend (at  $\alpha = 0.10$ ).

Critical values :

	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$
Statistic tabl	1.655	1.975	2.606



**Anexo 08: Registro fotográfico de la zona de estudio Nevados Japu Punta y Yayamari  
(Cordillera Vilcanota, Departamento del Cusco)**

