

## **TITULO DEL PROYECTO**

### **Impacto del cambio climático en la desglaciación del nevado Ampay – Apurímac, periodo 2000 – 2019.**

#### **RESUMEN**

La presente investigación titulada **IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA DESGLACIACIÓN DEL NEVADO AMPAY – APURÍMAC, PERIODO 2000 – 2019**. Es debido a la recesión de los glaciares a consecuencia de los efectos previstos del cambio climático, que se evidencia notablemente el retroceso del nevado del Ampay, cuyo objetivo es evaluar el nivel de desglaciación del nevado durante el periodo 2000 - 2019, y este probablemente desaparecerá en el futuro. Para ello se utilizará herramientas para determinar la superficie de la cobertura Glaciar haciendo uso de imágenes de satélite en la plataforma de Google Earth Engine (GEE), posteriormente se reclasificará la cobertura nival empleando el algoritmo del NDSI (Índice Normalizado y Diferenciado de Nieve), tomando como partida imágenes de satélite adquiridas del sensor, Landsat, Aster y Sentinel. El procesamiento se desarrollará utilizando herramientas, que consiste en realizar el pre-tratamiento y tratamiento de las diferentes imágenes satelitales. Los resultados se expresarán mediante la estadística descriptiva, aplicando el método de la correlación cruzada, el método de Pearson y la validación de la significancia entre el Cambio Climático y la pérdida del área del nevado de Ampay.

**PALABRAS CLAVES:** Cambio climático, glaciar, NDSI, satélite y sensor.

CAPITULO I.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA .....	1
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.2.1 Enunciado Principal. ....	2
1.2.2 Enunciados Secundarios.....	2
CAPITULO II .....	1
JUSTIFICACIÓN .....	1
2.1 JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION .....	1
CAPITULO III.....	2
HIPÓTESIS.....	2
3.1 Hipótesis general.....	2
3.2 Hipótesis específicos.....	2
3.3 Variables .....	2
3.3.1 Variable independiente.....	2
3.3.2 Variable dependiente.....	2
CAPITULO IV.....	2
OBJETIVOS .....	2
4.1 Objetivo general .....	2
4.2 Objetivos específicos.....	2
CAPITULO V .....	3
ANTECEDENTES.....	3
5.1 ANTECEDENTES.....	3
5.1.1 A NIVEL INTERNACIONAL .....	3
5.1.2 A NIVEL NACIONAL: .....	3
5.1.3 A NIVEL REGIONAL.....	4
CAPITULO VI.....	4
MARCO TEÓRICO.....	4
6.1 COBERTURA glaciár.....	4
6.1.1 Descripción glaciár del Ampay .....	4
6.1.2 Glaciares.....	4
6.1.3 Retroceso glaciár.....	5
6.1.4 Aspectos de la cobertura de nieve .....	5
6.1.5 Índice de nieve .....	5
6.2 Cambio Climático .....	6
6.2.1 Cambio Climático .....	6
6.2.2 Escenarios dl cambio climático.....	6
6.2.3 IPPC .....	6
6.2.4 Precipitación.....	7
6.3 teledetección.....	7
6.3.1 La teledetección.....	7
6.3.2 Imagen de satélite Landsat 8 .....	7
6.3.3 Imágen de satélite Alos Palsar.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
6.3.4 Imágen de satélite Sentinel.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
6.3.5 Imágen de satélite Áster .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
6.3.6 Google Earth Engine (GEE).....	8
6.3.7 Arquitectura del Google Earth Engine (GEE).....	8
6.3.8 Series temporales.....	8
CAPITULO VII .....	8
MEDOLOGÍA.....	8
7.1 Lugar de estudio .....	8

7.2	Población y tamaño de muestra.....	9
7.3	METODOLOGÍA .....	9
7.3.1	Materiales .....	9
7.3.2	Información básica de climatología y cartografía .....	10
7.3.3	Procedimiento.....	10
7.3.4	Análisis de datos climatológicos .....	11
7.3.5	Escenario futuro del glaciar.....	11
7.4	ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	12
7.4.1	Interpretación del coeficiente de correlación .....	12
CAPITULO VIII .....		12
CRONOGRAMA .....		12
8.1	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES .....	12
CAPITULO IX.....		13
PRESUPUESTO .....		13
9.1	PRESUPUESTO .....	13
CAPITULO X .....		13
BIBLIOGRAFIA.....		13
10.1	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	13
CAPITULO XI.....		<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
ANEXOS.....		<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
11.1	MATRIZ DE CONSISTENCIA .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

# CAPITULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA

Durante las últimas décadas, el Cambio Climático ha producido un significativo retroceso en los glaciares de los andes peruanos, se ha reducido en un 42.6% (ANA, 2014). Estos glaciares son considerados como uno de los indicadores del cambio climático (Burlando et al., 2002), son sensibles al cambio climático a una escala espacio-temporal y son fuente importante de recursos hidrológicos (Mark, 2008), estos cambios están alterando significativamente la disponibilidad de agua en la región y plantean riesgos críticos a las poblaciones locales que son altamente dependientes de estos recursos para los medios de subsistencia (Bury et al., 2011).

Los glaciares cumplen un rol importante en el ciclo hidrológico, al permitir el almacenamiento de la precipitación sólida durante la estación de lluvias y la liberación de agua durante la estación seca o de estiaje. Además de la temporal disminución hídrica a largo plazo, el derretimiento glaciar puede originar futuras lagunas en lechos glaciares, con consecuentes y posibles peligros e impactos para las poblaciones aguas abajo (Colonia et al., 2017).

Según (IPCC 2013). Las mayorías contribuciones al cambio en el volumen de agua en los océanos son la expansión del agua de los océanos a medida que esta se calienta y la transferencia a los océanos del agua almacenada en tierra procedente principalmente de glaciares y mantos de hielo.

El nevado del Ampay, en el inventario de 1970 contaba con una superficie de 1,03 km<sup>2</sup> y al 2016, según estimaciones del Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM) cuenta tan solo con 0,47 km<sup>2</sup>; es decir, en un período de 46 años la pérdida de superficie glaciar es de 0,56 km<sup>2</sup>, equivalente al 54%; esto conlleva a estimar que, en un periodo de tiempo muy corto, este glaciar podría extinguirse debido al cambio climático.

Bajo estas consideraciones expuestas, se ha planteado la presente investigación que será evaluado las pérdidas del área del nevado Ampay debido al Cambio Climático, con la finalidad de determinar su evolución y su tasa de retroceso glaciar. Analizar los datos climatológicos disponibles de temperatura media anual y la precipitación acumulada en relación al retroceso en el periodo 2000 – 2019.

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.**

### **1.2.1 Enunciado Principal.**

¿En qué medida el Cambio Climático influye en la desglaciación del nevado Ampay, en el periodo 2000 -2019?

### **1.2.2 Enunciados Secundarios.**

a) ¿De qué manera se relaciona el Cambio Climático en el área del nevado del Ampay en el periodo 2000 - 2019?

b) ¿Cómo se manifiesta la temperatura media anual y la precipitación acumulada en la desglaciación del nevado del Ampay en el periodo 2000 - 2019?

c) ¿Qué efectos produce la influencia del Cambio Climático en el tiempo, en el nevado del Ampay?

## **CAPITULO II**

### **JUSTIFICACIÓN**

#### **2.1 JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION**

Los cambios climáticos que se vienen sucediendo en nuestro planeta, nos permiten tener un acercamiento a lo que está ocurriendo en los glaciares de montaña de nuestro país, que se caracterizan por su fragilidad y están en constante fusión del hielo del glaciar, almacenando grandes volúmenes de agua que se utilizan en diversos cultivos, estos abastecen ya sea por el escurrimiento por infiltración de las zonas altas, entonces es de interés tomar las medidas de previsión respecto de la gestión de este recurso; pues la abundancia en exceso y la escasez extrema ponen en peligro la existencia de esorrentía y suministro generando presión sobre los recursos. El nevado de Ampay constituye una de las más importantes áreas glaciares de Apurímac. La mayor parte de monitoreo se han realizado con trabajos de campo, donde muchas veces se presentan una serie de obstáculos para la colección de datos, de esta manera mediante las herramientas de la plataforma de Google Earth Engine (GEE), nos permitirá realizar monitoreo con mayor facilidad, empleando imágenes satelitales para determinar el área de deshielo del glaciar. Para el presente estudio se ha tomado como referencia los límites del área cubierta por el glaciar de diferentes imágenes de satélite de los años 2000 a 2019, lo que nos permitirá analizar el comportamiento de la regresión glaciar en un período de 19 años.

El retroceso del glaciar Ampay se determinará utilizando la técnica de la Teledetección y uso de la plataforma Google Earth Engine (GEE), el cual permite realizar la reclasificación mediante imágenes de satélite utilizando el método del NDSI (Índice Normalizado y Diferenciado de Nieve) y conocer el área de la cobertura glaciar de diferentes épocas, para posteriormente analizar estadísticamente las variables que intervienen en el retroceso del glaciar y proyectar el escenario futuro.

Siendo el problema principal la pérdida de área glaciar del nevado, se debe evaluar con el propósito de generar la conciencia ambiental de la población y además influir de manera significativa en los entes encargados para la implementación de las medidas que posibiliten la sostenibilidad del medio ambiente.

Así mismo el conocimiento de estos efectos de la desglaciación permitirá prever, planificar, sensibilizar y preparar la adecuación de la población de Abancay al Cambio Climático.

## **CAPITULO III**

### **HIPÓTESIS**

#### **3.1 HIPÓTESIS GENERAL**

El nivel de desglaciación del nevado del Ampay, se relaciona significativamente con el Cambio Climático, en el periodo 2000 – 2019.

#### **3.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICOS.**

- ❖ La desglaciación del nevado del Ampay fue muy significativa en el período 2000 - 2019.
- ❖ Los datos climatológicos de temperatura media anual y precipitación acumulada influyen significativamente en la desglaciación del nevado Ampay en el período 2000- 2019.
- ❖ El nevado del Ampay perderá su cubierta glacial debido al Cambio Climático en el tiempo.

#### **3.3 VARIABLES**

##### **3.3.1 Variable independiente**

Cambio climático

##### **3.3.2 Variable dependiente**

Desglaciación del nevado

## **CAPITULO IV**

### **OBJETIVOS**

#### **4.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el nivel de desglaciación del nevado de nevado del Ampay, debido al Cambio Climático durante el periodo 2000- 2019.

#### **4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ❖ Determinar la relación del Cambio Climático en el área del nevado Ampay en el periodo 2000 -2019.
- ❖ Determinar la temperatura media anual y la precipitación acumulada en relación a la desglaciación del nevado Ampay en el periodo 2000 – 2019.
- ❖ Estimar el efecto que produce el Cambio Climático en el tiempo, en la desglaciación del nevado del Ampay.

## **CAPITULO V**

### **ANTECEDENTES**

#### **5.1 ANTECEDENTES**

##### **5.1.1 A NIVEL INTERNACIONAL**

Recio y Maestro (2004). Análisis comparativo de distintos métodos de estimación de la superficie glaciar en el Pirineo Axial Aragonés a partir de imágenes Landsat, en su conclusión indica que debido a la resolución espacial de las imágenes, no se han obtenido resultados espectaculares. Creemos que ello se debe principalmente a la dimensión de los glaciares analizados, mucho más discretos que los habitualmente estudiados mediante las técnicas descritas se han utilizados imágenes (30x30 píxeles), que contrasta con la resolución espacial disponible. Por otra parte, una vez matizado todo lo anterior, las conclusiones son que la metodología que ofrece mejores resultados es la que emplea una ratio de reluctancias entre las bandas 4 y 5, si bien también se obtienen resultados satisfactorios mediante la utilización del NDSI. Se ha evidenciado que los peores resultados para el cartografiado de glaciares han sido obtenidos mediante el empleo de la ratio entre las bandas 3 y 5. Este resultado está en coherencia con las apreciaciones de Hall (1987, 104-108), según las cuales la ratio TM4/TM5 es la mejor para distinguir entre las distintas facies del hielo y la nieve especialmente en zonas de sombra.

##### **5.1.2 A NIVEL NACIONAL:**

Calizaya (2018). “Modelamiento de la desglaciación de los nevados de la cuenca del rio Santa y su impacto en los recursos hídricos” manifiesta que el derretimiento de los glaciares de la cuenca Alto-Santa es una importante contribución de agua dulce para el consumo humano, sector agrícola, proyectos hidroeléctricos e industriales, es por eso la importancia de evaluar la dinámica de la cobertura de nieve mediante el uso y procesamiento de imágenes de satélite del sensor MODIS con resolución temporal diario y cada ocho días, mediante el uso y aplicación de la plataforma de Google Earth Engine (GEE), plataforma para el análisis científico de datos espaciales a escala petabyte o también llamado procesamiento de datos en nube, y el uso del modelo Snowmelt Runoff Model (SRM), herramienta para estimar el aporte del volumen de agua en m<sup>3</sup> provenientes de la lluvia y fusión de nieve a nivel diario, el área en estudio es de 5334.4 km<sup>2</sup>, se procesó más de 6500 imágenes MODIS, el modelo se aplicó entre las altitudes desde los 1410 msnm., hasta los 6766 msnm, dividiendo en 06 zonas con intervalos de 900 m., fueron utilizados imágenes de satélite del tipo (MOD10A1 y MDO10A2), para obtener el área de cobertura de nieve (SCA) a nivel diario y cada ocho días, se utilizó el algoritmo de NDSI (normalised difference snow index), y a la vez se utilizó el modelo SRM, y se obtuvo resultados de caudales diarios, el modelo se calibro para los años 2005 y 2006 y posteriormente se validaron para los años 2007 y 2008, con resultados eficientes de 0.77,



0.89, 0.84 y 0.91 de coeficiente de determinación de Nash- Sutcliffe, a la vez se aplicaron a escenarios de cambio climático propuestos por el quinto informe de la IPCC del año 2013, para los años 2030, 2050 y 2080, con los escenarios de RCP 4.5 y RCP 8.5 utilizando el método de (downscaling).

### **5.1.3 A NIVEL REGIONAL**

Lizarzaburu y Deza (2012).Estudiaron el retroceso glaciar en la alta montaña de los Andes Peruanos. Caso: Santuario Nacional de Ampay, Apurímac, cuyas conclusiones fueron que en los últimos años (1997 - 2011) ha retrocedido la superficie glaciar del Ampay 160 hectáreas, dejando a la vista sus morrenas “frescas”. No podemos determinar el volumen perdido por falta de información al respecto.

La actual distancia del glaciar ha contribuido a que tres lagunas que forman parte de la cadena del deshielo se hayan secado y las que aún son reservorios, han disminuido su volumen hasta en un 50% con relación al volumen de 1997.

## **CAPITULO VI**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **6.1 COBERTURA GLACIAR**

##### **6.1.1 Descripción glaciar del Ampay**

El glaciar de Ampay es albergada por el Santuario Nacional de Ampay (SNA), un área protegida que se caracteriza por su bosque de “intimpa” (*Podocarpus glomeratus*), el más extenso de este tipo en todo el Perú sus lagunas (Ankasqocha y Uspaqocha, entre otras más) y su nevado glaciar con el mismo nombre. El SNA fue creado el 23 de julio de 1987 y desde el 1 de enero 1993 forma parte del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SINANPE). Es considerado el mayor atractivo eco turístico de toda la región Apurímac y una “isla biológica en los Andes” (MINAG 2003) por estar ubicado entre dos cañones profundos (cuenca del río Apurímac, sub cuenca del río Pachachaca, y además micro cuenca del río Mariño). Sin embargo, la fuente de agua más importante (inclusive una represa) para la ciudad de Abancay se encuentra en el área denominada Rontoccocha-Morococha, ubicada entre unos 3.400 a 4.600 msnm al sureste de la ciudad de Abancay, pero aún dentro de la micro cuenca del río Mariño. Este área posee un complejo sistema de humedales, pajonales, y relictos de bosque del género *Polylepis* (Baker & Pacheco. 2011).

##### **6.1.2 Glaciares**

Los glaciares son masas de hielo existentes en la superficie terrestre, las cuales se originan por la acumulación, compactación y recrystalización de la nieve en montañas de gran altura o en regiones frías. Los glaciares crecen cuando la precipitación anual de nieve supera la evaporada y derretida en

verano, por lo cual la mayoría se encuentra en zonas cercanas a los polos y en zonas de montañas. Un 10 % de la Tierra está cubierta de glaciares, los que acumulan más del 75% del agua dulce del mundo (Knight, 1999).

### **6.1.3 Retroceso glaciar**

Los glaciares están retrocediendo en todos los países andinos. Este fenómeno se manifiesta de forma especial en los glaciares pequeños de poca altitud de los Andes tropicales hasta desaparecer por completo en muchos casos como consecuencia del deshielo o fusión glaciar (Rabatel et al., 2013).

### **6.1.4 Aspectos de la cobertura de nieve**

Con la percepción remota tenemos una diversidad de datos con gran rango espectral, temporal y espacial, su manejo en forma adecuada nos requiere conocer el comportamiento de la nieve y el hielo en los rangos espectral de las longitudes de onda del visible, los infrarrojos y las microondas. En la longitud de onda del visible, el infrarrojo cercano y medio (0,4-3 $\mu$ m), se requiere conocer la reflectividad espectral y características de dispersión de la nieve (agrupación de fragmentos de hielo y aire) que forman los glaciares, que dependen de muchos factores como: el tamaño y la forma de la unidad mínima de nieve “grano de nieve”, el contenido de agua líquida ( cuando la nieve adquiere aproximadamente 0 ° Celsius), las impurezas de la nieve como (polvo, hollín, polen, otros) la temperatura, el contenido del hielo, la profundidad y la consistencia de la superficie debajo de la cobertura de la nieve. Todas estas características influyen en el grano de nieve, que al observarlas con imágenes de satélite se confunden con nubes que están compuestas de pequeñas gotas de agua, algunos cristales de hielo y sus propias impurezas. La mayoría de las propiedades ópticas del hielo son similares a las de las nubes lo que dificulta su diferenciación al interpretar estas coberturas. Una zona del rango espectral donde la reflectancia de la nieve húmeda es baja comparada con el de la nieve seca, pero principalmente por cambio micro-estructural causada por las aguas y donde es posible diferenciar la nieve de las nubes, es la región del infrarrojo cercano. (Gonzales, 2012).

### **6.1.5 Índice de nieve**

El índice permite la elaboración de mapas de distribución de nieve en la superficie y la estimación de las características de la misma a partir de datos obtenidos mediante percepción remota. En la longitud de onda del visible es difícil discriminar la nieve de las nubes, la distinción resulta más evidente en el infrarrojo medio ya que las gotas o cristales de hielo de las nubes son más pequeñas que los granos de nieve por lo que absorben menos radiación en esta banda del espectro, además habitualmente la nieve tiene mayor reflectividad que las nubes en el visible o banda del azul y una textura más homogénea. Con estas bandas podemos definir un índice de nieve no normalizado “SI”

que relaciona las bandas del azul y del infrarrojo medio como lo muestra la ecuación (4.1). Lo que permite obtener una imagen que representa con valores altos de Niveles Digitales (ND) la cobertura de nieve y con valores bajos ND las demás coberturas presentes. (Moreno; Alonso; 1996).

## **6.2 CAMBIO CLIMÁTICO**

### **6.2.1 Cambio Climático**

Cambio climático Variación del estado del clima identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos externos tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o cambios antropógenos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso del suelo. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC, 2013), en su artículo 1, define el cambio climático como “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”. La CMNUCC diferencia, pues, entre el cambio climático atribuible a las actividades humanas que alteran la composición atmosférica y la variabilidad climática atribuible a causas naturales.

### **6.2.2 Escenarios dl cambio climático**

Son representaciones de posibles estados futuros del clima (temperatura, precipitación y otros fenómenos climatológicos). Los escenarios climáticos se pueden generar con distintas técnicas (CIIFEN 2014). Los escenarios también describen líneas evolutivas plausibles de las condiciones climáticas y otros aspectos del futuro, principalmente relacionadas con aspectos socio-económicos y las emisiones de gases de efecto invernadero y aerosoles asociadas. Los primeros modelos eran muy sencillos y, básicamente, consideraban los incrementos en los contenidos de CO<sub>2</sub>. En cambio los escenarios actuales tratan de incorporar los forzamientos más importantes, los procesos asociados, los posibles impactos y las posibles respuestas que ayuden a tomar decisiones políticas. (IPCC 2013).

### **6.2.3 IPPC**

Es el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, conocido como IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), es una organización internacional, constituido a petición de los gobiernos miembros. Fue establecido por primera vez en 1988 por dos organizaciones de Naciones Unidas, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones

Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), y posteriormente ratificada por la Asamblea General de las Naciones Unidas.

Su misión es proveer con evaluaciones científicas comprensivas sobre la información científica, técnica y socioeconómica actual sobre el riesgo de cambio climático provocado por la actividad humana, sus potenciales consecuencias medioambientales y socioeconómicas, y las posibles opciones para adaptarse a esas consecuencias o mitigar sus efectos (IPCC 2013).

#### **6.2.4 Precipitación**

Según (Villón, 2004 pág. 69) “la precipitación es toda forma de humedad que originándose en las nubes, llega hasta la superficie del suelo; de acuerdo a esta definición la precipitación puede ser en forma de lluvias, granizadas, garuas, nevadas”.

Desde el punto de vista de la ingeniería hidrológica, la precipitación se considera como la fuente primaria del agua encontrada en la superficie terrestre; sus mediciones y análisis son el inicio y punto de partida fundamental para determinar el uso y control del agua en cualquiera de sus estados.

### **6.3 TELEDETECCIÓN**

#### **6.3.1 La teledetección.**

La Teledetección es una técnica por medio de la cual se obtiene información útil de un objeto, área o fenómeno, a través del análisis e interpretación de datos de imágenes adquiridas por un equipo que no está en contacto físico con el objeto, área o fenómeno bajo investigación. La Teledetección espacial es una técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre o marina y la atmósfera desde sensores instalados en plataformas espaciales. Por ser una técnica que no está en contacto directo con el objeto requiere que entre el sensor y el objeto haya un flujo de información, el cual es conocido como radiación electromagnética la cual puede ser emitida por el objeto o proceder de otro cuerpo y haber sido reflejada por este. (Chuveico, 1996).

#### **6.3.2 Imagen de satélite Landsat 8**

Las imágenes Landsat 8 obtenidas por el sensor (OLI) y (TIRS) constan de nueve bandas espectrales con una resolución espacial de 30 metros para las bandas de 1 a 7 y 9. Una banda nueva (1) (azul-profundo) es útil para estudios costeros y aerosoles. La nueva banda (9) es útil para la detección de cirrus. La resolución para la banda 8 (pancromática) es de 15 metros. Dos bandas térmicas 10 y 11 son útiles para proporcionar temperaturas más precisas de la superficie y se toman a 100 metros de resolución. El tamaño aproximado de la escena es de 170 km de norte-sur por 183 kilómetros de este a oeste (Ariza, 2013).

### **6.3.3 Google Earth Engine (GEE)**

Google Earth Engine (GEE) es una plataforma de escala planetaria para el análisis de datos medioambientales. Reúne más de 40 años de imágenes de satélite de todo el mundo actuales e históricas, y ofrece las herramientas y la potencia computacional necesarias para analizar y extraer información de este enorme almacén de datos. Entre una de sus aplicaciones es detección de cambios de la cubierta terrestre (Google, 2016). GEE es una tecnología paralela masiva para el procesamiento de alto rendimiento de los datos geoespaciales, y alberga una copia de todo el catálogo de imágenes Landsat y otras imágenes (Venturino et al., 2014). En este estudio se utiliza GEE como una alternativa a los procesamientos digitales de imágenes (PDI) de manera tradicional con software comercial o libre, específicamente caso la detección de cambios espaciales y multitemporales de glaciares y su entorno ambiental, como bofedales y lagunas.

### **6.3.4 Arquitectura del Google Earth Engine (GEE)**

Earth Engine está construido sobre una colección de tecnologías habilitadoras que están disponibles dentro del entorno del centro de datos de Google, incluido el sistema de gestión de clúster Borg (Verma et al., 2015); The Bigtable (Chang et al., 2006) y Spanner (Corbett et al., 2012). Asimismo se distribuyeron bases de datos como la de Colossus; el sucesor del sistema de archivos de Google (Ghemawat, Gobioff, & Leung, 2003); y el marco FlumeJava para la ejecución paralela de tuberías (Chambers et al., 2010). Earth Engine también interactúa con Google Fusion Tables (Gonzalez et al., 2010), una base de datos basada en web que admite tablas de datos geométricos (puntos, líneas y polígonos) con atributos.

### **6.3.5 Series temporales**

Las series temporales es un conjunto de observaciones de datos  $xt$ , cada una de las cuales se registra en un tiempo específico  $t$  (Grandell) Las series temporales surgen como registros de procesos que varían a lo largo del tiempo. Un registro puede ser continuo o un conjunto de observaciones discretas (Ihaka 2005). Por lo tanto, una serie temporal puede ser definida como un conjunto de observaciones de una variable secuencialmente en el tiempo.

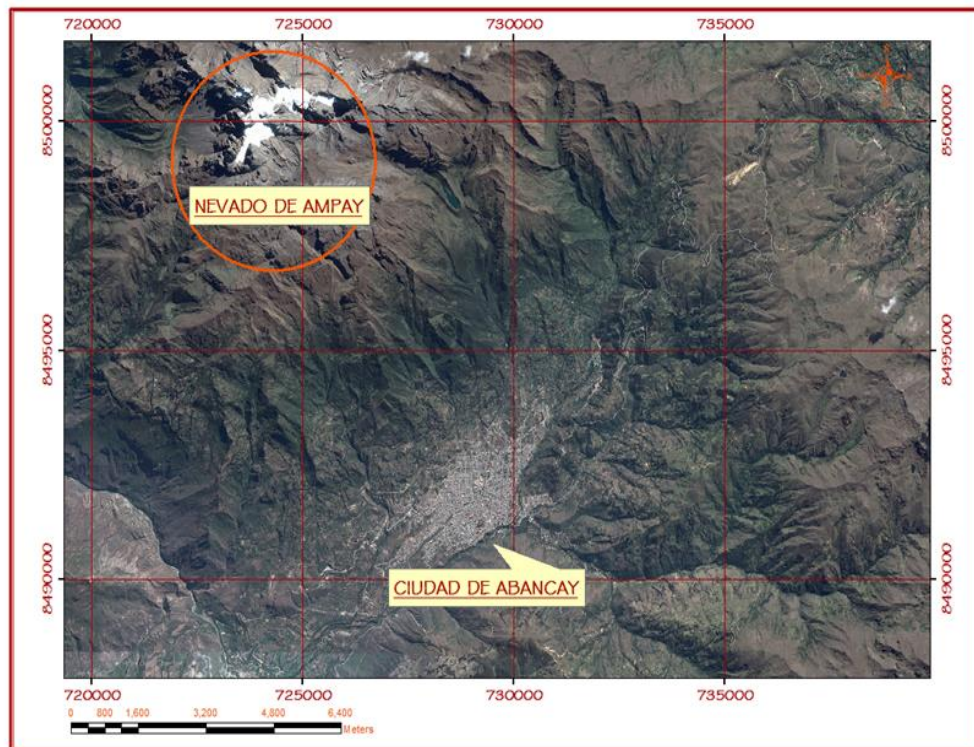
## **CAPITULO VII**

### **MEDOLOGÍA**

#### **7.1 LUGAR DE ESTUDIO**

El estudio se realizará en el nevado Ampay ubicado en el Distrito de Tamburco, Provincia de Abancay, Región Apurímac y parcialmente comprendida dentro del Santuario Nacional de Ampay,

instituida el 23 de julio de 1987 mediante Decreto Supremo N° 042-87-AG , geográficamente se encuentra entre las coordenadas 13°33' Latitud Sur y 72°51' Longitud Oeste.



## 7.2 POBLACIÓN Y TAMAÑO DE MUESTRA

### a) POBLACIÓN

La población está constituida por los glaciares andinos de las regiones montañosas del Perú.

### b) MUESTRA

Superficie del Nevado Ampay de los periodos de 2000 al 2019.

## 7.3 METODOLOGÍA

### 7.3.1 Materiales

Antes de iniciar la investigación se realizaron diferentes actividades como el reconocimiento del nevado del Ampay, verificación de las estaciones Meteorológicas próximas del nevado. Además la búsqueda de diferentes fuentes de información como, datos meteorológicos, cartografía, imágenes

de satélites de los sensores Landsat, Aster, Sentinel, Alos Palsar programas de Microsoft office, Autocad, ArcGis , Envi, Plataforma del Google Earth Engine, entre otros programas.

### **7.3.2 Información básica de climatología y cartografía**

Las fuentes de información para la recolección de datos de climatología y cartografía serán solicitadas y obtenidas de las siguientes instituciones y páginas del internet.

- ❖ Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología - SENAMHI.
- ❖ Autoridad Nacional del Agua - Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos – ANA.
- ❖ Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montana – INAIGEM.

### **7.3.3 Procedimiento**

#### **7.3.3.1 Determinación del área y perímetro del glaciar.**

El área y el perímetro del nevado del Ampay, se determinarán mediante los siguientes procedimientos:

#### **7.3.3.2 Descarga de Imágenes de Satélite.**

Para los procesos de tratamiento de imágenes de Satélite, se descargarán de las páginas de Internet: Landsat, Aster, Sentinel, Alos Palsar, e imágenes del servidor Google Map.

#### **7.3.3.3 Medición.**

Primeramente se efectuara una composición de bandas espectrales en color natural RGB 321 de las imágenes Landsat 8, Aster, y Sentinel 2B, y una reclasificación no supervisada de las imágenes, que servirá para la obtención de un primer resultado.

Para realizar la reclasificación se aplicará una de las metodologías más usadas en la determinación de la cubierta nival mediante datos de teledetección, la propuesta por Dozier, (1989). La nieve y el hielo poseen rasgos que las distinguen de otras cubiertas, las cuales se pueden observar a partir de la visualización de las distintas bandas de los sensores. En las bandas del visible se pueden apreciar que las zonas nevadas poseen una alta reflectancia comparadas con las zonas circundantes no nevadas, pudiéndose distinguir los glaciares de las zonas con vegetación o del agua, pero no se pueden distinguir de las rocas desnudas, mientras que en la banda del infrarrojo cercano y medio la reflectancia del hielo y del agua disminuye, distinguiéndose de las zonas de roca desnuda y la de las nubes sigue siendo alta. Dozier, (1989).

$$NDSI = \left( \frac{\text{canal 2} - \text{canal 5}}{\text{canal 2} + \text{canal 5}} \right) \quad (2)$$

La metodología de Dozier (Ecuación 1) propone el cálculo de un índice normalizado usando el canal 2 (0,520-0,6  $\mu\text{m}$ ), y el canal 5 (1,550-1,750  $\mu\text{m}$ ) del satélite LANDSAT con sensor TM, para la imágenes Sentinel 2B se utilizará las metodología de Dozier pero de diferentes bandas espectrales, la relación NDSI (Ecuación 2) es una relación de dos bandas: una en VIR (Banda 3) y otra en SWIR (Banda 11). La nieve se absorbe en el SWIR, pero se refleja en el VIR, mientras que la nube es generalmente reflexiva en estas bandas.

$$NDSI = \left( \frac{\text{canal 3} - \text{canal 11}}{\text{canal 3} + \text{canal 11}} \right) \quad (3)$$

Por otra parte las imágenes del sensor Aster (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), la relación NDSI (Ecuación 3) es una relación de dos bandas: una en VNIR (Banda 1) y otra en SWIR (Banda 4). La nieve se absorbe en el SWIR, pero se refleja en el NVIR, mientras que la nube es generalmente reflexiva en estas bandas.

$$NDSI = \left( \frac{\text{canal 1} - \text{canal 4}}{\text{canal 1} + \text{canal 4}} \right) \quad (4)$$

Del resultado obtenido, Dozier propone que se trate como cubierta nival cualquier celda que sea superior a un valor de 0,4 del índice NDSI (Normalized Difference Snow Index).

#### **7.3.4 Análisis de datos climatológicos**

Los datos climatológicos se analizaran a partir de la información disponible en Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) para obtener los datos de Temperatura media anual y la precipitación acumulada anual.

#### **7.3.5 Escenario futuro del glaciar**

Para realizar un escenario futuro, se usará las superficies estimadas en el periodo de estudio considerando al año 2000 como inicial y al año 2018 como final.

Según el siguiente modelo matemático propuesto (Alva, Meléndez 2009).

$$P_x = P_0 + \left( \frac{P_1 - P_0}{n} \right) * t \quad (5)$$



Dónde:

$P_x$ : Cantidad de hectáreas que se quieren conocer en el año  $x$

$P_0$ : Cantidad de hectáreas para el primer año

$P_1$ : Cantidad de hectáreas para el último año

$n$ : Número de años entre  $P_0$  y  $P_1$ .

$t$ : Número de año entre el primer año y el año que se quiere conocer (es decir entre  $P_0$  y  $P_1$ )

## 7.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos se analizarán mediante el análisis estadístico se utilizará las pruebas estadísticas paramétricas tipo correlacional de coeficiente de correlación  $r$  de Pearson y regresión lineal simple entre las variables.

Para calcular el coeficiente de correlación se emplea la siguiente ecuación:

$$r = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad (6)$$

### 7.4.1 Interpretación del coeficiente de correlación

Estando de acuerdo con Hernández Sampieri (2006, p.453), el coeficiente de correlación se calcula a partir de las puntuaciones obtenidas de una variable con las puntuaciones obtenidas de la otra, la misma que puede tomar valores desde -1.00 hasta +1.00.

Para probar la significación de coeficiente de correlación se empleará la  $t$  de Student que está dado por la siguiente ecuación:

$$t = \frac{r\sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (7)$$

## CAPITULO VIII

### CRONOGRAMA

#### 8.1 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Tabla 4: Cronograma de actividades

Enero 2021 – Diciembre 2021

Meses	Año - 2021																																																																											
	Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio				Julio				Agosto				Setiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre																															
Semanas	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4																								
<b>Etapas de la Investigación</b>																																																																												
Selección del título de proyecto	█	█	█																																																																									
Redacción del perfil de proyecto		█	█	█																																																																								
Presentación en la plataforma					█	█	█	█																																																																				
Reconocimiento del area en estudio					█	█	█	█																																																																				
Adquisición de Información cartografica y Meteorológica					█	█	█	█	█	█	█	█																																																																
Análisis y procesamiento de información cartografica.					█	█	█	█	█	█	█	█																																																																
Análisis y procesamiento de información meteorologica.					█	█	█	█	█	█	█	█																																																																
Aplicación del GEE																	█	█	█	█																																																								
Primer inform de davance																	█	█	█	█																																																								
Revisión de observaciones y modelos																													█	█	█	█																																												
Presentación del ultimo informe																																									█	█	█	█																																

## CAPITULO IX

### PRESUPUESTO

#### 9.1 PRESUPUESTO

Tabla 5: Presupuesto

Rubro	Unidad de medida	Cantidad	Precio Unitario S/.	Precio sub total S/.
1. Personal	Und.	02	3,000	6,000
2. Materiales y equipos	Glb.	01	1,000	1,000
3. Servicios	Glb.	01	2,000	2,000
4. Imprevistos	Glb.	01	500	500
<b>TOTAL S/.</b>				<b>9,500</b>

## CAPITULO X

### BIBLIOGRAFIA

#### 10.1 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abrams, M. (2000). The advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER): data products for the high spatial resolution imager on NASA's Terra platform. *International Journal of Remote Sensing*. 21(5): 847-859.

Alva, M., & Melendez, J. (2009). Aplicacion de la Teledeteccion para el analisis multitemporal de la regresion glaciaria en la Cordillera Blanca. *Investigaciones Sociales*, 13(22), 71 - 83. <https://doi.org/10.15381/is.v13i22.7216>

- Autoridad Nacional del Agua. (2014). Inventario nacional de glaciares y lagunas. Retrieved from <http://www.ana.gob.pe/media/981508/glaciares.Pdf>
- Ariza, A. (2013). Productos LDCM – Landsat 8. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá, Colombia. 9-10.
- Baker, J., Pacheco, V., y Salas, E. (2011). Tabla 4: lista preliminar de las especies de mamíferos del área de estudio (registradas en el departamento de Apurímac y en sitios adyacentes en el departamento de Cusco.
- Bury, J. T., Mark, B. G., McKenzie, J. M., French, A., Baraer, M., Huh, K. I., Gómez López, R. J. (2011) . Glacier recession and human vulnerability in the Yanamarey watershed of the Cordillera Blanca, Peru. *Climatic Change*, 105(1), 179-206. <https://doi.org/10.1007/s10584-010-9870-1>
- Burlando, P., Rosso, R. (2002) Effects of transient climate change on basin hydrology. 1. Precipitation scenarios for the Arno River, central Italy. 16: 1151–1175. <https://doi.org/10.1002/hyp.1055>
- Calizaya, E. (2018). “Modelamiento de la desglaciación de los nevados de la cuenca del rio Santa y su impacto en los recursos hídricos”
- URI: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3793>
- Chambers, C., Raniwala, A., Perry, F., Adams, S., Henry, R. R., Bradshaw, R., & Weizenbaum, N. (2010). FlumeJava: Easy, Efficient Data-parallel Pipelines. En *Proceedings of the 31st ACM SIGPLAN Conference on Programming Language Design and Implementation* (pp. 363–375). New York, NY, USA: ACM. <https://doi.org/10.1145/1806596.1806638>
- Chang, F., Dean, J., Ghemawat, S., Hsieh, W. C., Wallach, D. A., Burrows, M., Gruber, R. E. (2006). Bigtable: A Distributed Storage System for Structured Data. Recuperado 14 de septiembre de 2018, de <https://ai.google/research/pubs/pub27898>
- Chunqiao, et al., (2016). Heterogeneous glacial lake changes and links of lake expansions to the rapid thinning of adjacent glacier termini in the Himalayas. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.12.002>
- Chuvieco, E. (1996). *Fundamentos de Teledetección Espacial*. España ISBN: 84-321-3127-X <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=630495>

- CIIFEN, (2014). Metodología para la Estimación de Vulnerabilidad en Ecuador, Perú y Bolivia, Proyecto Información de cambio climático y biodiversidad para el fomento de políticas públicas de conservación y adaptación en la región de los Andes Tropicales.
- Colonia, F., Torres, E. (2012). Determinación del retroceso glaciar en la microcuenca Llanganuco, a través del análisis multitemporal en el periodo 1987 – 2007. <http://mtc-m16c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18/2012/05.14.18.05/doc/165.pdf>.
- Colonia, D F and Torres, J E (2013). “Disponibilidad Hídrica Glaciar en la Subcuenca Quillcay, Teniendo en Cuenta el Retroceso Glaciar y el Cambio Climático, 1970–2013–2050.”. III Concurso de Investigación para la Adaptación al Cambio Climático en el Perú. <https://www.iberamericana.se/articles/10.16993/iberamericana.211/galley/218/download/>
- Colonia, D., Torres, J., Haerberli, W., Schauweckers, S., Braendle, E., Giraldez, C. and Cochachin, A., (2017). Compiling an Inventory of Glacier-Bed Overdeepenings and Potential New Lakes in De- Glaciating Areas of the Peruvian Andes: Approach, First Results and Perspectives for Adaptation to Climate Change. *Water*, 9(5), 336. <https://doi.org/10.3390/w9050336>
- Condom, T., Sicart J.E., Rabatel A., Murre L., Cochachin A., Santillán N., Dávila L. (2014). Retroceso de los glaciares y recursos hídricos en los Andes peruanos en las últimas décadas. [http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers1708/010070640.pdf](http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers1708/010070640.pdf)
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC, 2013).Art. 1.
- Corbett, J. C., Dean, J., Epstein, M., Fikes, A., Frost, C., Furman, J. J., ... Woodford, D. (2012). Spanner: Google’s Globally-Distributed Database. En 10th USENIX Symposium on Operating Systems Design and Implementation (OSDI 12) (pp. 261–264). Hollywood, CA: USENIX Association. Recuperado de <https://www.usenix.org/conference/osdi12/technical-sessions/presentation/corbett>
- Díaz, R., Sánchez, S., Lujano, E., Lujano A. (2017).Análisis multi-temporal entre 1975 y 2015 sobre cambios de la cobertura glaciar en los nevados Allin Capac y Chichi Capac, Perú. <http://dx.doi.org/10.18271/ria.2017.291>

- Dozier, J.(1989). Spectral signature of alpine snow cover from the Landsat thematic mapper. Remote Sensing of Environment [Online]. pp. 9-22, 1989. Available at: <https://people.eri.ucsb.edu/~dozier/Pubs/DozierRSE1989.pdf>.
- Drusch M., Del Bello U., et al., Fernández V. (2012). Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.026>
- European Space Agency. (2007). Information on ALOS PALSAR Products for ADEN Users, (1).
- Galvão, S., Formaggio, R. and Tisot, D. (2005). Discrimination of sugarcane varieties in Southeastern Brazil with EO-1 Hyperion data. Remote Sensing of Environment. 94(4): 523-534.
- Ghemawat, S., Gobioff, H., & Leung, S.-T. (2003). The Google File System. En Proceedings of the Nineteenth ACM Symposium on Operating Systems Principles (pp. 29–43). New York, NY, USA: ACM. <https://doi.org/10.1145/945445.945450>
- Gómez, Zamora & Cabrel (2012). Evaluación de la cobertura glaciar utilizando técnicas de teledetección espacial en la subcuenca del río Quellcayhuanca – río Santa.
- Google, Earth Solidario. Introducción a Google Earth Engine, (2016). Disponible en: <[https://www.google.es/intl/es/earth/outreach/tutorials/eartheng\\_gettingstarted.html](https://www.google.es/intl/es/earth/outreach/tutorials/eartheng_gettingstarted.html)>. Acceso en: 15.oct. 2016.
- Gonzales, F. (2011) Estudio multitemporal del nevado Ampay en el contexto del cambio climático: 1986 – 2011.
- Gonzales, P. (2012). Realidad actual de los glaciares tropicales usando técnicas de teledetección. CONAE.
- Gonzalez, H., Halevy, A. Y., Jensen, C. S., Langen, A., Madhavan, J., Shapley, R., ... Goldberg-Kidon, J. (2010). Google Fusion Tables: Web-centered Data Management and Collaboration. En Proceedings of the 2010 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data (pp. 1061–1066). New York, NY, USA: ACM. <https://doi.org/10.1145/1807167.1807286>
- Grandell, J. 1998. Time series analysis.

- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2006). Metodología de la investigación: Roberto Hernández Sampieri, Carlos Fernández Collado y Pilar Baptista Lucio (4a. ed. --.). México D.F.: McGraw-Hill.
- Herrera G. y Ruiz J., (2009). Retroceso glaciar en la Sierra Nevada del Cocuy, Boyacá - Colombia, 1986- 2007. <https://revistas.uptc.edu.co/index.php/perspectiva/article/view/1710>
- Ihaka, R. (2005). Lecture note for Time Series Analysis. P.1–111, 2005.
- Instituto de Investigación Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM). Glaciares en extinción diagnóstico de la situación actual del nevado Ampay, Cordillera Vilcabamba departamento de Apurímac Informe Técnico N° 20, Marzo 2016. <https://www.inaigem.gob.pe/wp-content/uploads/2019/05/INFORME-T%C3%89CNICO-N%C2%B0-20-NEVADO-AMPAY.pdf>.
- IPCC, (2013). Grupo de trabajo I del Quinto Informe de Evaluación del IPCC ([www.climatechange2013.org](http://www.climatechange2013.org)). [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5\\_SPM\\_brochure\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SPM_brochure_es.pdf).
- Knight, G. (1999). Glaciers. Cheltenham, Stanley Thornes, 261 pp. ISBN 0-74874-000-7, Paperback.
- Kozhikkodan, Wang, Souza, Bremer, & Cardia, (2017). Monitoreo de glaciares e interacciones glaciares del clima en los Andes Tropicales
- Kumpula, S. Nedkov and M. Nikolova. (2006). Land cover classification of Sinite Kamani natural park using ASTER TERRA satellite image. In: International conference on cartography and GIS. Borovets, Bulgaria.
- Lizarzaburu J. Diehl L. y Deza J. (2012). El retroceso glaciar en la alta montaña de los Andes Peruanos. Caso: Santuario Nacional de Ampay, Apurímac. Disponible en: <http://revistas.uap.edu.pe/ojs/index.php/CYD/article/download/1115/1093>
- Mark, B. G. (2008). Tracing tropical Andean glaciers over space and time: Some lessons and transdisciplinary implications. *Global and Planetary Change* , 60 (12),101114. [.https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2006.07.032](https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2006.07.032)
- Medina, G., Mejía, M. (2013). Análisis multitemporal y multifractal de la desglaciación de la cordillera Parón en los andes de Perú.

- Moreno, V., & Alfonso, C. (1996). Análisis Multitemporal de Imágenes LANDSAT TM en la Cartografía de Hielo y Nieve Aplicada a Modelización Hidrológica. *Revista de la Teledetección*.
- Rabatel, A. et al (2013). Current state of glaciers in the tropical Andes: a multi-century perspective on glacier evolution and climate change. *The Cryosphere*, 7(1), pp.81-102.
- Recio, J., Ignacio, C. and Maestro, C., Análisis comparativo de distintos métodos de estimación de la superficie glaciar en el pirineo axial aragonés a partir de imágenes Landsat. *Geofocus* [En línea]. pp. 79-92, 2004. Disponible en:  
<http://www.geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/43/211>
- Salzmann, N., Huggel, C., Rohrer, M., Silverio, W., Mark, B. G., Burns, P., and Portocarrero, C. (2013). Glacier changes and climate trends derived from multiple sources in the data scarce Cordillera Vilcanota region, southern Peruvian Andes, *The Cryosphere*, 7, 103–118, <https://doi.org/10.5194/tc-7-103-2013>.
- Salzmann et al., (2017). The freezing level in the tropical Andes, Peru: An indicator for present and future glacier extents. <https://doi.org/10.1002/2016JD025943>
- Thompson, L. G. (2013). Informe publicado el jueves por la revista Science New York Times News Service. Recuperado en:  
[https://elpais.com/sociedad/2013/04/05/actualidad/1365156308\\_191727.html](https://elpais.com/sociedad/2013/04/05/actualidad/1365156308_191727.html).
- Venturino, R.; Schall, U. M.; Solichin, U. J. (2014). Google Earth Engine As a Remote Sensing Tool. *International Journal of Remote Sensing & Geoscience*, p. 1–15, 2014.
- Verma, A., Pedrosa, L., Korupolu, M., Oppenheimer, D., Tune, E., & Wilkes, J. (2015). Large-scale Cluster Management at Google with Borg. En *Proceedings of the Tenth European Conference on Computer Systems* (pp. 18:1–18:17). New York, NY, USA: ACM.  
<https://doi.org/10.1145/2741948.2741964>
- Villón, M. *Hidrología*. Cartago: Tecnológica de Costa Rica, (2004). 474 pp. ISBN: 99776

