



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



**ANÁLISIS CUANTITATIVO DEL RETROCESO GLACIAR DE LA  
CORDILLERA DE HUAYHUASH, PERIODO 1976 - 2007**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. GERARDO EVAR QUISPE ESTOFANERO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AGRÍCOLA**

**PUNO – PERÚ**

**2015**



NOMBRE DEL TRABAJO

**ANÁLISIS CUANTITATIVO DEL RETROCE  
SO GLACIAR DE LA CORDILLERA DE HUA  
YHUASH, PERIODO 1976 - 2007**

AUTOR

**Gerardo Evar Quispe Estofanero**

RECUENTO DE PALABRAS

**9366 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**51835 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**69 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**19.6MB**

FECHA DE ENTREGA

**Jul 6, 2023 2:17 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Jul 6, 2023 2:18 PM GMT-5**

● **13% de similitud general**

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

- 13% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 5% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente



*Alfaro*  
Mg. Roberto Alfaro Alejo  
INGENIERO AGRICOLA  
Reg. CIP N° 63562



*[Signature]*  
D. Gerardo Evar Quispe Estofanero  
DIRECTOR UNIDAD DE INVESTIGACION  
FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA

Resumen



## DEDICATORIA

*Al Dios Todopoderoso y a quienes me guardan desde el cielo, quienes me dan la sabiduría día a día y la fe necesaria para seguir adelante.*

*A mis padres: Sr. Lucas A. Quispe Yanqui y Sra. Gardelina Estofanero Vargas, que con tanto esfuerzo y dedicación me han brindado su respaldo en PRO de mi formación profesional, y también me guían para ser un hombre de bien para la sociedad y al mismo tiempo un agente de cambio.*

*Papá y mamá, les dedico este trabajo con amor y cariño por su gran ejemplo de verdaderos padres, por el empuje, confianza y apoyo incondicionales que me han brindado en todos los momentos de mi vida para poder conseguir mis metas anheladas.*

*A mis hermanos: Evans, Humberto y Úrsula, que son mis ejemplos a seguir, como personas de bien para la sociedad y que me enseñan a seguir adelante.*

**Gerardo Evar Quispe Estofanero**



## AGRADECIMIENTOS

Al Dios Todopoderoso, por darme un día más de vida y la oportunidad de escalar un paso más hacia adelante.

A la Universidad Nacional del Altiplano, que me brindó la oportunidad y el aprendizaje necesario para la culminación de esta meta.

A los docentes de la Facultad de Ingeniería Agrícola, en especial a mi asesor y director de tesis.

**Gerardo Evar Quispe Estofanero**



# ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN ..... 12**

**ABSTRACT..... 13**

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

**1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA ..... 14**

**1.2. PROBLEMA GENERAL..... 15**

**1.3. PROBLEMAS ESPECÍFICOS ..... 15**

**1.4. OBJETIVO GENERAL ..... 15**

**1.5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... 15**

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

**2.1. ANTECEDENTES..... 16**

2.1.1. **Ámbito mundial ..... 16**

2.1.2. **Ámbito nacional..... 18**



<b>2.2. MARCO TEÓRICO</b> .....	22
2.2.1. Glaciología .....	22
2.2.2. Modelado glaciar del relieve .....	24
2.2.3. Cordillera y nevado .....	30
2.2.4. Retroceso glaciar .....	31
2.2.5. Imágenes satelitales LandSat .....	31
2.2.6. Función de tratamiento de imágenes .....	32
2.2.7. Teledetección .....	33
2.2.8. Investigación no experimental .....	37
2.2.9. Investigación retrospectiva .....	37
2.2.10. Investigación descriptiva .....	37
2.2.11. Recolección de datos .....	37
<b>2.3. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN</b> .....	38
2.3.1. Hipótesis general .....	38
2.3.2. Hipótesis específicas .....	38

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

<b>3.1. ZONA DE ESTUDIO</b> .....	39
3.1.1. Ubicación política .....	39
3.1.2. Ubicación geográfica .....	39
3.1.3. Extensión superficial .....	39
3.1.4. Descripción .....	40



3.1.5. Clima.....	41
3.1.6. Lagunas principales.....	41
3.1.7. Nevados más altos.....	42
<b>3.2. TIPO DE ESTUDIO .....</b>	<b>42</b>
<b>3.3. POBLACIÓN DE ESTUDIO.....</b>	<b>43</b>
<b>3.4. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....</b>	<b>43</b>
<b>3.5. TÉCNICA E INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>43</b>
3.5.1. Técnica.....	43
3.5.2. Instrumento .....	44
<b>3.6. RECURSOS PARA LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>44</b>
3.6.1. Recursos humanos.....	44
3.6.2. Recursos digitales .....	44
<b>3.7. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>45</b>
3.7.1. Determinación de la cobertura glaciar .....	45
3.7.2. Disminución de cobertura glaciar y tiempo de desaparición .....	46
<b>CAPÍTULO IV</b>	
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	
<b>4.1. RESULTADOS OBTENIDOS.....</b>	<b>49</b>
<b>4.2. DISCUSIÓN .....</b>	<b>51</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>54</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>55</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>56</b>



**ANEXOS**..... 61

**Área:** Ingeniería y tecnología

**Línea:** Recursos hídricos

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 05 de mayo del 2015



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Superficie glaciar, tasa de reducción anual y tasa de reducción por período. ..	19
Tabla 2. Superficie glaciar actualizada – ANA - 2013. ....	20
Tabla 3. Operacionalización de variables. ....	43
Tabla 4. Conversión de unidades (de m <sup>2</sup> a km <sup>2</sup> ). ....	49
Tabla 5. Variables estadístico-algebraicas y cálculos paramétricos. ....	50
Tabla 6. Año de la desaparición completa de la cobertura glaciar. ....	52



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Partes de un glaciar.....	23
Figura 2. Elementos del proceso de teledetección .....	36
Figura 3. Ubicación de la cordillera de Huayhuash.....	40
Figura 4. Imagen LandSat_5 – 2007.....	45
Figura 5. Imagen LandSat_5 - 2007 .....	46
Figura 6. Modelo matemático lineal obtenido mediante software Geogebra.....	50
Figura 7. Nevado Yerupajá.....	62
Figura 8. Nevado Siulá .....	63
Figura 9. Nevado Jirishanca.....	64
Figura 10. Imagen LandSat_1 - 1976 .....	65
Figura 11. Imagen LandSat_3 - 1980 .....	65
Figura 12. Imagen LandSat_5 - 1988 .....	66
Figura 13. Imagen LandSat_5 - 1996 .....	66
Figura 14. Imagen LandSat_5 - 1997 .....	67
Figura 15. Imagen LandSat_5 - 1998 .....	67
Figura 16. Imagen LandSat_5 - 1999 .....	68
Figura 17. Imagen LandSat_5 - 2000 .....	68
Figura 18. Imagen LandSat_5 - 2001 .....	69
Figura 19. Imagen LandSat_5 - 2007 .....	69



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

**ANA** : Autoridad Nacional del Agua.

**ENVI** : Environment or Visualizing Images (Medio Ambiente para la Visualización de Imágenes).

**m.s.n.m.** : Metros sobre el nivel del mar.

**NASA** : National Space and Space Administration (Espacio Nacional y Administración Espacial).

**SIG** : Sistema de Información Geográfica.



## RESUMEN

El presente trabajo titulado: “Análisis cuantitativo del retroceso glaciar de la cordillera de Huayhuash, periodo 1976 - 2007”, tuvo como objetivo general realizar el análisis cuantitativo del retroceso glaciar en la cordillera de Huayhuash, durante el periodo 1976 - 2007. La metodología, consistió en la recolección de datos cuantitativos de cobertura glaciar mediante los softwares ArcGIS 10.2 y ENVI 4.7, con la finalidad de construir un modelo matemático lineal ( $Y = 95.67 - 1.02X$ ), el cual nos ha permitido obtener los siguientes resultados: la cordillera de Huayhuash, durante el periodo 1976 - 2007, experimentó una pérdida de 31.62 km<sup>2</sup> en cobertura glaciar; por otro lado, pierde 1.02 km<sup>2</sup> en cobertura glaciar por año como razón de cambio promedio; asimismo, su cobertura glaciar desaparecerá por completo en 63 años (a partir del año 2007). En base a dichos resultados, se concluye que los glaciares de la cordillera de Huayhuash, retrocedieron de manera relevante, ya que así lo corroboran las 3 magnitudes cuantificadas (cobertura glaciar perdida, razón de cambio promedio en la disminución de cobertura glaciar y tiempo para la desaparición completa de cobertura glaciar), lo cual implica que se trata de una pérdida trascendental como fuente del recurso hídrico en los Andes.

**Palabras clave:** razón de cambio, retroceso glaciar, cobertura glaciar, tiempo de desaparición.



## ABSTRACT

The present work entitled: "Quantitative analysis of the glacier retreat of the Huayhuash mountain range, period 1976 - 2007", had as a general objective to carry out the quantitative analysis of the glacier retreat in the Huayhuash mountain range, during the period 1976 - 2007. The methodology, consisted of collecting quantitative data on glacier coverage using ArcGIS 10.2 and ENVI 4.7 software, in order to build a linear mathematical model ( $Y = 95.67 - 1.02X$ ), which has allowed us to obtain the following results: the Cordillera de Huayhuash, during the period 1976 - 2007, experienced a loss of 31.62 km<sup>2</sup> in glacier cover; on the other hand, it loses 1.02 km<sup>2</sup> in glacier cover per year as the average rate of change; likewise, its glacial coverage will completely disappear in 63 years (starting in 2007). Based on these results, it is concluded that the glaciers of the Huayhuash mountain range retreated significantly, since this is corroborated by the 3 quantified magnitudes (lost glacier cover, average rate of change in the decrease in glacier cover and time for the complete disappearance of glacier cover), which implies that it is a transcendental loss as a source of water resources in the Andes.

**Keywords:** rate of change, glacier retreat, glacier cover, time of disappearance.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

Tanto en casquetes como en montañas, a nivel mundial existe un notable retroceso de cobertura glaciaria, por lo que cada año, tienden a desaparecer más (Gil, 2012; Bello et al., 2023).

Una de las fuentes indispensables del recurso hídrico para los ecosistemas andinos, son los glaciares tropicales; casi el 100% se encuentran en la cordillera de los Andes (8% en Ecuador, Colombia y Venezuela, 20% en Bolivia y 71% en Perú); estos están desapareciendo rápidamente y según los pronósticos climáticos, se especula que la mayoría de glaciares por debajo de los 5000 m.s.n.m. desaparecerán aproximadamente en el año 2050 (Iju, 2013; Kronenberg et al., 2016).

Según la ANA (2014), los nevados cordilleranos del Perú durante 40 años, a partir de 1970, han experimentado una pérdida del 42.64% en cobertura glaciaria; una de estas cordilleras nevadas que se encuentra en retroceso, es la denominada cordillera de Huayhuash.

El trabajo de investigación, científicamente será importante porque nos permitirá conocer cuánto retroceden los glaciares de montaña de la cordillera de Huayhuash, todo mediante un análisis cuantitativo; de esta manera, se estará aportando a la glaciología con la obtención de nuevos datos cuantitativos, todo después de una investigación aplicada.



## **1.2. PROBLEMA GENERAL.**

¿Cuánto retroceden los glaciares de la cordillera de Huayhuash?

## **1.3. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.**

¿Cuánta fue la cobertura glaciar perdida que experimentó la cordillera de Huayhuash durante su retroceso en el periodo 1976 - 2007?

¿Cuál es la razón de cambio promedio en la disminución de cobertura glaciar durante el retroceso que experimenta la cordillera de Huayhuash?

¿Cuál será el tiempo para la desaparición completa de la cobertura glaciar en la cordillera de Huayhuash, a partir del año 2007?

## **1.4. OBJETIVO GENERAL.**

Conocer, cuánto retroceden los glaciares de la cordillera de Huayhuash.

## **1.5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

Cuantificar la cobertura glaciar perdida que experimentó la cordillera de Huayhuash durante su retroceso, en el periodo 1976 - 2007.

Determinar la razón de cambio promedio en la disminución de cobertura glaciar durante el retroceso que experimenta la cordillera de Huayhuash.

Determinar el tiempo para la desaparición completa de la cobertura glaciar en la cordillera de Huayhuash, a partir del año 2007.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES.

##### 2.1.1. Ámbito mundial.

##### a. Cordillera de los Andes – Argentina – paralelos 42° y 43°.

Un trabajo relacionado con el tema de investigación, se sustentó como tesis doctoral en la escuela profesional de Ciencias Geológicas (Universidad de Buenos Aires - Argentina) por el entonces *Lic. Lucas Ernesto Ruiz*; cuyo título es: *“Análisis geomorfológico, sedimentológico y cronoestratigráfico, de depósitos glaciales, periglaciales y glaciogénicos, en la Cordillera de los Andes y zonas adyacentes entre el paralelo 42° y el 43° LS, desde la última glaciación”*, (Ruiz, 2014).

Con respecto al resumen, este trabajo se relaciona con la investigación, ya que nos indica lo siguiente:

En 531 glaciares identificados, que inicialmente abarcaron una cobertura glaciaria de 149 km<sup>2</sup>; a partir del año 1987, experimentaron una disminución de 20 km<sup>2</sup> hasta el año 2007, lo que representó el 12 % de cobertura glaciaria perdida.

##### b. Valle de México.

Otro trabajo relacionado con el tema de investigación, se sustentó como tema de tesis en la escuela profesional de Física (Universidad Nacional Autónoma de México) por la entonces *Bach. Aura Pérez Rodríguez*; cuyo título es:



“Evolución de la isoterma 0°C en el valle de México desde 1950 y su relación con el cambio climático”, (Pérez Rodríguez, 2010).

Con respecto a la discusión (en lo referente a la relación con los glaciares), este trabajo se relaciona con la investigación, ya que nos indica lo siguiente:

Durante el periodo 1959 – 1982, hubo una pérdida en cobertura glaciar de 0.506 km<sup>2</sup>, lo que representó un ascenso de  $68.92 \pm 0.5$  m; mientras que en el periodo 1982 –1994, la pérdida anual en cobertura glaciar fue de 0.021 km<sup>2</sup>, lo que representó un ascenso de  $1.179 \pm 0.5$  m en promedio cada año.

Por otra parte, a partir del año 1994 hasta el 2001, el retroceso en cobertura glaciar fue de 0.025 km<sup>2</sup> por año, lo que representó un ascenso de  $7.149 \pm 0.5$  m por año; mientras que en el periodo 2001 – 2006, la pérdida en cobertura glaciar fue de 0.026 km<sup>2</sup> por año y un ascenso altitudinal de  $18.2 \pm 0.5$  m.

Finalmente, durante el periodo 2006 – 2007, el retroceso en cobertura glaciar fue de 0.032 km<sup>2</sup> por año, lo que representó una subida altitudinal de  $18 \pm 0.5$  m.

### **c. Los andes tropicales.**

Un tercer trabajo relacionado con el tema de investigación, se publicó como artículo por parte de Rabatel, *et al.*, (2013); cuyo título es: “*Current state of glaciers in the tropical Andes: a multi-century perspective on glacier evolution and climate change*”.

Con respecto al resumen, este trabajo se relaciona con la investigación, ya que nos indica lo siguiente:



Durante el periodo 1964 – 1975, los Andes tropicales experimentaron un ascenso en cobertura glaciaria de 0.2 m por año; mientras que en el periodo 1976 – 2010, el ascenso en cobertura glaciaria aumentó, ya que este fue de 0.76 m por año.

Las coberturas glaciares están retrocediendo en todas las zonas de los Andes tropicales, sobre todo con mayor notabilidad y trascendencia en glaciares pequeños con altitudes bajas, ya que no tienen una zona de acumulación permanente, por lo que podrían desaparecer en los próximos años o décadas.

### **2.1.2. Ámbito nacional.**

#### **a. Cordillera de Vilcabamba - regiones de Cusco y Apurímac.**

Un trabajo relacionado con la investigación, se sustentó como tema de tesis en la escuela profesional de Geografía y Medio Ambiente (Pontificia Universidad Católica del Perú - Lima) por la entonces *Bach. Lucía Yesabell Guardamino Soto*; cuyo título es: “*Análisis de la evolución de las lagunas de alta montaña en la cordillera del Vilcabamba (Cusco y Apurímac) entre los años 1991 - 2014 mediante métodos de sensoramiento remoto y SIG*”, (Guardamino Soto, 2014).

Con respecto a los resultados (en lo referente al estudio multitemporal de coberturas glaciares), este trabajo se relaciona con la investigación, ya que nos indica lo siguiente:

Las coberturas glaciares de la cordillera de Vilcabamba, se ha reducido de 200.30 a 98.36 km<sup>2</sup> entre 1991 y 2014, tal cual lo indica la tabla 1.

**Tabla 1.** Superficie glaciar, tasa de reducción anual y tasa de reducción por período.

Año	Área glaciar (km <sup>2</sup> )	Tasa de reducción por período (%)	Tasa de reducción anual (%)
1991	200.30	-----	-----
2001	144.69	27.76	2.52
2010	108.16	25.36	2.54
2014	98.36	9.80	1.81

*Fuente: Tesis de la Bach. Lucía Yesabell Guardamino Soto.*

### **b. Nevado Pastoruri.**

Otro trabajo relacionado con la investigación, se ejecutó como tema de tesis en la escuela profesional de Ingeniería Geográfica (Universidad Nacional Mayor de San Marcos - Lima) por el entonces *Est. Yonatan Tarazona Coronel*; cuyo título es: “*Aplicación de la teledetección como una herramienta para el análisis multitemporal del retroceso glaciar en el nevado Pastoruri debido al cambio climático*”, (Tarazona Coronel, 2012).

Con respecto a los resultados, este trabajo se relaciona con la investigación, ya que nos indica lo siguiente:

Aproximadamente para el año 2064, ya no existirá cobertura glaciar, por lo que se habrá perdido un recurso hídrico que no volverá jamás.

### **c. Cordilleras nevadas del Perú.**

Un tercer trabajo relacionado con el tema de investigación, se publicó como tema de glaciología por parte de la Autoridad Nacional del Agua (Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos), cuyo título es: “*Inventario de glaciares y lagunas*”, ANA (2014).

Con respecto a la introducción, este trabajo se relaciona con la investigación, ya que nos indica lo siguiente:

En Perú, sus cordilleras han registrado una pérdida del 42.64% en cobertura glaciaria durante los últimos 40 años a partir de 1970; siendo los glaciares pequeños, los más susceptibles al cambio de superficie glaciaria, tal cual lo indica la tabla 2.

**Tabla 2.** Superficie glaciaria actualizada – ANA - 2013.

<b>Cordillera</b>	<b>Superficie glaciaria (km<sup>2</sup>) según imagen satelital</b>	<b>Año de la imagen satelital</b>	<b>Superficie glaciaria (km<sup>2</sup>) según Hidrandina S.A. (1970)</b>
Blanca	527.62	2003	723.37
Huallanca	7.01	2007	20.91
Huayhuash	55.27	2007	84.97
Raura	28.34	2007	55.2
Huagoruncho	9.71	2009	23.4
La Viuda	6.03	2007	28.6
Central	51.91	2007	116.65
Huaytapallana	26.4	2009	59.08
Chonta	1.4	2009	17.85
Urubamba	26.39	2009	41.48
Vilcabamba	129.15	2009	37.74
Apolobamba	45.25	2010	81.12
Carabaya	34.53	2009	104.23
Vilcanota	279.4	2009	418.43
La Raya	3.06	2010	11.27
Volcánica	0.72	-	-
Huanzo	4.51	2010	36.93
Chila	0.93	2010	33.89
Ampato	60.96	2010	146.73

*Fuente: ANA (2013).*

#### **d. Cordillera La Raya.**

Un cuarto trabajo relacionado con el tema de investigación, se sustentó como tema de tesis en la escuela profesional de Ingeniería Topográfica y Agrimensura (Universidad Nacional del Altiplano - Puno) por el entonces *Bach.*



*Efraín Yury Turpo Cayo*; cuyo título es: “*Determinación del retroceso glaciar de la cordillera La Raya mediante imágenes satelitales Landsat, 1975 - 2013*”, (Turpo Cayo, 2014).

Con respecto a las conclusiones, este trabajo se relaciona con la investigación, ya que nos indica lo siguiente:

La cordillera La Raya se encuentra en su etapa de retroceso, ya que en los últimos 38 años (1975 – 2013) se han perdido 2018.59 ha de superficie glaciar y tiende a desaparecer prontamente.

La cordillera la Raya, tendría superficie glaciar “0” aproximadamente dentro de 15 o 20 años como se suponía, lo cual es compatible con la variación de temperatura mundial.

#### **e. Andes tropicales del Perú.**

Un quinto trabajo relacionado con el tema de investigación, se publicó como artículo por parte de Schauwecker, *et al.*, (2017); cuyo título es: “*The freezing level in the tropical Andes, Peru: An indicator for present and future glacier extents*”.

Con respecto al resumen, este trabajo se relaciona con la investigación, ya que nos indica lo siguiente:

El balance de la cobertura de los glaciares tropicales en Perú, es altamente sensible al aumento de la altura del nivel de congelación, principalmente debido a la disminución de la zona de acumulación y el aumento de energía en la zona de ablación.



Las proyecciones del modelo climático, revelan que para fines del siglo XXI, la altura del nivel de congelación aumentará en 850 m ( $\pm 390$  m), lo que implica que los glaciares, podrán permanecer únicamente en las cumbres más altas, por encima de los 5800 m.s.n.m.

## **2.2. MARCO TEÓRICO.**

### **2.2.1. Glaciología.**

Para Videla (2007), “es una ciencia de la tierra, que se encarga de los múltiples fenómenos actuales, así como también las formaciones geológicas, relacionada con la extensión, procesos dinámicos, e implicancias del agua en estado sólido, en todas las formas que pueda presentarse en la naturaleza (granizo, nieve, hielo, glaciares, etc.).

Según el comité científico “Océano - Éxito” (1975), “es la rama de la geología física que estudia los glaciares, o más ampliamente, las diversas formas en que el hielo se presenta en la naturaleza”.

#### **a. Partes de un glaciar.**

##### **a.1. Zona de acumulación.**

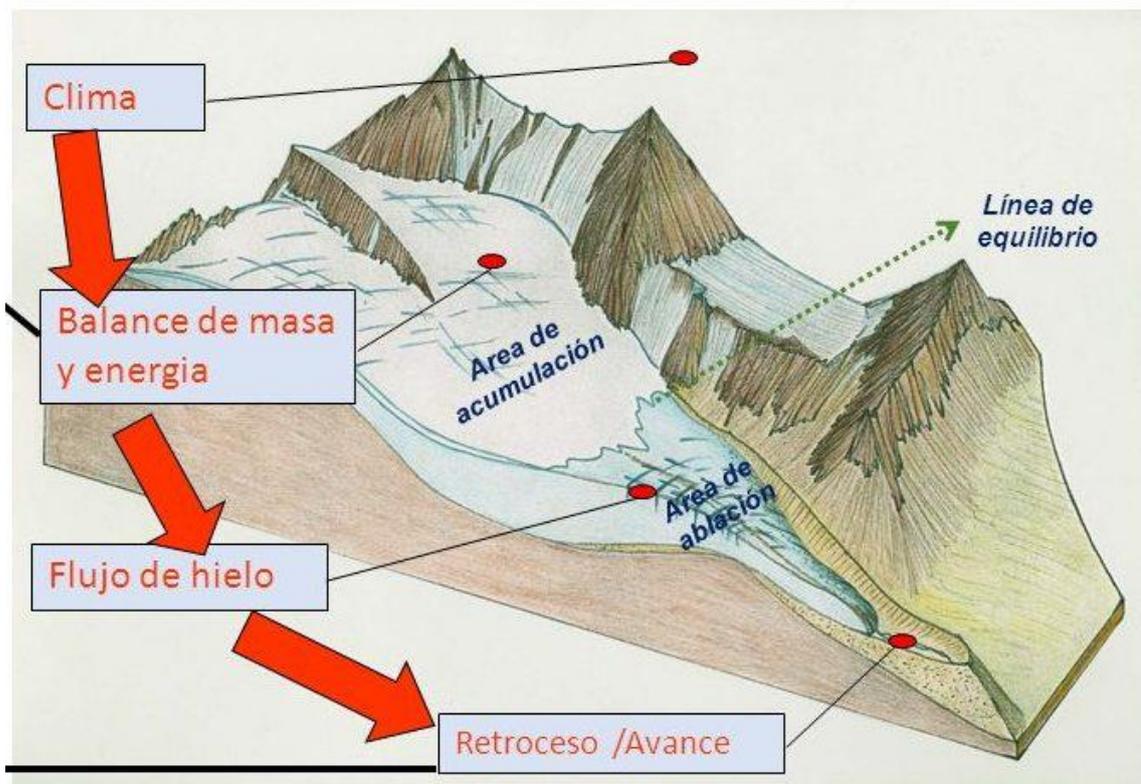
Según el portal “BIOLOGÍA-GEOLOGÍA.COM” (2017), “Es la parte más alta del glaciar, ubicada en la cabecera del valle; es aquí donde se depositan y almacenan las precipitaciones en forma de nieve, que se irán endureciendo y transformando en hielo a lo largo del tiempo.

### a.2. Zona de ablación.

Según el portal “BIOLOGÍA-GEOLOGÍA.COM” (2017), “Es la parte más baja del glaciar; es aquí donde las pérdidas de hielo son mayores que las ganancias (mediante sublimación, evaporación y sobre todo por fusión).

### a.3. Línea de equilibrio.

Según el portal “BIOLOGÍA-GEOLOGÍA.COM” (2017), “Es el límite entre las zonas de acumulación y ablación; es aquí donde la cantidad de hielo permanece estable; según sea el balance neto, la línea de equilibrio se mueve año tras año”.



*Figura 1. Partes de un glaciar.*



### **2.2.2. Modelado glaciar del relieve.**

Para Choquehuanca (1997), “los glaciares como agentes del modelado, desempeñan un papel muy importante en el modelado del relieve continental; los relieves formados por los glaciares y la misma actividad glaciar, se llaman morfología y erosión glaciar; la erosión y el modelado glaciar, se realizan a través de la excavación, transporte y deposición.

La excavación (desgaste), que se llama “exaración”, consiste en la destrucción de las rocas por los glaciares que se mueven sobre las superficies continentales, acarreando los productos de la denudación (canto, arena, guijarro y arcilla hacia su margen); incluye también el transporte y la deposición de sedimentos por acción del hielo”, (Choquehuanca, 1997).

#### **a. Glaciares.**

Para Choquehuanca (1997), “Son grandes masas de hielo muy extendidas y de movimiento lento, formados por la recristalización de la nieve.

Holmes (1980), lo define como “masas de hielo, que bajo la acción de la gravedad, corren a partir de los campos de nieve de la cuenca de alimentación donde se originan”. Para Longwell (1983), un glaciar “es un cuerpo de hielo, que fluye sobre la superficie del terreno y que consta principalmente de nieve cristalizada”. Para Camargo Mendes (1984), “son grandes masas de hielo perenne, que presentan evidencias de dislocamiento actual o pretérito”. Para Strahler (1987), el glaciar “es una gran acumulación natural de hielo, capaz de desplazarse por gravedad.



El hielo de un glaciar, se forma por acumulación de nieve en forma de neviza.

Los glaciares son sistemas abiertos, donde el flujo de energía penetra por la zona de acumulación (circo), se mueve en forma de hielo por gravedad (hasta los niveles inferiores) y, abandona el sistema por fusión y evaporación en la zona de ablación”, (Choquehuanca, 1997).

Según la asociación “QA Internacional” y el grupo “La República” (2006), “Son masas de hielo que se desplazan hacia abajo, por acción de la gravedad, desde un área de acumulación; se forman en regiones de alta montaña y latitudes septentrionales, donde se acumula más nieve en invierno, de la cual se derrite en verano; estos lugares, son definidos por los geógrafos, como los límites de las nieves perpetuas; por ejemplo: en el caso de la cordillera alpina, su formación se da a los 3000 m.s.n.m., mientras que en los polos, coincide con el nivel del mar”.

Según el comité científico “Océano - Éxito” (1975), “es la corriente de hielo en la que éste, acumulado en una región elevada, se descarga y se funde lentamente en una región inferior, y desaparecería si la zona de acumulación no suministrara más hielo.

El fenómeno de la formación de los hielos (glacialismo), está estrechamente conectado con el de nivación, término con el que se suele designar el conjunto de los fenómenos que transforman la superficie del suelo (en las regiones donde las nieves caen abundantemente), formando un manto que puede ser temporal o permanente; en el segundo caso, la nieve se transforma en hielo”. (Comité científico “Océano - Éxito”, 1975).



Según la asociación “QA Internacional” y el grupo “La República” (2009), “Todas las regiones de nieves eternas, no importa que se encuentren cerca de los polos o en la cumbre de altas montañas, ni en que latitud se hallen, poseen glaciares; efectivamente, casi el 10% de las tierras emergidas (sobre todo la Antártica y Groenlandia), están cubiertas por masas de hielo que se desplazan por la acción de su propio peso; los glaciares de las montañas, descienden los valles a una velocidad de 100 a 200 m por año”.

Según el portal “Comunidad Andina” (2007), “Es la masa de hielo que transforma agua sólida (granizo, nieve o escarcha) en forma líquida (mediante escurrimiento por el torrente emisario) o en forma de vapor (mediante evaporación o sublimación)”.

Para Zubieta y Lagos (2009), “Es la masa de hielo perpetua, formada por acumulación de nieve; fluye lentamente mediante deformación y deslizamiento”.

Según la ONG “Greenpeace” de Argentina (2004), “Son las masas de hielo que se constituyen en un sistema dinámico, ya que se desplazan mediante la gravedad (deformándose, sedimentando, erosionando y generando grietas)”.

#### **b. Tipos de glaciares.**

Para Choquehuanca (1997), “Holmes (1980), lo divide en 3 clases: mantos y casquetes, glaciares de valle o de montaña y glaciares de piedemonte. Nosotros consideramos, compartiendo con el criterio de muchos autores, 2 clases:

1. Glaciares de montaña o valle. Llamados también glaciares alpinos (por los estudios efectuados en los Alpes), se forman en la parte superior de



los valles de altas montañas, por encima de las líneas de nieve, a causa de bajas temperaturas; presentan un movimiento lento hacia abajo y siguen los antiguos valles fluviales, tienen cierta similitud con el sistema fluvial; se presentan en altas montañas, como: los Andes, el Himalaya, las Rocosas, los Alpes, etc.; la coalescencia de varios glaciares de valle, forman glaciares de piedemonte.

2. Glaciares polares. Llamados también islands, calotas glaciares o glaciares continentales; se encuentran en latitudes altas o polares, formando grandes casquetes de hielo que cubren tanto las áreas continentales como marinas; se desarrollan a partir del centro de una masa terrestre, hasta pueden cubrir una gran parte del continente, incluyendo tanto tierras altas como tierras bajas; de vez en cuando, sobresalen los picos llamados “nunatak” (Matthews 1968); por ejemplo: los mantos continentales de hielo de Groenlandia y la Antártida”.

Según la asociación “QA Internacional” y el grupo “La República” (2006),

“Los tipos de glaciares son:

1. De valle o alpinos. Pequeños confinados en valles montañosos.
2. De casquete. Su gran extensión, puede cubrir una cadena montañosa.
3. De desbordamiento. Lenguas de hielo que se extienden valle abajo.
4. Continentales de casquete. Son los más grandes, la Antártida y Groenlandia son ejemplos de ellos”.



Según el comité científico “Océano - Éxito” (1975), “El glaciario local, es típico de las regiones templadas o cálidas; las cuencas de recepción, se distinguen con claridad; las montañas más elevadas, emergen grandiosas y las lenguas, descienden por los valles, bien diferenciadas entre sí; esta forma de glaciario, presenta varios tipos:

1. Tipo alaskiense. Es característico de las zonas templadas frías, donde los relieves presentan formas grandiosas, erizadas en las puntas y escarpadas como en las montañas jóvenes; las cuencas de recepción son muy vastas y la nieve cubre como un gran manto, toda la zona superior del relieve (del que emergen las cimas más elevadas); las lenguas, descienden por los valles como inmensas riadas y reciben durante su curso otros afluentes, los glaciares menores.

La riada, sobrepasa los valles y se dilata por las llanuras de menor altitud, abriéndose en frentes amplios y llanos, que reciben el nombre de glaciares de piedemonte; los más típicos ejemplos, se encuentran en Alaska, en especial en la vertiente del Pacífico (más húmeda que la Ártica).

2. Tipo noruego. Es característico de las regiones subárticas y de los relieves de formas redondeadas, como es el caso de las montañas antiguas de Noruega.

La vastísima cuenca de recepción, se extiende por las altiplanicies, formando los llamados icefields (campos de hielo); por los lados, descienden varias corrientes, que descargan la masa de hielo en la cuenca superior; estas corrientes de descarga, se llaman icestrüems.



El mayor y más conocido ejemplo de glaciar noruego, es el Jostedalsbre; en los Alpes escandinavos meridionales, su superficie total supera los 800 km<sup>2</sup>; los frentes, a menudo descienden casi hasta el nivel del mar; la línea de las nieves perpetuas, se sitúa en torno a los 1100 - 1200 m.s.n.m.

3. Tipo himalayense o compuesto. Es característico de los altísimos relieves del Asia Central; las cuencas de recepción, son muy vastas dada la notable altitud media de estos sistemas asiáticos; por eso también son grandes las lenguas, que descienden a lo largo de decenas de kilómetros hacia los grandes valles, recibiendo por sus lados, otros numerosos glaciares afluentes; los frentes están situados a gran altura.

Existen así mismo, ejemplos en los Alpes: glaciares del Aletsch, de la Mer de Glace, del Gorner, etc. En el Karakorum, es famoso el del Baltoro (de más de 60 km de longitud).

4. Tipo alpino o simple. Es característico de los relieves de la zona templada, donde las formas son aún jóvenes, con ásperas paredes y valles profundos (por donde se extienden los glaciares), diferenciándose bien entre sí; este tipo se denomina también simple, se distinguen claramente en él: una cuenca de recepción (más veces en forma de circo) y una lengua que desciende hasta los más elevados valles; es éste, el tipo clásico de glaciar conocido y estudiado más tiempo.

5. Tipo pirenaico. Si la modesta altura del relieve y la escasamente abundante humedad, no permiten el desarrollo completo del aparato



- glaciar, éste se limita a la cuenca de recepción y carece de lengua; puede adoptar varias formas, según la morfología del lugar donde se ha formado, así se tienen: glaciares de circo, de altiplanicie, de terraza, de quebrada, de manto, de alud, etc.; son característicos de la cordillera pirenaica, sin embargo, también son muy numerosos en los Alpes.
6. Tipo ecuatorial. Dadas las condiciones climáticas y la altura del límite de las nieves perpetuas, las cuencas de recepción, cubren sólo las más elevadas cimas de los relieves de la zona ecuatorial; las lenguas, breves en su desarrollo, descienden por vallecitos, que se abren en las laderas del monte y se detienen con sus frentes a notable altura; se encuentran en los macizos del África Oriental.
  7. Glaciares de volcanes. Se recuerdan por su forma a los de tipo ecuatorial, pero a menudo están más desarrollados; se forman en los grandes conos volcánicos, donde las cuencas de recepción (aún extensas), envuelven la parte superior del cono; el glaciar, se descarga por los valles que de manera radial están excavados en las laderas del volcán; el ejemplo más conocido, es el de la montaña Reynier (en las Montañas Rocosas)".

### **2.2.3. Cordillera y nevado.**

#### **a. Cordillera.**

Según el portal “Biblioteca del Congreso Nacional de Chile - Información territorial” (2021), “Es la sucesión de montañas enlazadas entre sí, que en conjunto forman una unidad orográfica”.



## **b. Nevado.**

Para García - Pelayo (1987), “Es la montaña cubierta por nieve perpetua”.

### **2.2.4. Retroceso glaciar.**

Para Gil (2012), “Es el ascenso de la línea inferior de las nieves perpetuas de alta montaña, cada vez a mayor altitud, hasta desaparecer por completo, como consecuencia de la fusión glaciar (debido al adelgazamiento del espesor y la disminución de la extensión glaciar)”, (Gil, 2012).

Según el portal “Artigoo” (2015), “Desde el año 1850, los glaciares de todo el mundo, comenzaron a perder superficie; un tiempo de excepción fue el período 1940 - 1980, en el que se dio un ligero enfriamiento global y muchos glaciares recuperaron parte de su extensión. A partir de 1980, las temperaturas a nivel mundial, han seguido en aumento hasta el día de hoy, tanto que la mayoría de los glaciares del planeta, han desaparecido por completo o están seriamente amenazados; a este fenómeno, se denomina retroceso glaciar”.

### **2.2.5. Imágenes satelitales LandSat.**

Para Ramírez (2008), “El programa LandSat, es un proyecto experimental, calificado para establecer el valor de las fotografías con vasta resolución (cuyo elemento, es un cuadrado de 73 m). Años después, la NASA comenzó a efectuar una serie de investigaciones relacionadas con los siguientes temas: producción agrícola, forestación, cartografiado, etc.



Los instrumentos del programa LandSat, importantes para la fotogrametría, son el haz de retorno RBV y el sensor de escaneo MSS; el sensor MSS, ha sido el primero con el que fueron equipados los satélites de esta serie, la imagen proporcionada, constaba de 2340 líneas  $\times$  3240 columnas y su resolución espacial era de 80 m de lado por pixel; dicha imagen, contaba con cuatro bandas y una resolución radiométrica de 256 niveles de gris, la escena contaba con 185 km por lado.

Los programas LandSat 1 y 2, contaban con sistemas vidicón RBV de 80 m; mientras que en el LandSat 3, se sustituyó el sistema por otro de 40 m de resolución espacial y una sola banda como apoyo de las imágenes adquiridas con MSS; el programa LandSat 3, se diferencia del 1 y 2 en los siguientes aspectos: los 3 RBVs de los anteriores LandSat, fueron reemplazados por un RBV de banda simple (0.505 - 0.75  $\mu$ m) con doble longitud focal; juntos, podían cubrir 2 veces más la amplitud en el suelo (comparado con los MSS) y 2 veces más la resolución.

Los programas LandSat 4 (1984) y LandSat 5 (1985), adquieren imágenes de 7 bandas con 30 m de resolución por píxel (a excepción del canal térmico, que cuenta con 120 m); estos últimos programas, fueron modificados considerablemente respecto a los anteriores, variando así la altura orbital y el periodo de cobertura”, (Ramírez, 2008).

#### **2.2.6. Función de tratamiento de imágenes.**

Para Bosque (1997), “Las funciones de gestión de imágenes, permiten por un lado, georreferenciar las imágenes en coordenadas geográficas y por otro lado, resaltar y clasificar las distintas zonas que pueden analizarse en la imagen.



El primer tratamiento que debe realizarse con una imagen (fotografía aérea o imagen escaneada de un plano) es la rectificación de las coordenadas de los puntos que componen dicha imagen, con el propósito de georreferenciar todos sus puntos correctamente; esta transformación puede ser en línea, para lo cual, basta con definir 3 puntos en la imagen (con las coordenadas de su punto homólogo en el SIG) a esta transformación se la conoce como calado por 3 puntos; solo podrán ser aplicados a imágenes que originalmente estén bien referenciadas (ortofotos o imágenes escaneadas en mapas convencionales) que estén en soporte indeformable”, (Bosque, 1997).

#### **2.2.7. Teledetección.**

Para Chuvieco (2010), “La teledetección, es la ciencia de adquirir y procesar información de la superficie terrestre mediante sensores instalados en plataformas espaciales, esto gracias a la interacción de energía electromagnética que existe entre el sensor y la Tierra”.

##### **a. Interpretación.**

Para Murillo (2010), “La interpretación, es el conjunto de técnicas y métodos que se utilizan para examinar fotografías e imágenes satelitales, con el propósito de obtener algún tipo de información temática”.



### **b. Información espacial.**

Para Murillo (2010), “La información espacial, se relaciona con la habilidad para identificar diferentes rasgos que se hallan registrados en la imagen, (calidad, tamaño, textura, etc.)”.

### **c. Modelo Raster.**

Para Gutiérrez (2005), “Los modelos Raster, constan de un gran número de celdas tipo grilla (organizadas en filas y columnas); en la representación de puntos, líneas y áreas en una estructura Raster, un punto es representado como un píxel sencillo, mientras que una línea está representada como una sucesión del píxel y darán una apariencia angular; por último, un área es representada como un grupo de píxel”.

### **d. Imagen Bits.**

Para Murai (1997), “Un conjunto secuencial de bits, representa en la memoria, una imagen que puede visualizarse en la pantalla, sobre todo en los sistemas que disponen de interfaz gráfico para el usuario.

Cada bit (dentro de una imagen) corresponde a un píxel en la pantalla; la propia pantalla, representa una única imagen de bits; de forma similar, las configuraciones de puntos para todos los caracteres de una fuente, representan la imagen de bits en dicha fuente.

En equipos informáticos como el Macintosh 512 K (con pantalla en blanco y negro) los valores de bit dentro de una imagen, pueden ser 0 (para blanco) o 1



(para negro); la configuración de ceros y unos (en la imagen de bits) determina la disposición de puntos blancos y negros que forman una imagen en la pantalla.

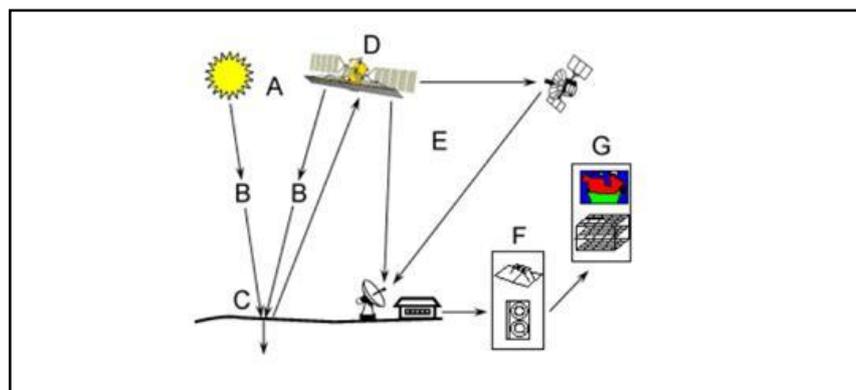
En equipos dotados de color, la descripción correspondiente a los bits en pantalla, se denomina imagen del píxel, ya que es necesario más de 1 bit para representar cada píxel; en los actuales Power Macintosh, se pueden representar combinaciones con 24 bits de color (que ajustan millones de colores)”, (Murai, 1997).

#### **e. Elementos del proceso de teledetección.**

Para Chuvieco (2010), “Los elementos del proceso de teledetección, fundamentalmente son los siguientes:

1. Fuente de energía o iluminación. El primer requerimiento en teledetección, es disponer de una fuente de energía que ilumine o provea energía electromagnética al objeto de interés.
2. Radiación y atmósfera. La energía que viaja (desde la fuente hasta el objeto) entra en contacto e interacciona con la atmósfera; esta interacción tiene lugar una segunda vez, cuando la energía viaja desde el objeto hasta el sensor.
3. Interacción con el objeto. La energía interactúa con el objeto, dependiendo de las propiedades de este y también de la radiación incidente.

4. Detección de energía por el sensor. Es indispensable un sensor remoto que recoja y grabe la radiación electromagnética, reflejada o emitida por el objeto y la atmósfera.
5. Transmisión, recepción y procesamiento. La energía grabada por el sensor, es transmitida normalmente en forma electrónica a una estación de recepción y procesamiento, donde los datos son convertidos a imágenes digitales.
6. Interpretación y análisis. La imagen procesada, se interpreta visual o digitalmente para extraer información acerca del objeto que fue iluminado o emitió radiación.
7. Aplicación. Es el paso final del proceso de teledetección, se alcanza al momento que aplicamos la información extraída de las imágenes del objeto, obteniendo así la información indispensable”, (Chuvieco, 2010).



**Figura 2.** Elementos del proceso de teledetección.



### **2.2.8. Investigación no experimental.**

Para Hernández, Fernández y Baptista (2006), “Es el estudio que se realiza sin la manipulación deliberada de las variables y en los que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para después analizarlos”.

### **2.2.9. Investigación retrospectiva.**

Para Hernández (2012), “Los estudios retrospectivos, son aquellos en los que el investigador, indaga sobre hechos ocurridos en el pasado”.

### **2.2.10. Investigación descriptiva.**

Para Carrasco (2005), “La investigación descriptiva, responde a las preguntas: ¿cómo son?, ¿dónde están?, ¿cuántos son?, ¿quiénes son?, etc.; es decir, nos dice y refiere sobre las características, cualidades internas y externas, propiedades y rasgos esenciales de los hechos y fenómenos de la realidad, en un momento y tiempo histórico concreto y determinado”.

### **2.2.11. Recolección de datos.**

Para Ayestaran (2011), “La técnica de recolección de datos, es el procedimiento de medición mediante el cual, es posible recopilar datos, es decir: validos, fiables y por tanto: de utilidad científica para los objetos en estudio, con el fin de resolver la pregunta planteada en la investigación”.



## **2.3. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN.**

### **2.3.1. Hipótesis general.**

Los glaciares de la cordillera de Huayhuash, tentativamente retroceden de manera significativa.

### **2.3.2. Hipótesis específicas.**

La cobertura glaciar perdida que experimentó la cordillera de Huayhuash durante su retroceso, en el periodo 1976 - 2007, tentativamente fue de 24.88 km<sup>2</sup>.

La razón de cambio promedio en la disminución de cobertura glaciar durante el retroceso que experimenta la cordillera de Huayhuash, tentativamente es de - 0.80 km<sup>2</sup>/año.

El tiempo para la desaparición completa de la cobertura glaciar en la cordillera de Huayhuash, a partir del año 2007, tentativamente será de 69 años.



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. ZONA DE ESTUDIO.

##### 3.1.1. Ubicación política.

La cordillera de Huayhuash, políticamente se ubica de la siguiente manera:

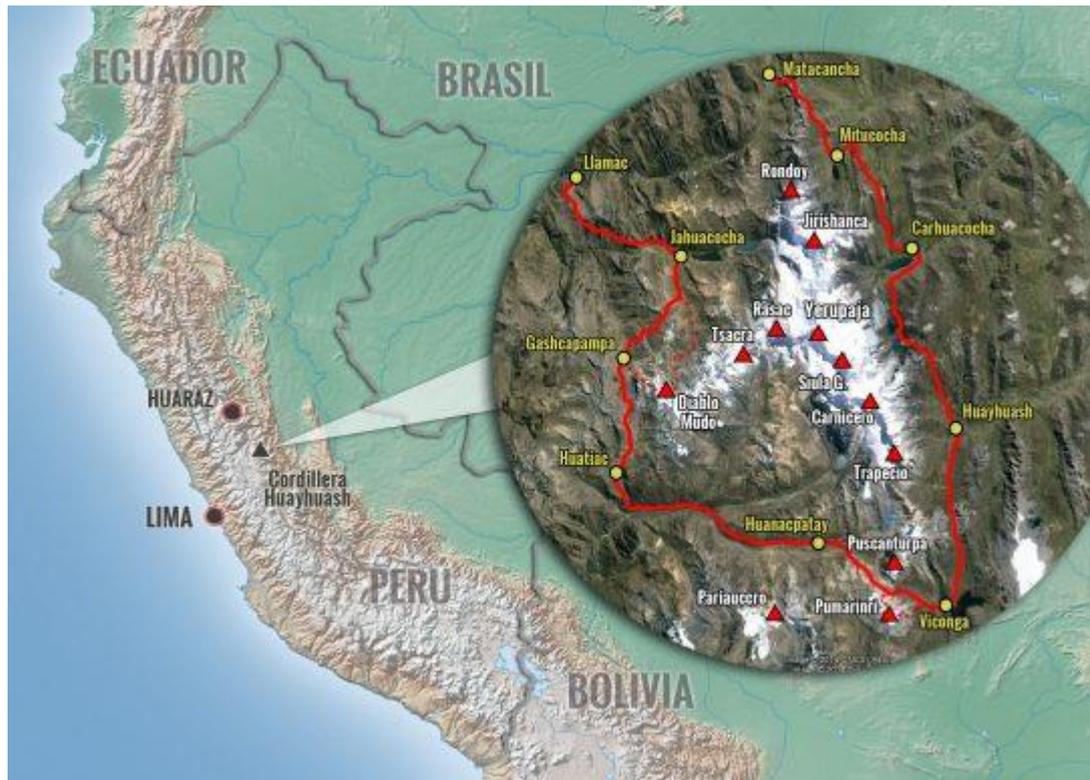
- Distritos : Cajatambo, Copa, Pacllón, Mangas, Queropalca, Jesús y San Miguel de Cauri.
- Provincias : Cajatambo, Bolognesi y Lauricocha.
- Regiones : Lima, Áncash y Huánuco.

##### 3.1.2. Ubicación geográfica.

La cordillera de Huayhuash, geográficamente se encuentra a  $10^{\circ} 30' 01''$  de latitud sur y  $76^{\circ} 45' 09''$  de longitud oeste, en la zona limitada por las regiones de Lima, Áncash y Huánuco (unos 50 km al sur de la cordillera Blanca).

##### 3.1.3. Extensión superficial.

La cordillera de Huayhuash, cuenta con una extensión superficial de  $675.90 \text{ km}^2$  (es parte de la cadena Occidental y los Andes del Norte).



*Figura 3. Ubicación de la cordillera de Huayhuash.*

*Fuente: Portal X-PLORE.*

#### **3.1.4. Descripción.**

La cordillera de Huayhuash, es talvez la más espectacular de los Andes continentales, posee una gran biodiversidad (ya que cuenta con una variedad de ecosistemas) y tiene un significativo potencial turístico (gracias a su incomparable belleza escénica); por estas y más razones, está considerada por la Comunidad Turística Internacional, como uno de los 10 mejores circuitos de trekking en el mundo.

Sus nevados empinados, superan a las cordilleras Blanca y Principal, e incluso a la misma cordillera del Himalaya; si bien las montañas de la cordillera de Huayhuash no son las más elevadas del mundo, si son de las más inclinadas e inaccesibles, tanto así que escalarlas, representa un verdadero reto para el hombre.



La cordillera de Huayhuash (después de la cordillera Blanca) es la segunda cadena montañosa más alta del mundo en la región tropical (cinco de sus nevados sobrepasan los 6000 m.s.n.m.) siendo el Yerupajá (6634 m.s.n.m.) su montaña más alta y el segundo nevado más alto del Perú.

Increíblemente, la cordillera de Huayhuash, a pesar de estar ubicada a una distancia de solo 120 km del océano Pacífico, su cresta forma parte del divortium acuarium continental, siendo el Yerupajá, el punto más alto de la gigantesca cuenca amazónica; las aguas de la escarpa oriental, discurren hacia el río Marañón (principal tributario del Amazonas).

### **3.1.5. Clima.**

En las cabeceras de los valles y montañas, el clima fluctúa bastante entre semitropical y polar; mientras que en los valles más bajos, el clima se presenta templado, tornándose cálido hacia los valles de los ríos Pativilca y Marañón.

A una altura de 4000 m.s.n.m., la temperatura promedio en el valle durante el día, es de 20°C (gracias al Sol); mientras que en la noche, la temperatura fluctúa entre 5 y 15°C (descendiendo a veces por debajo de los 0°C).

Las precipitaciones, normalmente se inician en el mes de octubre y se mantienen así hasta el mes de marzo (del año siguiente).

### **3.1.6. Lagunas principales.**

La cordillera de Huayhuash, presenta como lagunas principales, las siguientes:



- Laguna Jahuacocha (4050 m.s.n.m.).
- Laguna Solterococha (4122 m.s.n.m.).
- Laguna Mitucocha (4240 m.s.n.m.).
- Laguna Carhuacocha (4145 m.s.n.m.).
- Laguna Jurhuacocha (4480 m.s.n.m.).

### **3.1.7. Nevados más altos.**

Dentro de la cordillera de Huayhuash, cinco de sus nevados sobrepasan los 6000 m.s.n.m., estos son:

- Nevado Yerupajá (4050 – 6634 m.s.n.m.).
- Nevado Siulá (4050 – 6344 m.s.n.m.).
- Nevado Sarapo (4050 – 6143 m.s.n.m.).
- Nevado Jirishanca (4050 – 6126 m.s.n.m.).
- Nevado Rasac (4050 – 6040 m.s.n.m.).

### **3.2. TIPO DE ESTUDIO.**

No experimental (retrospectivo-descriptivo).

### 3.3. POBLACIÓN DE ESTUDIO.

Está constituida por todas las coberturas glaciares registradas para la cordillera de Huayhuash, durante el periodo 1976 - 2007 (10 datos, lo cual resulta trabajable), tratándose de un muestreo probabilístico (Alfaro y Gonzales, 2008), obtenidas desde las imágenes satelitales.

### 3.4. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.

**Tabla 3.** *Operacionalización de variables.*

Variables	Dimensiones	Indicadores	Ítems
<b>Variable dependiente:</b> Retroceso glaciar.	Cobertura glaciar perdida durante el retroceso.	km <sup>2</sup>	¿Cuánta fue la cobertura glaciar perdida que experimentó la cordillera de Huayhuash durante su retroceso, en el periodo 1976-2007?
	Razón de cambio promedio en la disminución de cobertura glaciar durante el retroceso.	km <sup>2</sup> /año	¿Cuál es la razón de cambio promedio en la disminución de cobertura glaciar durante el retroceso que experimenta la cordillera de Huayhuash?
<b>Variable independiente:</b> Tiempo.	Tiempo para la desaparición completa de la cobertura glaciar.	años	¿Cuál será el tiempo para la desaparición completa de la cobertura glaciar en la cordillera de Huayhuash, a partir del año 2007?

*Fuente: Elaboración propia.*

### 3.5. TÉCNICA E INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN.

#### 3.5.1. Técnica.

Recolección de datos.



### **3.5.2. Instrumento.**

Imágenes satelitales LandSat\_5.

## **3.6. RECURSOS PARA LA INVESTIGACIÓN.**

### **3.6.1. Recursos humanos.**

- Tesista : Bach. Gerardo Evar, QUISPE ESTOFANERO.
- Director : Dr. Germán, BELIZARIO QUISPE.
- Asesor : M.Sc. Roberto, ALFARO ALEJO.

### **3.6.2. Recursos digitales.**

#### **a. Software.**

- ENVI 4.7.
- ArcGIS 10.2.
- Geogebra.
- Microsoft Office 2013.

#### **b. Otros.**

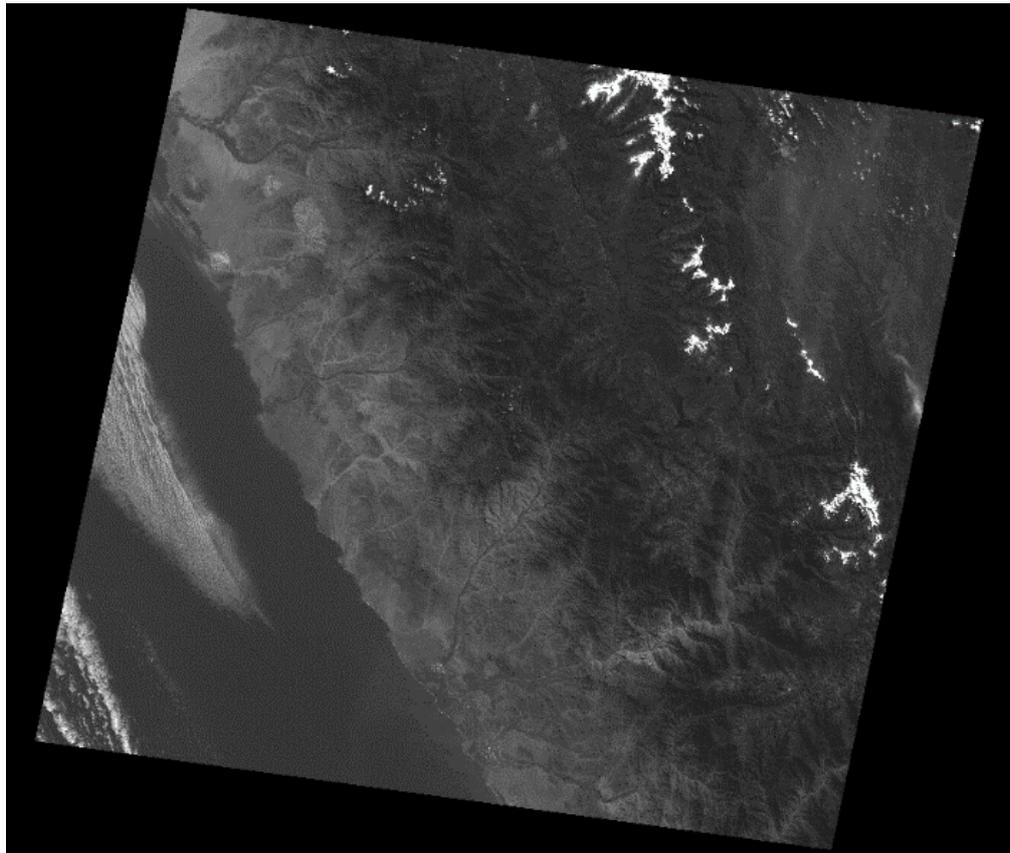
- Imágenes satelitales LandSat\_5.
- Recursos digitales de gabinete.

### 3.7. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.

#### 3.7.1. Determinación de la cobertura glaciar.

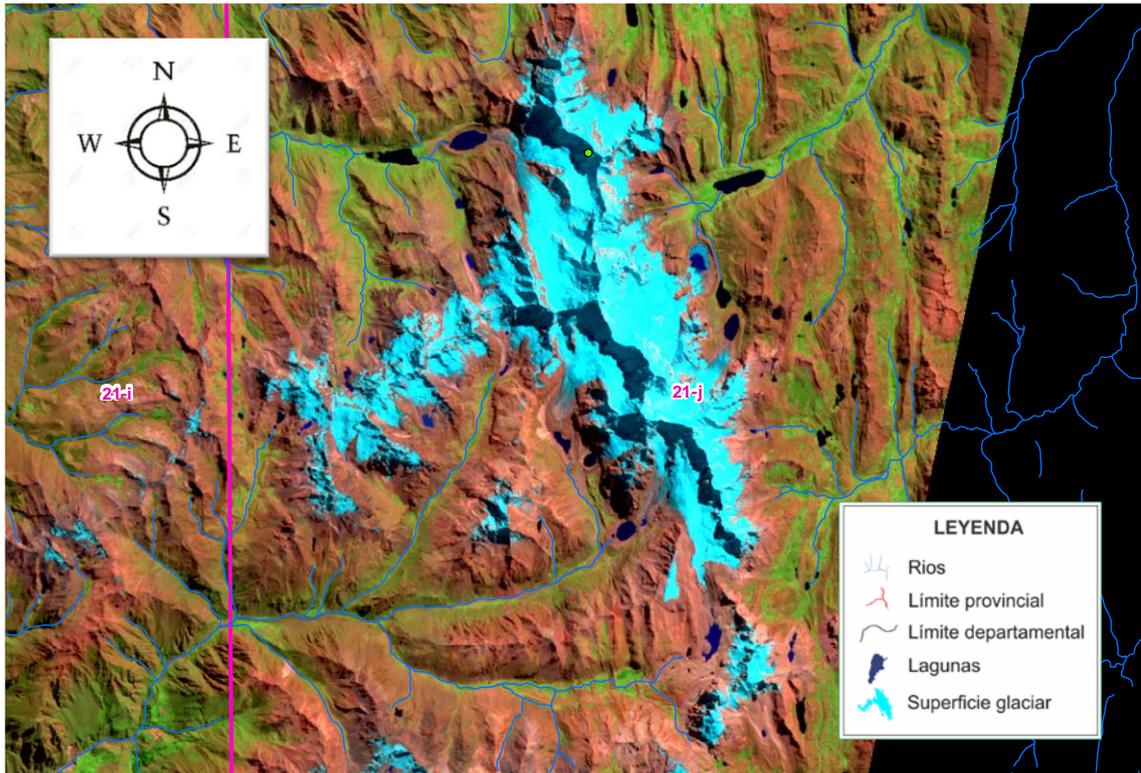
Debido a la fuerte reflectancia de la nieve y el hielo en el espectro VNIR mientras que para  $\lambda > 1.5\mu\text{m}$  tiene muy baja reflexión. De esta manera la imagen que relaciona dos bandas espectrales con diferentes reflectancias de la nieve y el hielo, permite la segmentación según las propiedades espectrales.

La relación de Landsat TM, Band4/Band5, muestra, buenos resultados para la segmentación de los glaciares y para las imágenes RASTER la relación Band3/ Band4; la clasificación de nieve por NDSI se puede utilizar para el mapeo de la zona cubierta de nieve y hielo en un glaciar, se calcula para TM y ETM+ de acuerdo a la relación,  $(\text{Band2}-\text{Band5}) / (\text{Band2} + \text{Band5})$ , (Puchuc y Acuña, 2014).



*Figura 4. Imagen LandSat\_5 – 2007.*

Los recursos de los softwares ArcGIS 10.2 y ENVI 4.7 (7 bandas con 30m de resolución por píxel), permiten proporcionar color a las imágenes LandSat; lo cual hace más fácil, seleccionar y cuantificar los datos de coberturas glaciares (en m<sup>2</sup>).



*Figura 5. Imagen LandSat\_5 - 2007.*

Después, se recolectaron digitalmente, el total de datos cuantificados disponibles (coberturas glaciares para la cordillera de Huayhuash, periodo 1976-2007), obteniendo así nuestra población, que se muestran en la tabla 4.

### **3.7.2. Disminución de cobertura glaciar y tiempo de desaparición.**

Para esta etapa, se establecieron las variables estadístico-algebraicas del caso, para luego proceder a efectuar la determinación de los parámetros del caso, para una regresión lineal (Alfaro y Gonzales, 2008), los cuales fueron:

$$y = a + b \cdot x$$



Parámetros iniciales:

$n = 10$  (cantidad de datos disponibles)

$X$  (tiempo transcurrido a partir del año 1976, medido en años)

$Y$  (cobertura glaciaria, medida en  $\text{km}^2$ )

$\sum X = 182$  (sumatoria total del parámetro  $X$ )

$\sum Y = 771.12$  (sumatoria total del parámetro  $Y$ )

$\sum X^2 = 4176$  (sumatoria total del parámetro  $X^2$ )

$\sum X * Y = 13149.14$  (sumatoria total del parámetro  $X*Y$ )

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} = \frac{182}{10}$$

$\bar{X} = 18.2$  (valor del tiempo promedio transcurrido a partir del año 1976, medido en años)

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{n} = \frac{771}{10}$$

$\bar{Y} = 77.11$  (valor de la superficie promedio de masa nevera, medida en  $\text{km}^2$ )

Parámetros principales:

$$b = \frac{\sum X * Y - n * \bar{X} * \bar{Y}}{\sum X^2 - n * (\bar{X})^2} = \frac{13149.14 - 10(18.2)(77.11)}{4176 - 10(18.2)^2}$$

$b = -1.02$  (pendiente del modelo matemático lineal)

$a = \bar{Y} - b * \bar{X} = 77.11 - (-1.02)(18.2)$



$a = 95.67$  (ordenada al origen del modelo matemático lineal)

Seguidamente, gracias a estos 2 parámetros principales, fue posible obtener el modelo matemático lineal, que fue el siguiente:

$$Y = 95.67 - 1.02X$$

Finalmente, en base a esta última ecuación, fue posible cuantificar nuestras magnitudes indagadas (cobertura glaciar perdida, razón de cambio promedio en la disminución de cobertura glaciar y tiempo para la desaparición completa de la cobertura glaciar).



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. RESULTADOS OBTENIDOS.

En la tabla 4 se muestra la cobertura glaciaria obtenida mediante el procesamiento de imágenes satelitales expresado en  $m^2$  y  $km^2$  ( $1km^2 = 1000000 m^2$ ), empleando el ENVI y ArcGIS, desde el año 1976 al 2007.

**Tabla 4.** *Conversión de unidades (de  $m^2$  a  $km^2$ ).*

Año de registro	Cobertura glaciaria ( $m^2$ )	Cobertura glaciaria ( $km^2$ )
1976	111664691.6	111.66
1980	75984570.8	75.98
1988	79546947.6	79.55
1996	77021001.8	77.02
1997	75420002.3	75.42
1998	47968787.1	47.97
1999	86974052.6	86.97
2000	84417258.3	84.42
2001	68562594.9	68.56
2007	63567110.2	63.57

**Fuente:** *Elaboración propia.*

Durante estos años, la reducción fue del 43.07 % de la cobertura glaciaria inicial; lo cual implica una pérdida importante como fuente del recurso hídrico en los Andes y por ende, la sequía del río Marañón, principal tributario del Amazonas.

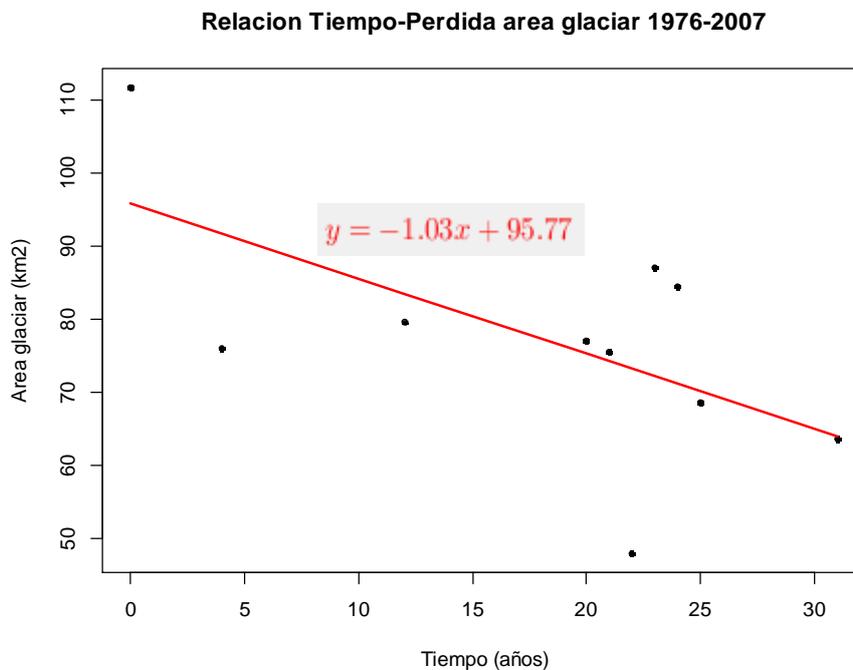
**Tabla 5.** Variables estadístico-algebraicas y cálculos paramétricos.

Año de registro	X (Tiempo transcurrido a partir del año 1976 - años)	Y (Cobertura glaciar - km <sup>2</sup> )	X <sup>2</sup>	X*Y
1976	0	111.66	0	0
1980	4	75.98	16	303.92
1988	12	79.55	144	954.6
1996	20	77.02	400	1540.4
1997	21	75.42	441	1583.82
1998	22	47.97	484	1055.34
1999	23	86.97	529	2000.31
2000	24	84.42	576	2026.08
2001	25	68.56	625	1714
2007	31	63.57	961	1970.67
Total	182	771.12	4176	13149.14

*Fuente:* Elaboración propia.

La obtención de los parámetros X<sup>2</sup> y X\*Y, se obtienen a partir de los parámetros X e Y.

Para cada columna que contiene algún parámetro, resulta fundamental realizar la sumatoria vertical.



**Figura 6.** Modelo matemático lineal obtenido mediante software Geogebra.



**Cobertura glaciár perdida.**  $\Delta Y$  para el periodo 1976-2007 (31 años)

$$CG_{(Perdida)} = f(0) - f(31) = 95.67 - 64.05$$

$$CG_{(Perdida)} = 31.62 km^2$$

**Razón de cambio promedio en la disminución de cobertura glaciár.**  $dY/dX$  (primera derivada de Y con respecto a X)

$$RC_{(Promedio)} = \frac{dY}{dX} = (95.67 - 1.02X)'$$

$$RC_{(Promedio)} = -1.02 km^2/año$$

**Tiempo para la desaparición completa de la cobertura glaciár.** Cuando  $Y=0$

$$0 = 95.67 - 1.02X$$

$$X = 94 \text{ años (año 2070)}$$

Ahora:

$$T_{(Desaparición completa)} = 2070 - 2007$$

$$T_{(Desaparición completa)} = 63 \text{ años (a partir del año 2007)}$$

## 4.2. DISCUSIÓN.

Después de obtener los resultados y haciendo una comparación con la información de los antecedentes, elaboramos el siguiente cuadro comparativo:

**Tabla 6.** Año de la desaparición completa de la cobertura glaciar.

<b>Cordillera</b>	<b>Razón de cambio promedio en la disminución de cobertura glaciar (km<sup>2</sup>/año)</b>	<b>Año de desaparición completa de la cobertura glaciar</b>
Blanca	- 5.93	2092
Vilcanota	- 3.56	2087
Urubamba	- 0.39	2077
Huayhuash	- 1.02	2070
Pastoruri	-	2064
Apolobamba	- 0.90	2060
Raura	- 0.73	2046
Huaytapallana	- 0.84	2041
Ampato	- 2.14	2038
Huagoruncho	- 0.35	2037
Vilcabamba	- 4.43	2036
La Raya	- 0.53	2031
Carabaya	- 1.79	2028
Huallanca	- 0.38	2026

*Fuente: Elaboración propia.*

Según la Tabla 6, la cordillera de Huayhuash, es la cuarta más perdurable de 14 cordilleras del Perú en estudio, debido a que su cobertura glaciar desaparecerá por completo en el año 2070, esto probablemente a su continua y gigantesca extensión glaciar; lo que significa que perdurará 6 años más en cobertura glaciar con respecto a la cordillera Pastoruri, que desaparecerá en el año 2064 (Tarazona, Y., 2012).

Mientras que en la cordillera La Raya, su cobertura glaciar desaparecerá por completo en el año 2031, esto debido a su pequeña y talvez separada extensión glaciar.



Observemos que, a pesar de la existencia de un buen número de cordilleras con una razón de cambio promedio más favorable en la disminución de cobertura glaciar, sus coberturas glaciares desaparecerán por completo antes que el glaciar de Huayhuash, este es el caso de las cordilleras: Apolobamba, Raura, Huaytapallana, Huagoruncho, La Raya y Huallanca. Estas disminuciones o desapariciones, cambiarían los ecosistemas andinos y el mantenimiento de los manantiales naturales en estas zonas (Chui et al., 2021). Considerando además la incertidumbre que concierne el cambio climático en el Altiplano (Pilares et al., 2019).



## V. CONCLUSIONES

Los glaciares de la cordillera de Huayhuash, efectivamente retroceden de manera significativa, ya que así lo corroboran las 3 magnitudes cuantificadas (cobertura glaciar perdida, razón de cambio promedio en la disminución de cobertura glaciar y tiempo para la desaparición completa de la cobertura glaciar), lo cual implica que la hipótesis general, es trascendente.

La cobertura glaciar perdida que experimentó la cordillera de Huayhuash durante su retroceso, en el periodo 1976 - 2007, fue de 31.62 km<sup>2</sup>, lo cual significa que definitivamente se encuentra en retroceso; por lo que la primera hipótesis específica, también es trascendente.

La razón de cambio promedio en la disminución de cobertura glaciar que experimenta la cordillera de Huayhuash, es de - 1.02 km<sup>2</sup>/año, lo cual implica que definitivamente se encuentra en retroceso; por lo que la segunda hipótesis específica, es trascendente.

El tiempo para la desaparición completa de la cobertura glaciar en la cordillera de Huayhuash, a partir del año 2007, será de 63 años, lo cual significa que definitivamente se encuentra en retroceso; por lo que la tercera hipótesis específica, también es trascendente.



## VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda a los futuros investigadores, indagar el retroceso glaciar cuantitativo de nuestra cordillera, tomando en cuenta otras magnitudes cuantificables (relacionadas con el cambio climático), por ejemplo: temperatura solar, volumen glaciar evaporado, etc.; cosa que nuestra investigación, no ha conseguido alcanzar.

Se recomienda a los futuros investigadores, intentar cuantificar el volumen glaciar perdido que experimentó nuestra cordillera; lo cual fue, un gran vacío para nuestra investigación.

Se recomienda a los futuros investigadores, intentar determinar la razón de cambio promedio en la disminución del volumen glaciar (medida en  $m^3/año$ ) que experimenta nuestra cordillera; lo cual fue, otro gran vacío para nuestra investigación.

Se recomienda a los futuros investigadores, indagar otros modelos matemáticos (aparte del lineal simple), los mismos que serán mucho más válidos y confiables al momento de determinar, el tiempo para la desaparición completa de la cobertura glaciar en nuestra cordillera.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfaro, R., & Gonzales, V. (2008). *Estadística y probabilidades para ingenieros*. UNA Puno.
- Artigoo (2015). *Descongelamiento de los glaciares - derretimiento de los polos*. <http://artigoo.com/descongelamiento-de-los-glaciares---derretimiento-de-los-polos>.
- Asociación “QA Internacional” y grupo “La República” (2006). *Álbum de geografía*. Lima-Perú: EPENSA.
- Asociación “QA Internacional” y grupo “La República” (2009). *Álbum enciclopédico de la tierra*. Lima-Perú: EPENSA.
- Autoridad Nacional del Agua (2014). *Inventario de glaciares y lagunas*. Lima-Perú.
- Ayestaran, K. (2011). *Técnicas de recolección y registro de datos*. <http://www.monografias.com/trabajos87/tecnicas-recoleccion-y-registro-datos/tecnicas-recoleccion-y-registro-datos.shtml>.
- Bello, C., Suarez, W., Drenkhan, F., & Vega-Jácome, F. (2023). Hydrological impacts of dam regulation for hydropower production: The case of Lake Sibinacocha, Southern Peru. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 46, 101319. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101319>
- Bosque, M. (1997). *Fotogrametría, fotointerpretación y Sistemas de Información Geográfica*. Valdivia-Chile: Ríos S.A.
- Carrasco, S. (2005). *Metodología de la investigación científica*. Lima-Perú: San Marcos.



Choquehuanca, A. (1997). *Geografía física*. Cusco-Perú: Universitaria UNSAAC.

Chui-Betancur, H. N., Belizario-Quispe, G., Acosta, D. R., Alfaro-Alejo, R., & Quispe-Mamani, Y. A. (2021). *Hydrogeochemistry of the Thermal Springs of Pojpoquella and Phutina, Puno, Perú - IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 906(1), 012126. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/906/1/012126>.

Chuvieco, E. (2010). *Fundamentos de la teledetección espacial* (3ra ed.). Madrid-España: Rialp S.A.

Comité científico “Océano-Éxito” (1975). *Enciclopedia de la Ciencia y de la Técnica* (Vol. 4). Florencia-Italia: Sansoni.

Comunidad Andina (2007). *Los glaciares*.  
<http://www.pnuma.org/deat1/pdf/glaciaresandina.pdf>.

Córdova, M. (1999). *Estadística inferencial - Aplicaciones*. Lima-Perú: MOSHERA S.R.L.

Ernesto, L. (2013). *Análisis geomorfológico, sedimentológico y cronoestratigráfico, de depósitos glaciales, periglaciales y glaciogénicos, en la Cordillera de los Andes y zonas adyacentes entre el paralelo 42° y el 43° LS, desde la última glaciación*. Buenos Aires-Argentina.

García-Pelayo, R. (1987). *Pequeño Larousse Ilustrado*. Buenos Aires-Argentina: Sebastián de Amorrortu S.A.

Gil, J. (2012). *Retroceso glaciar y cambio climático en los Andes peruanos*. Lima-Perú: Corefo Sac S.A.



- Guardamino, L. (2014). *Análisis de la evolución de las lagunas de alta montaña en la cordillera del Vilcabamba (Cusco y Apurímac) entre los años 1991-2014 mediante métodos de sensoramiento remoto y SIG*. Lima-Perú.
- Gutiérrez, J. (2005). *Curso básico en Sistemas de Información Geográfica (Universidad Nacional del Altiplano)*. Puno-Perú: Altiplano.
- Hernández, R. (2012). *Diseños de investigación*.  
<http://es.slideshare.net/Spaceeeboy/diseo-de-investigacion-transversal-y-longitudinal>.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2006). *Metodología de la investigación* (4ta. Ed.). México D.F. - México: McGraw-Hill.
- Iju, A. (2013). *Glaciares tropicales andinos: ¿con fecha de expiración?*.  
<https://blogs.iadb.org/sostenibilidad/es/glaciares-tropicales/>.
- Kronenberg, M., Schauwecker, S., Huggel, C., Salzmann, N., Drenkhan, F., Giráldez, C., ... & Rohrer, M. (2016). ¿Cuál es el futuro del caudal en las cuencas glaciadas de los Andes Centrales?.
- Murai, S. (1997). *Revista SIG (Manual base) - Asociación Japonesa de Geomensura* (Vol. 15). Yokohama-Japón: Akita Shoten.
- Murillo, A. (2010). *Modelamiento de aptitud para aprovechamiento forestal en la región Tacna*. Tacna-Perú: Cadenas del Sur.
- ONG “Greenpeace” (2004). *Desaparición de glaciares pirenaicos españoles*.  
[http://estaticos.elmundo.es/especiales/2007/02/ciencia/cambioclimatico/documentos/glaciares\\_pirineo.pdf](http://estaticos.elmundo.es/especiales/2007/02/ciencia/cambioclimatico/documentos/glaciares_pirineo.pdf).



- Pari-Huaquisto, D. C., Alfaro-Alejo, R., Pilares-Hualpa, I., & Belizario, G. (2020). *Seasonal variation of heavy metals in surface water of the Ananea river contaminated by artisanal mining, Perú - IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 614, 012167. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/614/1/012167>.
- Pérez, A. (2010). *Evolución de la isoterma 0°C en el valle de México desde 1950 y su relación con el cambio climático*. México D. F. - México.
- Pilares-Hualpa, I., Alfaro-Alejo, R., Pilares-Hualpa, R., & Pilares-Calla, C. (2019). *Application of an optimization model for the water management under climate scenarios of the Lagunillas integral system of the peruvian Altiplano. 38th IAHR World Congress*, 5847-5856. <https://doi.org/10.3850/38WC092019-0504>.
- Ponce, V. M., García Cueto, O. R., & Ercan, S. (2001). Potential climatic change derived from the exploitation of groundwater at the Ojos Negros Valley, Baja California. *Investigaciones geográficas*, (44), 6-17.
- Ponce, V. M. (1989). *Engineering hydrology: Principles and practices* (Vol. 640). Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Portal “Biblioteca del Congreso Nacional de Chile- Información territorial” (2021). *Glosario de términos geográficos - Chile Nuestro País*. <https://www.bcn.cl/siit/glosario/index.html>.
- Portal “BIOLOGÍA-GEOLOGÍA.COM” (2017). *Los glaciares*. [https://biologia-geologia.com/geologia/52334\\_glaciares.html](https://biologia-geologia.com/geologia/52334_glaciares.html).
- Portal “Fundación Glaciares Chilenos” (2016). *¿Qué es un glaciar?*. <https://www.glaciareschilenos.org/que-es-un-glaciar/>.



- Puchuc, J. T., & Acuña, J. R. (2014). *Estimación del cambio de volumen del Glaciar Champará en la Cordillera Blanca de Ancash a partir de datos de Satélite en el Periodo 2000-2010. Revista Científica Ingetecno, 2(1).*
- Rabatel, A., Francou, B., Soruco, A., Gomez, J., Cáceres, B., Ceballos, J. L., ... & Wagnon, P. (2013). *Current state of glaciers in the tropical Andes: a multi-century perspective on glacier evolution and climate change.* <https://doi.org/10.5194/tc-7-81-2013>.
- Ramírez, E. (2008). *Deshielo del nevado Mururata y su impacto sobre los recursos hídricos en la cuenca de Palca.* La Paz-Bolivia: Máster S.A.
- Schauwecker, S., Rohrer, M., Huggel, C., Endries, J., Montoya, N., Neukom, R., ... & Suarez, W. (2017). *The freezing level in the tropical Andes, Peru: An indicator for present and future glacier extents.* <https://doi.org/10.1002/2016JD025943>.
- Tarazona, Y. (2012). *Aplicación de la teledetección como una herramienta para el análisis multitemporal del retroceso glaciar en el nevado Pastoruri debido al cambio climático.* Lima-Perú.
- Turpo, E. (2014). *Determinación del retroceso glaciar de la Cordillera La Raya mediante imágenes satelitales Landsat, 1975-2013.* Puno-Perú.
- Videla, M. (2007). *Glaciología.* <http://www.infoandina.org/sites/default/files/publication/files/CuadernilloGuias2.pdf>.
- Zubieta, R. y Lagos, P. (2009). *Evolución y fluctuaciones en los frentes glaciares de la cordillera Huaytapallana.* <http://www.met.igp.gob.pe/ccmantaro/presentaciones/zubieta.pdf>.



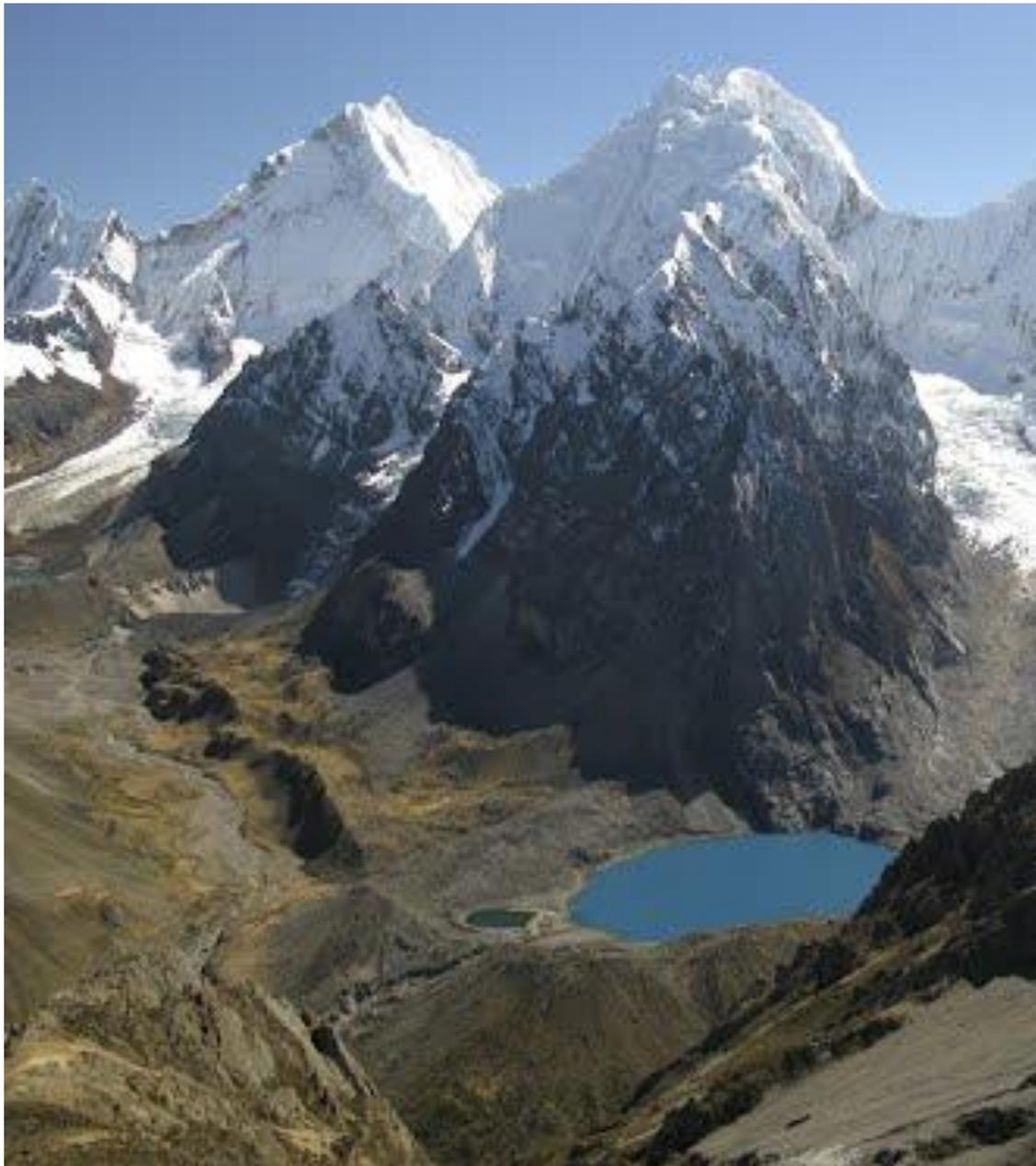
## ANEXOS

## Anexo 1. Imágenes del recurso.



*Figura 7. Nevado Yerupajá.*

La montaña más alta de la cordillera de Huayhuash (2584 m), es la segunda elevación más alta del Perú y el punto más alto de la cuenca amazónica; su ascenso, comienza a los 4050 m.s.n.m. y termina con los 6634 m.s.n.m.



*Figura 8. Nevado Siulá.*

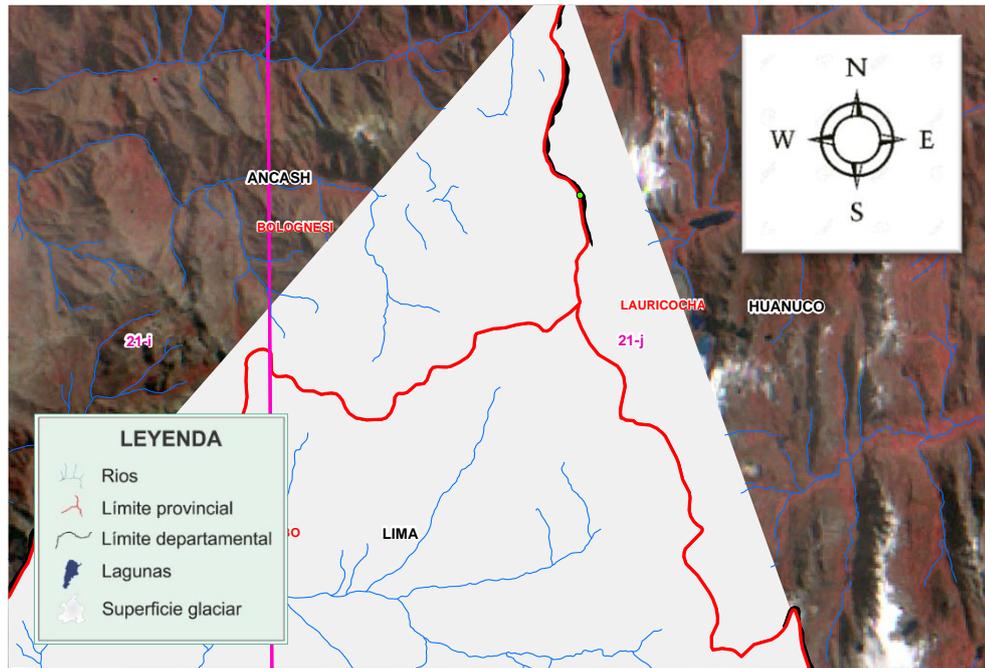
La segunda montaña más alta de la cordillera de Huayhuash (2294 m), es la séptima elevación más alta del Perú; su ascenso, comienza a los 4050 m.s.n.m. y termina con los 6344 m.s.n.m.



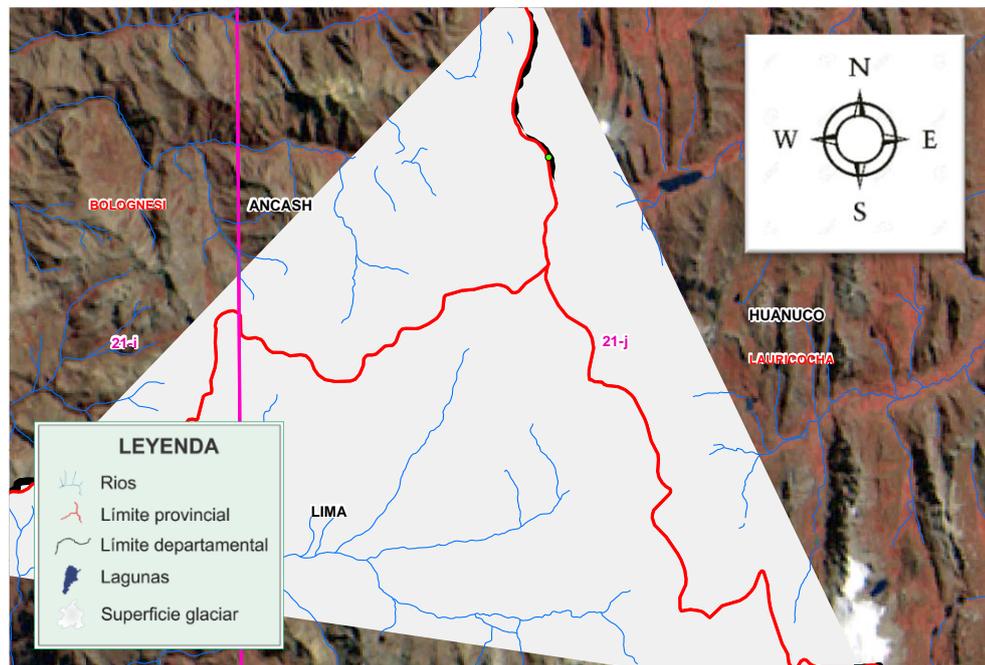
*Figura 9. Nevado Jirishanca.*

La cuarta montaña más alta de la cordillera de Huayhuash (2076 m), es uno de los nevados más inaccesibles del Perú; su ascenso, comienza a los 4050 m.s.n.m. y termina con los 6126 m.s.n.m.

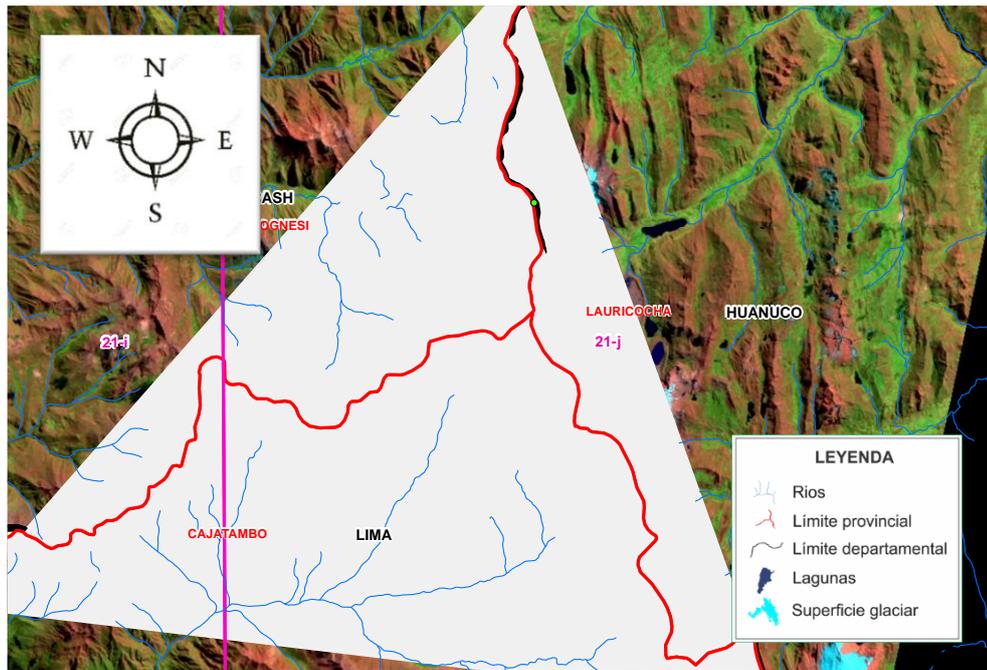
**Anexo 2. Imágenes LandSat convertidas a color, cortadas y georeferenciadas.**



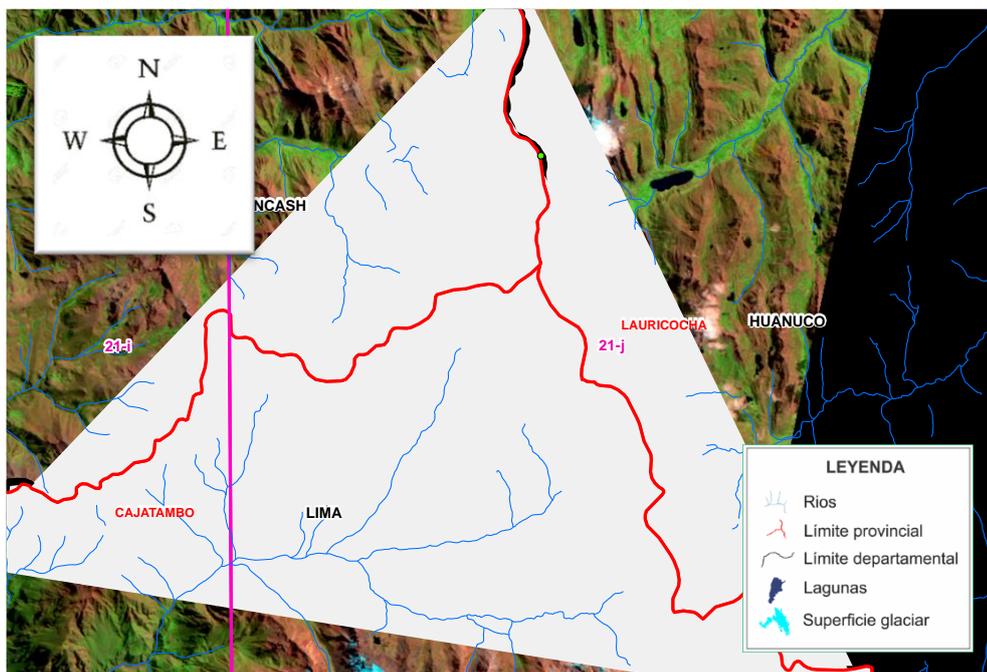
*Figura 10. Imagen LandSat\_1 - 1976.*



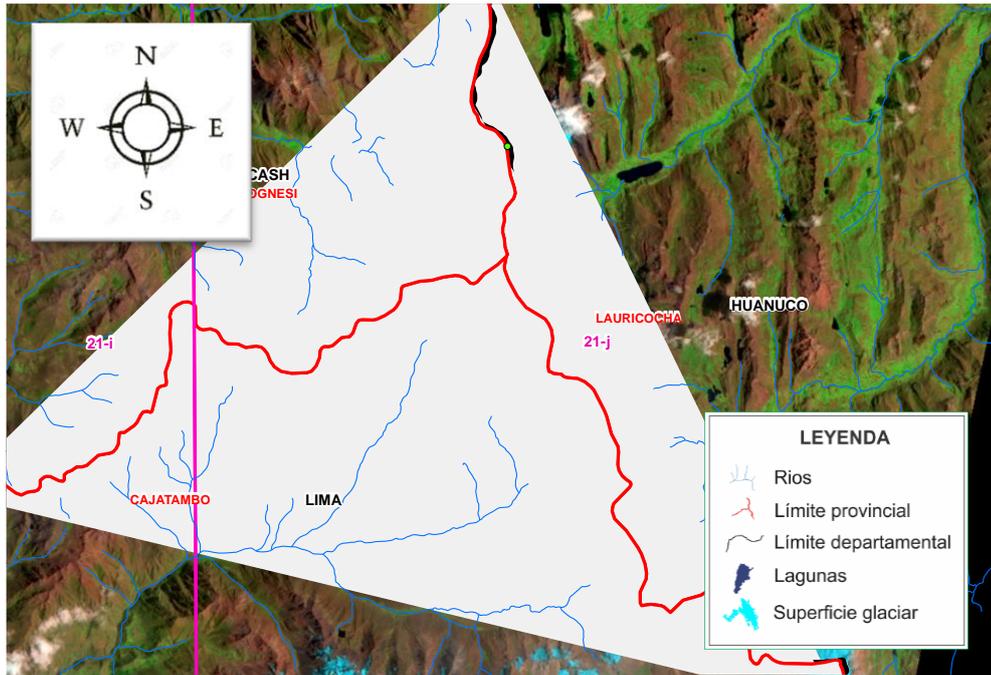
*Figura 11. Imagen LandSat\_3 - 1980.*



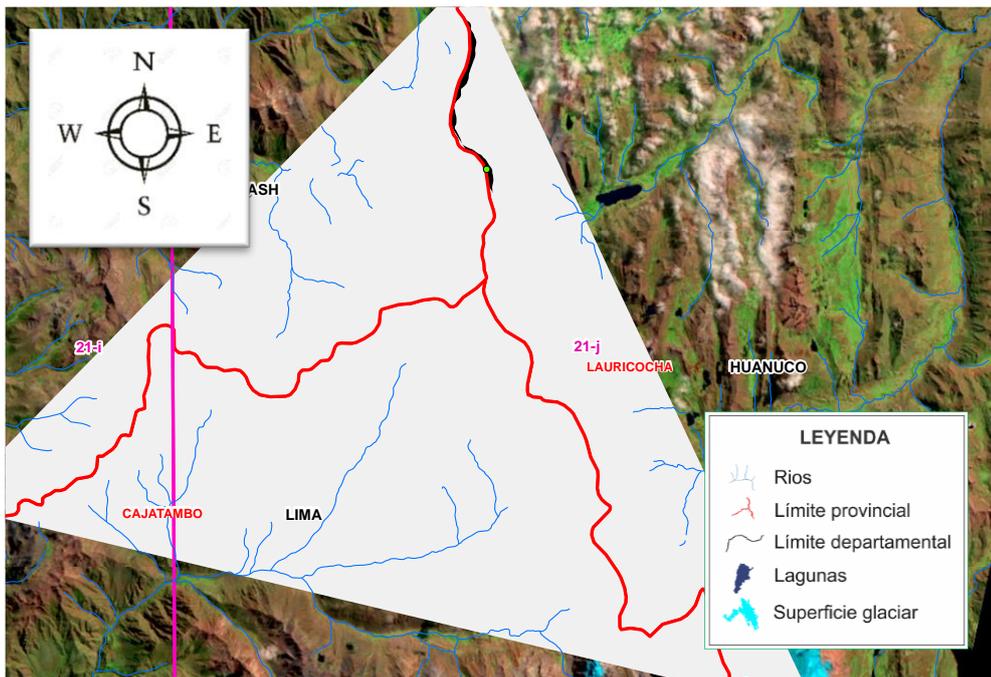
*Figura 12. Imagen LandSat\_5 - 1988.*



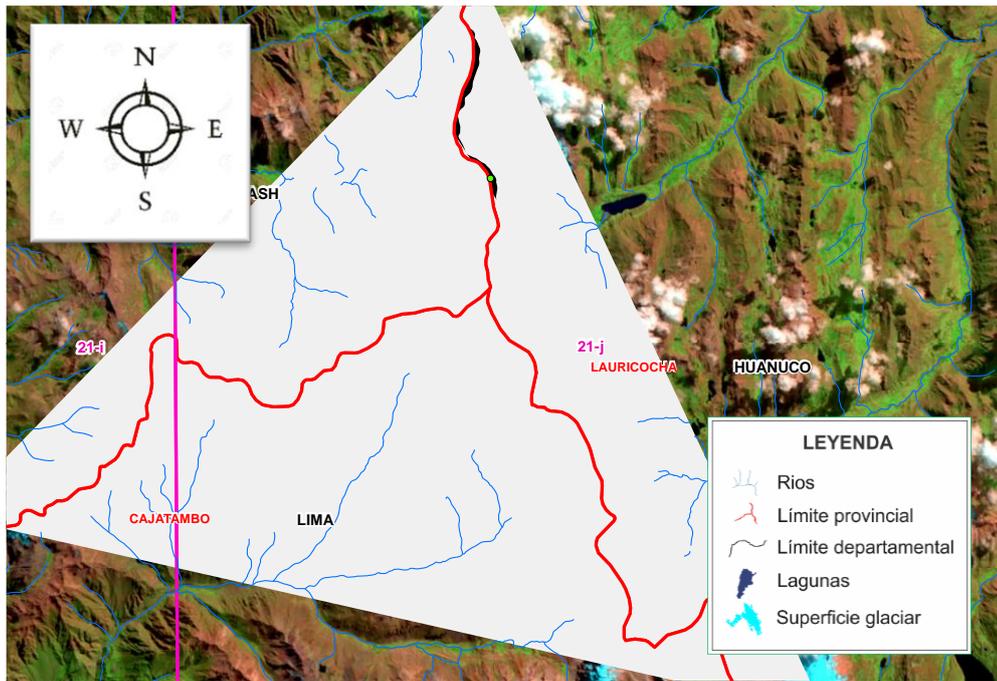
*Figura 13. Imagen LandSat\_5 - 1996.*



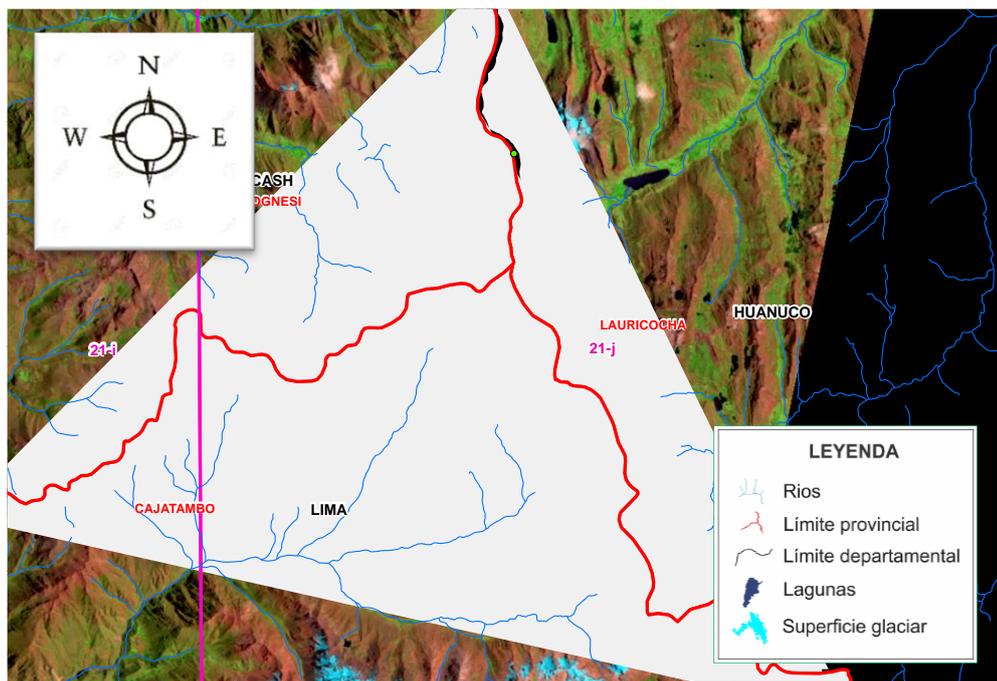
*Figura 14. Imagen LandSat\_5 - 1997.*



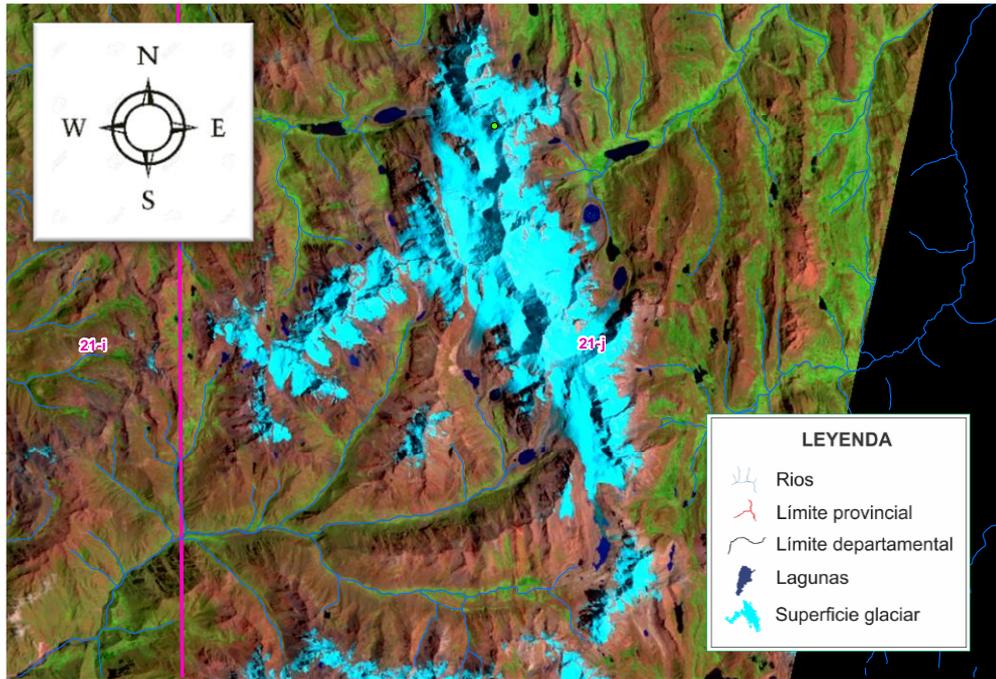
*Figura 15. Imagen LandSat\_5 - 1998.*



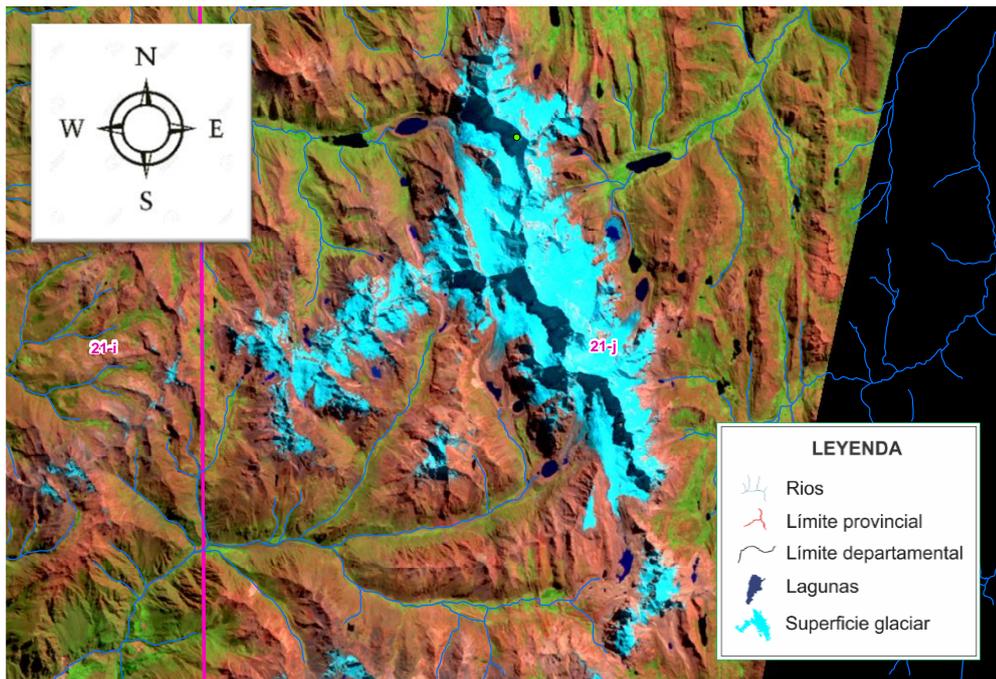
*Figura 16. Imagen LandSat\_5 - 1999.*



*Figura 17. Imagen LandSat\_5 - 2000.*



*Figura 18. Imagen LandSat\_5 - 2001.*



*Figura 19. Imagen LandSat\_5 - 2007.*



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

Por el presente documento, Yo Gerardo Evar, Quispe Estanero  
identificado con DNI 43549953 en mi condición de egresado de:

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

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

“ Análisis cuantitativo del retroceso glaciar de la cordillera de Huayhuash, periodo 1976 - 2007 ”

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

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

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

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

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

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

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

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 05 de Julio del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella



### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Gerardo Evar, Quispe Estifanero,  
identificado con DNI 43 54 99 53 en mi condición de egresado de:

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

De Ingeniería Agrícola

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

"Análisis cuantitativo del retroceso glaciar de la cordillera de  
Huayhuash, periodo 1976 - 2007"

Es un tema original.

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

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

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

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

Puno 05 de julio del 20 23

Gerardo Evar, Quispe Estifanero

FIRMA (obligatoria)



Huella