



**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

TESIS

**“EVALUACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA GLACIAR DEL
NEVADO AMPAY EN LOS PERIODOS DE 1986 AL 2017 Y CON UNA
TENDENCIA AL 2050 EN LA MICROCUENCA DEL RIO MARIÑO DE
LA PROVINCIA DE ABANCAY – APURÍMAC, AÑO 2017”**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER
JAVIER SIERRA PUGA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

ABANCAY – PERÚ 2017

DEDICATORIA.

Dedico esta tesis a mis padres Oscar Sierra Peña y Eduviges Puga Mendoza por ser quienes me dieron la vida, a mis hermanos, a mis compañeros de trabajo y estudio, a mis maestros, amigos quienes sin su ayuda no hubiera podido hacer esta tesis realidad.

A ti, Madre, Amabilis Geimer Weis, O.P. quién hace más de 09 años, desde el cielo, viene guiando mi camino.

AGRADECIMIENTOS.

- ✓ Este trabajo no hubiera sido posible sin el apoyo incondicional de instituciones y profesionales expertos en el tema.
- ✓ Al Gobierno Regional de Apurímac a través de la Sub Gerencia de Recursos Naturales y Areas Naturales Protegidas, por el apoyo económico en la elaboración del presente estudio.
- ✓ Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM) a través de su dirección de investigación en glaciares, por la información prestada.
- ✓ También los agradecimientos al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi) por los datos brindados para la validación de los resultados obtenidos en esta investigación.
- ✓ Mi agradecimiento al Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) y al Instituto Nacional de Pesquisas Espaciales (INPE) de Brasil por la adquisición de las imágenes TM y ETM+ del satélite Landsat.
- ✓ A la escuela profesional de Ingeniería Ambiental, docentes, administrativos; por su dedicación, comprensión y orientación, en las diferentes etapas de mi formación profesional.
- ✓ A los Ing. Luis A. Gonzales Ferro y Anderson Núñez Fernández, por su conducción y aporte de valiosos conocimientos académicos que han permitido el desarrollo de la presente tesis de investigación.

RESUMEN

En las últimas décadas el cambio climático ha afectado las regiones de la criosfera del mundo, especialmente los glaciares en los Andes del Perú, por ser excelentes indicadores del cambio climático. El conocimiento relacionado con la dinámica de los glaciares es importante para el uso y aprovechamiento del recurso hídrico en los Andes peruanos en diversas actividades. En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo Evaluar la disponibilidad hídrica glaciar del Nevado Ampay en los periodos de 1986 al 2017 y con una tendencia al 2050 en la Microcuenca del Rio Mariño de la Provincia de Abancay – Apurímac.

Los datos utilizados son imágenes de satélite Landsat TM de los años 1986, 1988, 1991, 1993, 1996, 2000, 2004, 2007, 2010, 2014 y 2017. Aplicando el método índice estandarizado de nieve/hielo (NDSI) interpretación visual y trabajos de campo, se estimó el cambio superficial en el año de 1986 con un área de 2.26 Km², el 2017 fue de 0.54 Km² y tasando al año del 2050 se estima que contara una superficie de 0.11 Km² con una tasa de cambio promedio de - 0.0451 %.

Para determinar el volumen del glaciar se aplicó el método volumen – área según parámetros de escala. En cuanto al volumen del glaciar calculado en el año de 1986 fue de 0.049 Km³, el 2017 fue de 0.007 Km³ y tasando al año del 2050 se estima que contara con un volumen de 0.001 Km³.

Este hecho podría ocasionar graves problemas para el desarrollo y la economía de la Microcuenca Rio Mariño, durante la época seca, porque el agua es fundamental para las actividades económicas y las necesidades vitales de la

población aguas abajo. La información obtenida en el estudio será útil para que los tomadores de decisión aumenten proyectos de inversión pública, centrados en la adaptación al cambio climático y la disminución progresiva de las reservas de agua en la Microcuenca Rio Mariño.

Palabras claves: Disponibilidad hídrica, retroceso glaciar, Microcuenca, glaciar, cambio climático.

SUMMARY

In recent decades, climate change has affected the world's cryosphere regions, especially glaciers in the Andes of Peru, as excellent indicators of climate change. The knowledge related to the dynamics of the glaciers is important for the use and use of the water resource in the Peruvian Andes in diverse activities. In this context, the present investigation aims to evaluate the glacier water availability of the Nevado Ampay in the periods from 1986 to 2017 and with a trend to 2050 in the Mariño River Microbasin of the Province of Abancay - Apurímac.

The data used are Landsat TM satellite images of the years 1986, 1988, 1991, 1993, 1996, 2000, 2004, 2007, 2010, 2014 and 2017. Applying the standardized snow / ice index method (NDSI), visual interpretation and works field, the surface change was estimated in the year of 1986 with an area of 2.26 Km², 2017 was 0.54 Km² and the year 2050 was estimated to have an area of 0.11 Km² with an average change rate of - 0.0451 %.

To determine the volume of the glacier, the volume - area method was applied according to scale parameters. In terms of the volume of the glacier calculated in the year of 1986, it was 0.049 Km³, 2017 was 0.007 Km³, and by the year 2050 it is estimated that it will have a volume of 0.001 km³.

This fact could cause serious problems for the development and economy of the Rio Mariño Microbasin, during the dry season, because water is essential for economic activities and the vital needs of the downstream population. The information obtained in the study will be useful for decision makers to increase public investment

projects, focused on adaptation to climate change and the progressive reduction of water reserves in the Rio Mariño Microbasin.

Keywords: Water availability, glacial retreat, micro basin, glacier, climate change.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.	ii
RESUMEN.....	iii
SUMMARY	v
ÍNDICE	vii
GLOSARIO DE ABREVIATURAS	x
INDICE DE FIGURAS	xi
INDICE DE TABLAS	xii
INTRODUCCIÓN.....	xiii
CAPÍTULO I.	16
PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO.....	16
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	16
1.2. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	17
1.2.1. Espacial	17
1.2.2. Temporal.....	21
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	21
1.3.1. Problema General	21
1.3.2. Problemas Específicos	21
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	22
1.4.1. Objetivo General	22
1.4.2. Objetivo Específico	22
1.5. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
1.5.1. Variable 01	22
1.5.2. Operacionalización de variables	23
1.6. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	23
1.6.1. Tipo de Investigación	23
1.6.2. Nivel de Investigación	24
1.6.3. Método de Investigación	24
1.6.4. Diseño de investigación	24
1.7. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN	25

1.7.1. Población	25
1.7.2. Muestra.....	25
1.8. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE LA RECOLECCIÓN DE DATOS	25
1.8.1. Técnicas	25
1.8.2. Instrumentos	26
1.9. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN	27
1.9.1. Justificación	27
1.9.2. Importancia.....	28
CAPÍTULO II.	30
MARCO TEÓRICO.....	30
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	30
2.1.1 Antecedentes Internacionales.....	30
2.1.2 Antecedentes Nacionales	31
2.1.3 Antecedentes Locales.....	34
2.2 BASES TEÓRICAS	37
2.2.1 Los glaciares.....	37
2.2.2 . Cambio climático e impacto en los glaciares.	39
2.2.3 Disponibilidad hídrica	42
2.2.4 Adaptación al cambio climático.....	44
2.2.5 Cambio climático y variabilidad climática.....	44
2.2.6 Efecto invernadero.....	44
2.2.7 . Glaciar	45
2.2.8 Sistema de Información Geográfica.....	46
2.2.9 . Los SIG Raster	47
2.2.10 . Los SIG Orientados a Objetos	48
2.2.11 Teledetección Espacial	48
2.2.12 LandSat	49
2.2.13. Landsat 7	49
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	50
CAPÍTULO III.	54
PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	54

3.1 Datos imágenes.....	54
3.1.1 Adquisición de las imágenes Landsat.....	54
3.2 ESTIMACIÓN DE LA SUPERFICIE GLACIAR	56
3.3 ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN GLACIAR	62
3.4 ESCENARIO FUTURO DE LA SUPERFICIE Y VOLUMEN GLACIAR.....	65
3.5 ESCENARIO CLIMÁTICO	68
CAPÍTULO IV.....	69
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	69
CONCLUSIONES.....	72
RECOMENDACIONES.....	73
FUENTES DE INFORMACION	75
Anexos.....	79

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

ACC – Adaptación al Cambio Climático

ANA – Autoridad Nacional del Agua

DEM – Digital Elevation Model

GIS – Geographic Information System

GLOF – Glacial Lake Outburst Flood

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change

NDSI – Normalized Difference Snow Index

NDWI – Normalized Difference Water Index

NSIDC – National Snow and Ice Data Center

ONERN – Oficina Nacional de Recursos Naturales

PNUD – Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo

SERNANP – Servicio Nacional de Áreas Natulares Protegidas

UGRH – Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos

UNEP – United Nations Environment Programme

UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change

USGS – United States Geological Survey

UTM – Universal Transversal de Mercator

ZEE- Zonificación Ecológica Económica

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.- Área de estudio del Glaciar del Nevado Ampay</i>	20
<i>Figura 2.- Dinámica glaciár.</i>	38
<i>Figura 3.- Perfil longitudinal y partes de un glaciár.</i>	39
<i>Figura 4.- Imagen landsat del Nevado Ampay del año 1986</i>	57
<i>Figura 5.-Calculadora Raster de Spatial Analyst</i>	58
<i>Figura 6.- Definición de Umbral del NDSI</i>	59
<i>Figura 7.- Mecanismo de conversión de ráster a shape</i>	60
<i>Figura 8.- Procesamiento de Imagen a polígono</i>	60
<i>Figura 9.- Determinación de área y perímetro del Nevado Ampay</i>	61
<i>Figura 10.- Evolución Espacio Temporal Nevado Ampay periodo 1986 - 2017</i>	62
<i>Figura 11.- Evolución Volumétrica Temporal Nevado Ampay periodo 1986 - 2017</i> .	65
<i>Figura 12.- Escenario futuro de la superficie glaciár del Nevado Ampay al 2050</i>	67
<i>Figura 13.- Escenario futuro del volumen glaciár del Nevado Ampay al 2050</i>	67
<i>Figura 14.- Precipitación anual periodo 1986 - 2016</i>	68
<i>Figura 15.- Temperatura Min. y Max. del periodo 1986 – 2016</i>	68
<i>Figura 16.- Evolución superficial temporal del Nevado Ampay del periodo de 1986 – 2017 con proyección al 2050.</i>	69
<i>Figura 17.- . Evolución del volumen temporal del Nevado Ampay del periodo de 1986 – 2017 con proyección al 2050</i>	70

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Operacionalización de variables	23
Tabla 2.- Imágenes descargadas para desarrollar el estudio.....	55
Tabla 3.- Índices t ratios de nieve y/o glaciar citados en investigaciones y estudios.	56
Tabla 4.- Resultados de área y perímetro de la cobertura glaciar del Nevado Ampay periodo 1986 – 2017.	61
Tabla 5.- Métodos para la estimación del volumen glaciar.....	63
Tabla 6.- Resultados de volumen del glaciar del Nevado Ampay periodo 1986 – 2017	64

INTRODUCCIÓN.

El contenido de la presente investigación lleva por título disponibilidad hídrica glaciar del Nevado Ampay en los periodos de 1986 al 2017 y con una tendencia al 2050 en la Microcuenca del Rio Mariño de la Provincia de Abancay – Apurímac, año 2017

Capítulo I, descripción de la realidad problemática el retroceso de los glaciares se acelera rápidamente en distintas partes del mundo debido al calentamiento global, lo que supone una grave amenaza de inundaciones y desastres naturales, así como la pérdida de especies y acceso al agua natural.

La delimitación del área de estudio permitió estimar y corroborar la reducción dramática que sufre el Glaciar del Nevado Ampay en los últimos 31 años. En la provincia de Abancay Departamento de Apurímac el cual es el único glaciar que existe hasta la actualidad, proporciona agua al Santuario Nacional de Ampay, ecosistemas de montaña y actividades de la población asociadas a la actividad económica y el bienestar, principalmente para consumo de agua entubada para la Ciudad de Abancay y para los pobladores aledaños al Nevado Ampay.

Por otro lado, se utilizó técnicas e instrumentos de recolección de datos fundamentales como es la visualización del entorno a través de Google Earth, reconocimiento y caracterización de la zona de estudio, toma de fotografías con acercamientos a zonas de interés

Capítulo II, la fuente de información recopilado ayudo a comparar los resultados de esta investigación a través de los antecedentes internacionales

nacionales y locales permitió coadyuvar para el desarrollo de investigación, más la base teórica y términos básicos

Capítulo III, presentación de resultados, se aplicó el método de **Índice de Diferencia Normalizada de Hielo y Nieve NDSI** (por sus siglas en el idioma inglés: Normalized-Difference Snow Index, Hall et al., 1995). Para determinar la superficie glaciar del periodo de 1986 – 2017 y para estimar el volumen se aplicó el método **volumen – área según parámetros de escala** (Bahr y Meir, 1997).

La disminución de la disponibilidad hídrica glaciar en la Microcuenca Rio Mariño es a consecuencia del acelerado retroceso glaciar, ocasionado por el calentamiento global. Sin embargo, el retroceso glaciar cambia según la característica y extensión propias del glaciar como respuesta a las diferencias del clima en el ámbito local.

Tomando en cuenta los períodos de estudio el área glaciar disminuyó de 2.26 Km² en 1986 a 0.54 Km² al 2017, lo que significa una pérdida de área de 1.72 Km². En el año 1986 el volumen estimado del Glaciar Nevado Ampay fue de 0.049 Km³ y comparando con el volumen del 2017 es 0.007 Km³ la pérdida de volumen fue de 0.042 Km³.

En cuanto al escenario futuro, considerando el ritmo y continuidad de la superficie glaciar la tasa de cambio es – 0.0451% durante el periodo de 1986 al 2017 se estima el área y volumen que tendrá en el año 2050 es de 0.11 Km² y el volumen glaciar futuro tasado sería 0.001 Km³.

Capítulo IV, discusión de resultados esto evidencia que el retroceso glaciar disminuye las reservas de agua en los glaciares, causado por el cambio climático. Los resultados brindaran información importante a los tomadores de decisión para aumentar proyectos de inversión pública, relacionados a la adaptación al cambio climático y a la posible disminución progresiva del recurso hídrico almacenado en el glaciar del Nevado Ampay.

CAPÍTULO I.

PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

El retroceso de los glaciares se acelera rápidamente en distintos continentes del mundo debido al calentamiento global y otros factores, lo que supone una grave amenaza para la humanidad y todos los seres vivos de inundaciones y desastres naturales, así (Asociación Salud I Agroecológica (ISIA), 2003) como la desaparición de especies y acceso al agua natural.

Los glaciares de los Andes Tropicales que cruzan Colombia, Ecuador, Perú Bolivia y Venezuela - se han reducido en promedio entre un 30% y un 50% desde la década de los setenta a la fecha actual, Una tendencia alarmante, se considera que esos glaciares son la principal fuente de agua potable para millones de habitantes de la región antes mencionado. (*Vuille, 2011*).

Los 0.75°C adicionados en estos últimos cien años, a causa de la contaminación ambiental, esto ha provocado a la fecha la desaparición de una de

nuestras cordilleras y amenaza con extinguir a 5 cordilleras más de las 19 que nos quedan en los siguientes 15 o 20 años.

La Raya (entre Cusco y Puno), Volcánica (entre Arequipa, Tacna y Moquegua), Chila (Arequipa), Huanzo, Vilcabamba (entre Ayacucho, Cusco y Apurímac) y Chonta (entre Lima y Huancavelica), son las cadenas montañosas peruanas que son las más vulnerables ante el calentamiento de la Tierra, por lo que su desaparición en un contexto climático altamente variable como el actual se torna inminente. (*Vuille, 2011*).

En contexto, el Nevado Ampay sufrirá la reducción de las reservas de agua en el futuro por el retroceso glaciar del Ampay, afectando la disponibilidad de agua para sus múltiples usos en la ciudad de Tamburco y Abancay y otros centros poblados que están dentro de la Microcuenca río Mariño.

1.2. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. Espacial

El Nevado Ampay forma parte de la Cordillera Vilcabamba, se ubica hidrográficamente en la Cuenca del río Apurímac, en la vertiente del Atlántico, el cual desempeña un papel importante en la dotación de agua hacia el “Santuario Nacional Ampay”; dicho santuario está dentro del Distrito de Tamburco y Abancay.

La Microcuenca Mariño posee un área aproximada de 228.51 km² hasta la confluencia con el río Pachachaca, con un rango de altitudes que varía desde los 1.718 hasta los 5.195 msnm. (ver en anexos mapa de altitudes) Presenta una topografía variable con pendientes muy fuertes principalmente en la parte media de

la Microcuenca; la parte baja es un valle interandino con mucha vegetación y la parte alta posee una topografía ondulada y con menos vegetación.

UBICACIÓN GEOGRAFICA

- Departamento: Apurímac
- Provincia: Abancay
- Distritos: Abancay Tamburco y huanipaca
- Comunidad: Comunidad Campesina de Juan Velasco Alvarado (Distrito de Abancay) y la Comunidad Campesina de Occopata (Distrito de Huanipaca)

UBICACIÓN HIDROGEOGRAFICA

- Cuenca Hidrográfica: Intercuenca Alto Apurímac
- Subcuenca: Rio Pachachaca
- Microcuenca: Rio Mariño.

Sistema de coordenadas:

WGS 1984 UTM Zona 18 S

Proyección: Universal Transverse Mercator

Datum: WGS 1984

Puntos que forman el área de estudio

Vértice 01

E – 720 412.43 m
N – 8 503 076.77 m
Altitud 3 592 msnm.

Vértice 02

E – 729 263.18 m
N – 8 503 239.23 m
Altitud 3 565 msnm.

Vértice 03

E – 729 590.27 m
N – 8 496 520.30 m
Altitud 3 491 msnm.

Vértice 04

E – 720 519.34 m
N – 8 496 394.31 m
Altitud 3 757 msnm.

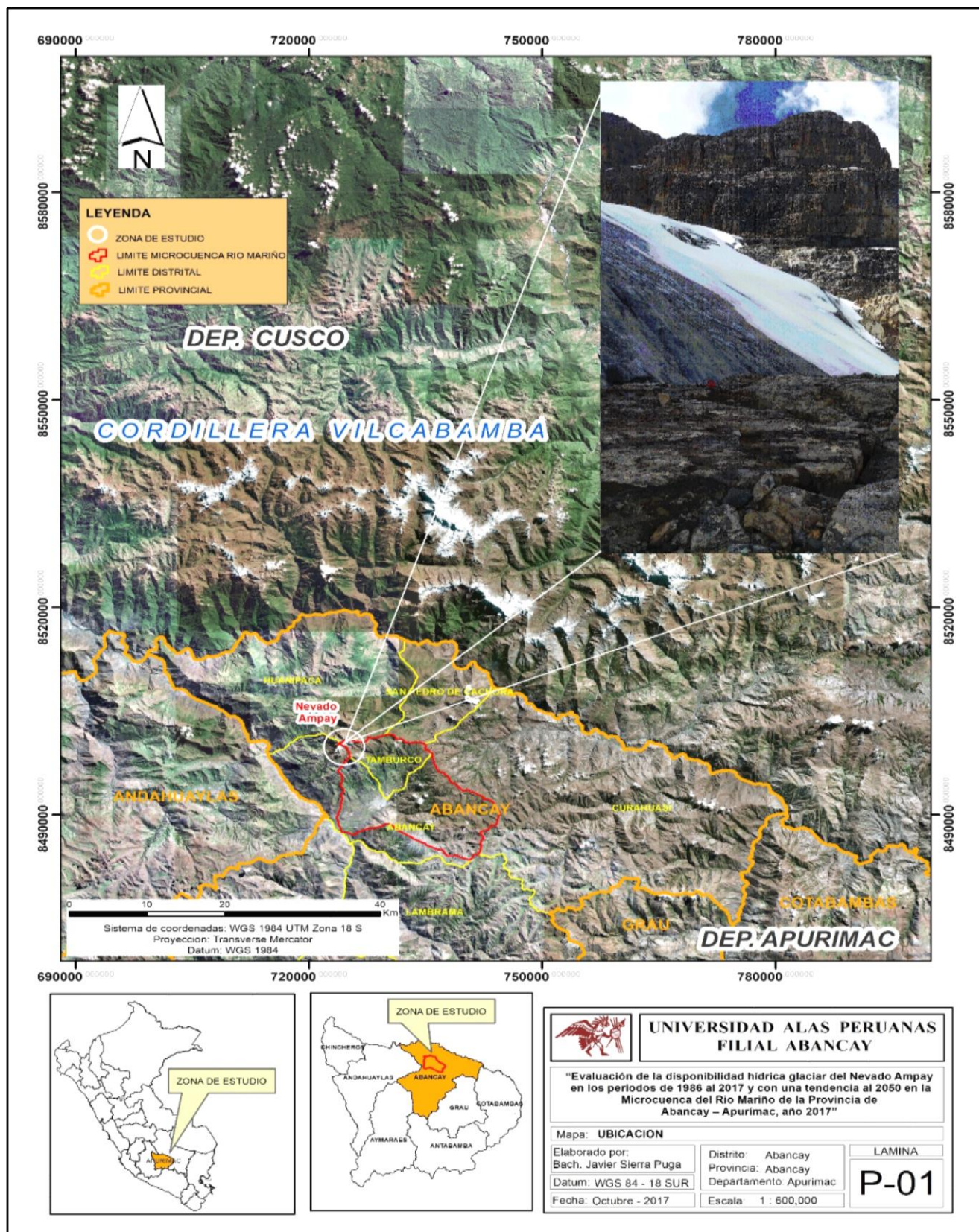


Figura 1.- Área de estudio del Glaciar del Nevado Ampay

Fuente: Elaboración propia.

1.2.2. Temporal

El objeto de la investigación tomará como punto de partida el mes de mayo del dos mil diecisiete hasta el mes de noviembre del presente año, por considerar ser un periodo que permitirá establecer los objetivos planeados.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.3.1. Problema General

- ✓ ¿De qué manera se realiza la evaluación de la disponibilidad hídrica glaciar del Nevado Ampay en los periodos de 1986 al 2017 y con una tendencia al 2050 en la Microcuenca del Rio Mariño del distrito de Abancay– Apurímac, año 2017?

1.3.2. Problemas Específicos

- ✓ ¿Cuál es el área de la disponibilidad hídrica glaciar del Nevado Ampay en los periodos de 1986 al 2017 y con una tendencia al 2050 en la Microcuenca del Rio Mariño de la Provincia de Abancay – Apurímac, año 2017?
- ✓ ¿Cuál es el volumen de disponibilidad hídrica glaciar del Nevado Ampay en los periodos de 1986 al 2017 y con una tendencia al 2050 en la Microcuenca Mariño de la Provincia de Abancay – Apurímac, año 2017?

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo General

- ✓ Evaluar la disponibilidad hídrica glaciar del Nevado Ampay en los periodos de 1986 al 2017 y con una tendencia al 2050 en la Microcuenca del Rio Mariño de la Provincia de Abancay – Apurímac, año 2017

1.4.2. Objetivo Específico

- ✓ Determinar el área de la disponibilidad hídrica glaciar del Nevado Ampay en los periodos de 1986 al 2017 y con una tendencia al 2050 en la Microcuenca del Rio Mariño de la Provincia de Abancay – Apurímac, año 2017
- ✓ Determinar el volumen de la disponibilidad hídrica glaciar del Nevado Ampay en los periodos de 1986 al 2017 y con una tendencia al 2050 en la Microcuenca del Rio Mariño de la Provincia de Abancay – Apurímac, año 2017

1.5. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Variable 01

- ✓ Disponibilidad hídrica glaciar

1.5.2. Operacionalización de variables

Tabla 1.

Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADORES	ÍNDICES
Disponibilidad hídrica glaciar	Determinación de la variación de área volumen almacenado del glaciar.	Índice de Diferencia Normalizada de Hielo y Nieve NDSI.	Área.	m. ²
		Volumen – área según parámetros de escala.	Volumen.	m. ³

Fuente: Elaboración propia.

1.6. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1. Tipo de Investigación

Según el propósito de la investigación es aplicada, de acuerdo a la descripción de Maletta , (2009) menciona que “la investigación aplicada es poner en práctica los conocimientos básicos y aplicarlo a un campo particular, con varios posibles objetivos convalidar una teoría en un terreno novedoso, calibrar los parámetros cuantitativos de una teoría en una realidad particular, extender una determinada teoría hacia un campo para el que no fue originariamente creada, sentar las bases para un posterior desarrollo de tecnología”. (p. 110)

1.6.2. Nivel de Investigación

La presente investigación es de nivel descriptivo, Según Hernández, Fernández y Baptista (1991), menciona que la investigación descriptiva se centra en recolectar datos que muestran un evento, una comunidad, un fenómeno, hecho, contexto o situación. Buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis. Además, pretende medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a los que se refieren. (p.60)

1.6.3. Métodos de Investigación

El método de la presente investigación es de medición es el método que se desarrolla con el objetivo de obtener información numérica acerca de una propiedad o cualidad del objeto, proceso o fenómeno, donde se comparan magnitudes medibles y conocidas. (Valdés, 1999), (Moráquez, 2001).

1.6.4. Diseño de investigación

El diseño de la investigación es no experimental, considerando que la evaluación de la disponibilidad hídrica glaciaria del nevado Ampay se realizó en un momento dado. además, la investigación se centra en analizar una tendencia en un determinado espacio. (IDEM)

1.7. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

1.7.1. Población

- **Cordillera Vilcabamba** (forma el ramal oriental de la cordillera de los Andes Centrales del Perú, ubicados en los departamentos de Cusco y de Apurímac presenta unos 355 glaciares con una superficie glaciar total de 129,15 km²) (ANA, 2014)

1.7.2. Muestra

- **Nevado del Ampay** (se usó el muestreo no probabilístico mediante la técnica del muestreo por conveniencia (Ochoa, Carlos, 2015, p 23). La cual permite que el investigador designe la muestra. Para nuestro estudio se optó por el nevado ampay)

1.8. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE LA RECOLECCIÓN DE DATOS

1.8.1. Técnicas

Las principales técnicas que se utilizaran en la investigación son:

- ✓ Visualización del entorno a través de Google Earth (aproximación a los puntos de interés de la montaña de Vilcabamba - Nevado Ampay).
- ✓ Reconocimiento y caracterización de la zona de estudio (recorrido en el entorno, toma de muestras de Nieve y Hielo y mediciones de la cantidad volumétrica en un determinado peso). Esta operación se relacionó y comparo con el método a aplicar en el presente estudio.
- ✓ Toma de fotografías con acercamientos a zonas de interés (obtención de imágenes "insitu", que permitan reflejar la situación actual.
- ✓ Realización de entrevistas (Conversaciones con representantes de las juntas de usuarios de agua en los Centros Poblados en las zonas de interés).

Actividades de Gabinete

Para la obtención y elaboración del informe final, se consideró seguir los siguientes procedimientos.

- ✓ Revisión de información recopilada, material fílmico y fotográfico, entrevistas a las autoridades y pobladores.
- ✓ Procesamiento de información.
- ✓ Elaboración del estudio.

1.8.2. Instrumentos

Materiales

- Cartas Nacional (Escala 1:100,000)

Nombre de la carta: Abancay

Código de carta: 28 q

Zona y cuadrícula: 18 L

Fuente: IGN – DC

- Mapas Temáticos (Mapa Topográfico, Ecológico, Cobertura Vegetal, Geológico, Temperatura e Isoyetas)

Fuente: Zonificación Ecológica Económica de Apurímac - ZEE

- Imágenes (Imágenes LANDSAT 7 – 8 ETM ortorectificadas)

Software

- ArcGis. 10.3
- Autocad 2015
- Erdas Imagine 2010
- Excel - Estadística gráfica

Herramientas de campo

- Pala pequeña
- Picota

- Wincha
- Soga
- Guantes de cuero
- Balanza portátil

Equipos

- Computadora CORE i7 - Qosmio
- GPS - Navegador
- Cámara fotográfica
- Equipo personal (Lentes oscuros, Línea de vida, Mosquetones y eslingas y Carpa de alpinismo)

1.9. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

1.9.1. Justificación

Con el presente trabajo de investigación se pretende estimar y determinar el recurso hídrico glaciar del Nevado, pretende establecer si el retroceso glaciar ha influido en las últimas décadas en la pérdida de masa glaciar, mediante Imágenes satelitales de la zona de intervención.

EL Glaciar del Nevado Ampay constituye una fuente potencial de recurso económico, hídrico y turístico, por las bondades paisajistas que nos ofrece, su contribución a la regulación ambiental y equilibrio del ecosistema del Santuario Nacional del Ampay, en definitiva, juegan un rol crucial en el desarrollo socioeconómico de la población.

El presente documento aportara al entendimiento del comportamiento Glaciar del Nevado Ampay, y evaluar la disponibilidad hídrica y de reservas como fuente de abastecimiento al consumo humano y agrícola. Dará además una medida de la

pérdida de masa de hielo de los glaciares y su relación con los cambios climáticos en los últimos 31 años.

Nuestra justificación de esta investigación, es que nuestras reservas de agua dulce que proviene del Glaciar del Nevado Ampay y de los riachuelos que nacen en la parte alta, abastecen en parte de la población Abancay, Tamburco y centros poblados, y con el constante crecimiento urbanístico (ver en anexos mapa de expansión urbana) en la transformación de los glaciares debido al cambio climático por el calentamiento global, nos vemos ante una amenaza inminente.

Esta investigación puede ser replicada y/o mejorada para el monitoreo continuo de superficies glaciares, así como también el uso de los resultados para futuras investigaciones.

1.9.2. Importancia.

Es importante porque los resultados de la presente investigación serán de gran utilidad para la toma de decisiones para los gobiernos locales, regionales y organizaciones no gubernamentales ONG,

El estudio es importante porque el Glaciar del Nevado Ampay es como un reservorio de agua dulce que almacena gran cantidad de agua dulce en la parte alta de la ciudad de Abancay y Tamburco, este mismo recurso hídrico glaciar se filtra en la parte superior o alta de la Microcuenca Rio Mariño y estas mismas se manifiestan aguas abajo a través de puquiales y/o ojos de manantes, las cuales son utilizados para el consumo humano y riego agrícola para las Comunidades Campesinas aledañas al Nevado Ampay.

También alimentan a través de escurrimiento superficial y subterránea a las dos lagunas (Angascocha y Usspacocha) que se encuentran en la parte inferior y/o baja del Glaciar del Nevado Ampay, ciertas lagunas forman un único ecosistema de la zona más la atracción turística nacional e internacional.

Por otro lado, son formaciones frágiles de gran importancia como reguladores del clima, la disponibilidad de agua dulce, la conservación de la flora y fauna del Santuario Nacional del Ampay, especialmente la Intimpa (*Podocarpus glomeratus*).

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO.

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 Antecedentes Internacionales

. **(Esteban Maturana Franca, 2015)** Afirma que el “Análisis Del Retroceso Glaciar y su Influencia en la Disponibilidad de Recursos Hídricos del Río Olivares, Provincia Cordillera Chile afirma también que este trabajo de título consiste en realizar un análisis del retroceso glaciar y la influencia que tiene en la microcuenca del río Olivares ubicada en Chile y que los Glaciares de la zona de estudio corresponden a Olivares Alfa, Beta, Gamma y Juncal Sur”

El objetivo general en este trabajo es determinar la alteración de los recursos hídricos, en la microcuenca de régimen nivo - glaciar del río Olivares es producto del retroceso glaciar en el año 2050 aproximadamente y analizar estas tendencias futuras. Para ello se realizó unos diversos estudios de variables que inciden en el retroceso glaciar, para determinar en el tiempo la evolución de estos glaciares.

(ESTEBAN MATURANA FRANÇA, 2015, pág. 31) Afirma que “Una vez ya determinadas las características de la zona de investigación y el comportamiento de los glaciares, se obtienen los parámetros de la descarga glaciar” Afirma también que de la cuenca, que permitieron generar un modelo de escurrimiento para un periodo anual y para un periodo de 6 meses entre octubre y marzo que corresponde al “Periodo de deshielo” debido a la ausencia casi total de precipitación en esa época

Cuyas conclusiones fueron una pérdida de superficie, en esta zona del glaciar tomando en cuenta los períodos de estudio el área glaciar disminuyó de 34.67 Km² en 1955 a 22.25 Km² al 2013, lo que significa una pérdida de área de 12.42 Km². en un periodo de 55 años

2.1.2 Antecedentes Nacionales

Zamora, (2013) afirma que “Evaluación del Glaciar Utilizando Técnicas de Teledetección Espacial en la Subcuenca del Rio Quellcayhuanca – Rio Santa” Su objetivo es el siguiente: Zamora. (2013), también afirma “que conocer las áreas de perdida de glaciar mediante técnicas hidrológicas y de teledetección con la finalidad de determinar en el rendimiento hídrico de la subcuenca del rio Quellcayhuanca utilizando técnicas de teledetección espacial”. Través de Método del NDSI (Índice de Nieve de Diferencia Normalizada)

Este método es utilizado para el cartografiado de superficies glaciares (hielo). Cuyas conclusiones, Se generó cartografía digital e información alfanumérica de Mapas topográfico, retroceso glaciar de la Subcuenca del rio Quellcayhuanca, que serán insumos de mucha utilidad para otras investigaciones. Se determinó la

evolución del nevado en el periodo comprendido de 1987 al 2012, encontrando que la pérdida de nieve en este periodo es de 11,80 Km², lo que representa una pérdida de 0.50 Km²/año cuya área de inicio de estudio fue 248.5 Km².

Arévalo, (2015) “Análisis Multitemporal de Glaciares y Lagunas Glaciares en la Cordillera Blanca de Potenciales Amenazas GLOFs” su misión es Identificar los cambios en las lagunas y los glaciares y glaciares que podrían representar una potencial amenaza de eventos GLOF para las localidades ubicadas aguas abajo en el canal de drenaje de las lagunas y glaciares de la Cordillera Blanca en los años 2004, 2009 y 2014, mediante la aplicación de una metodología semi-automatizada de detección de lagunas glaciares y análisis de cambios lagunares.

El problema a lo largo de la historia, cantidad de lagunas glaciares han estado relacionadas con múltiples desastres en el Perú, generando grandes pérdidas humanas y económicas de las cuales se tienen registro desde el siglo XVIII mediante estudios sobre crónicas y documentos históricos.

Por su parte, la intensificación del Cambio Climático en los últimos años ha aumentado la formación y desarrollo de lagunas glaciares que podrían ser considerados una potencial amenaza.

El retroceso rápido de los glaciares y la inestabilidad de la pendiente que este fenómeno genera incrementar la posibilidad de ocurrencia de avalanchas, lahares, GLOFs, entre otros.

En la Cordillera Blanca, los GLOF es uno de los principales movimientos en masa que han ganado preocupación para la población local y las autoridades. Para

poder gestionar y disminuir el riesgo de desastres, se han realizado varios esfuerzos desde la década de 1940.

Figuran varias investigaciones que se ha llevado a la elaboración de obras para la prevención y mitigación de eventos GLOF, por ejemplo, la construcción de diques, para evitar el desprendimiento abrupto de lagunas y la elaboración de obras hidráulicas, para el mejor control en el volumen y caudal de las lagunas.

Con respecto a la aplicación del modelo semi-automatizado para identificar superficies glaciares, los resultados fueron satisfactorios, ya que el modelo identificó los glaciares con bastante precisión y la etapa de revisión no fue muy extensa. Por el contrario, para la aplicación del modelo semi-automatizado de detección de lagunas se tuvo que invertir mucho tiempo y en el establecimiento de umbrales adecuados que disminuyan el error ocasionado por sombras y poca profundidad de varias de las lagunas. Es por ello, que la definición de umbrales diferenciados para lagunas pequeñas y poco profundas ayudó de manera considerable a disminuir el error de sombras que generaba tener umbrales de rangos más amplios.

Cuyas conclusiones, Existe una tendencia creciente en el aumento de las superficies y número de lagunas en la Cordillera Blanca por el derretimiento acelerado de los glaciares, causado en gran medida por el cambio climático.

En los 10 años de análisis (2004-2014), la superficie glacial se redujo de 515.4 Km² a 484.4 km², una pérdida del 6%, lo que corrobora la tendencia general de reducción de los glaciares a nivel global. Además, teniendo en cuenta el área estimada por Georges (2004) de 850-900 Km², la reducción de la superficie sería de

38%. Si bien durante el periodo 2004-2009, la superficie glaciar aumentó 82 Km², lo que puede estar relacionado probablemente al evento La Niña ocurrido durante los años 2007 al 2009, durante el periodo 2009-2014, el porcentaje de pérdida de superficie glaciar fue de 18.9%; volviendo a la tendencia general de retroceso glaciar. La superficie lagunar en la Cordillera Blanca se ha incrementado en 10%, pasando de 52.57 Km² a 57.93 Km² durante el periodo 2004-2014.

Además, para el año 2014 se han identificado 24 lagunas nuevas en comparación a las identificadas en el año 2004. De las lagunas identificadas como nuevas, 17 son de origen natural, mientras las otras siete tienen origen antrópico, reservorios/pozas para actividad minera. Además, se detectó la desaparición de dos lagunas en el periodo 2009-2014, posiblemente asociado a consumo/uso para actividad minera, debido a la presencia en las cercanías de ambas lagunas.

2.1.3 Antecedentes Locales.

Lizarzaburu. (2009-2011) “El Retroceso Glaciar en la Alta Montaña de los Andes Peruanos. Caso: Santuario Nacional de Ampay, Apurímac”, Los objetivos principales de esta investigación se orientan a identificar el proceso de desglaciación que está ocurriendo en las cumbres del nevado Ampay, a consecuencia del cambio climático, y a identificar las principales familias de flora maderable relacionada directamente con la reserva del acuífero y sumidero de anhídrido carbónico.

Utilizando el método de Recopilación de información y elaboración del Mapa Base, Reconocimiento de campo e instalación de estaciones. y Elaboración del Informe y redacción final.

Cuyos resultados, Este trabajo debe ser considerado como un estudio de carácter exploratorio, ya que no existen antecedentes específicos del mismo. El retroceso glaciar en el Ampay, estudiado desde el año 1997 hasta el año 2011, registra 3 Kilómetros de superficie de hielo en las faldas Su Oeste, una pérdida estimada de 160 hectáreas de superficie de hielo, lo que significa la reducción de la disponibilidad residual de un promedio de 4800.00 metros cúbicos de masa sólida (los cálculos se realizaron haciendo uso de imágenes satélites Landsat e informes personales que nos proveían los pobladores con quienes recorrimos el área). Las consecuencias de la reducción de los glaciares en una zona andina como ésta, con un periodo estacional prolongado de escasa precipitación, resultan de alto riesgo para las poblaciones locales aguas abajo y sus actividades económicas.

Cuyas conclusiones 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.

La desglaciación acelerada del Ampay constituye una amenaza para la población, como recurso hídrico de reserva para la ciudad.

Gonzales. (2010), “Estudio Multitemporal Nevado Ampay”, el objetivo es determinar la cobertura superficial A través del método se utilizaron 13 Escenas LandSat como fuente para la observación del nevado Ampay. Escenas Landsat 5 TM / 7 ETM+ (Bandas 1-7; Path: 004; Row: 069) todas de la estación seca sin cobertura

de nubes sobre el nevado Ampay, en esta época la probabilidad de detectar nieve en lugar de hielo es reducida.

El nivel de tratamiento de las imágenes es Nivel 1T (precisión y la corrección del terreno) que fueron adquiridas de página web del sensor remoto Landsat. Para el análisis se utilizó la aplicación del método de Índice de Diferencia Normalizada de Hielo y Nieve NDSI (por sus siglas en inglés: Normalized Difference Snow Index, Hall et al., 1995). Esto con la finalidad de que el análisis sea sistemático y que no surjan incongruencias en las mediciones por usar otros métodos en el cálculo de cobertura de nieve y hielo.

Este es un método robusto y fácil de aplicar. De esta manera se genera automáticamente una imagen con las áreas glaciares. El retroceso glacial del año 1986 a 2011 ha disminuido en un 56% de su superficie, en este estudio se exhibió una tendencia lineal negativa en la pérdida glacial entre los años 1986 a 1998 en 98.6 ha., posteriormente se observó un aumento significativo entre años 1999 a 2002 llegando a 270 has. que representa un 34% a comparación del año 1986, posteriormente continuó una tendencia lineal negativa en pérdida de glacial hasta el año 2010. En este año 2011 se observó un incremento 12.8 ha. que representa un 15% a comparación del año 2010.

En este estudio multi temporal se pudo observar a mayor detalle el comportamiento de retroceso y aumento de la superficie del nevado por la cantidad y calidad de imágenes satelitales adquiridas en todo este periodo 1986 – 2011.

Cuyas conclusiones, son el retroceso glacial es eminente con una pérdida de 108 ha. que representa el 56% desde el año 1986 a este año 2011. Se observó un

aumento de superficie glacial entre los años 1999 a 2002 a consecuencia de la variabilidad climática (aumento de precipitación y posiblemente a temperaturas bajas en esos años) pero la tendencia continúa siendo negativa. Este estudio ejemplifica el potencial de los métodos de visualización espacial para monitorear las coberturas glaciares. Sin embargo, el trabajo aún está en progreso, si bien es un método de visualización dinámica bastante efectivo, aún se puede mejorar significativamente la comprensión y el seguimiento a los movimientos de la masa glacial.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Los glaciares.

Para conocer la evolución del glaciar es necesario entender qué es un glaciar. En términos sencillos, un glaciar es una masa de hielo duro, grueso y compacto ubicada en tierra firme que se desliza lentamente por acción de la gravedad y se forma por recristalización de la nieve (Rodríguez y Valdez, 2004).

Los glaciares se forman durante muchos años por la acumulación de la nieve en zonas donde la acumulación es mayor que la fusión.

El glaciar se encuentra en constante movimiento, es dinámico. El glaciar tiene tres partes: zona de acumulación (acumulación de nieve, donde gana más masa de la que pierde), línea de equilibrio (donde los procesos de ganancia y pérdida son equivalentes) y zona de ablación (donde predomina la fusión de hielo). Si uno imaginariamente ubica estacas alineadas en la zona de acumulación y se toma un tiempo, la línea se deformaría en forma de parábola, y evidenciaría una mayor transferencia de masa y mayor velocidad de flujo en la parte central del glaciar.

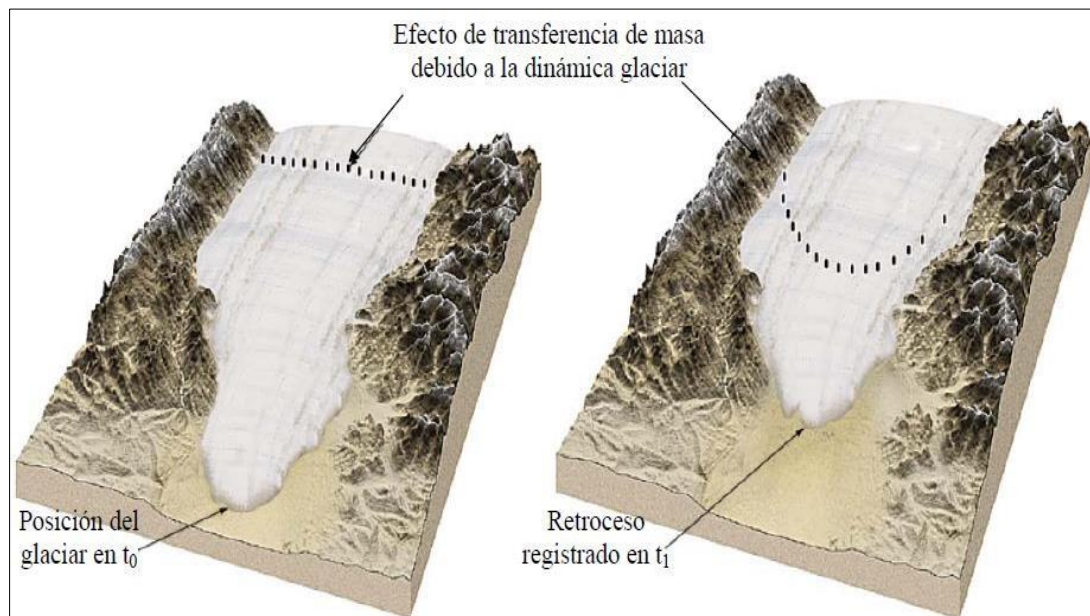


Figura 2.- Dinámica glaciar.

Fuente: Adaptado de Basantes, 2010.

El proceso de transferencia del hielo de la zona de acumulación hacia la zona de ablación del glaciar está controlado por el clima y por las características topográficas del glaciar (pendiente, morfología del lecho rocoso, presencia de agua, etc.), los cuales son parte de la dinámica glaciar. El balance de masa es la respuesta directa al cambio del clima, el cual representa el cambio de masa, cuyo resultado es la suma de la acumulación (ganancia de masa) y la ablación (pérdida de masa), medido en volumen equivalente de agua, durante un período definido, normalmente la duración del año hidrológico (Blandes y De la Quintana, 2008). El cambio de área y longitud del frente glaciar depende del tiempo de respuesta del glaciar a un cambio climático, el cual puede variar entre algunos años y más de un decenio (Francou y Pouyaud, 2008).

El estado de salud de un glaciar y su capacidad para transportar los detritos provenientes de las paredes rocosas es un reflejo de su balance de masa (Balance

neto, positivo o negativo). Un balance de masa positivo permite un rápido enterramiento de escombros supraglaciares y su transporte a través de la dirección del flujo glaciar, mientras que un balance de masa negativo muestra la exposición y la aparición de mayor cantidad de desechos en la superficie (Figura 03).

Las condiciones basales también varían; si el balance de masa es positivo, el glaciar fluye más rápido, erosionando el lecho con mayor intensidad y un balance de masa negativo permite el estancamiento y la rápida deposición de la carga de sedimentos (Singh et. al.,2011).

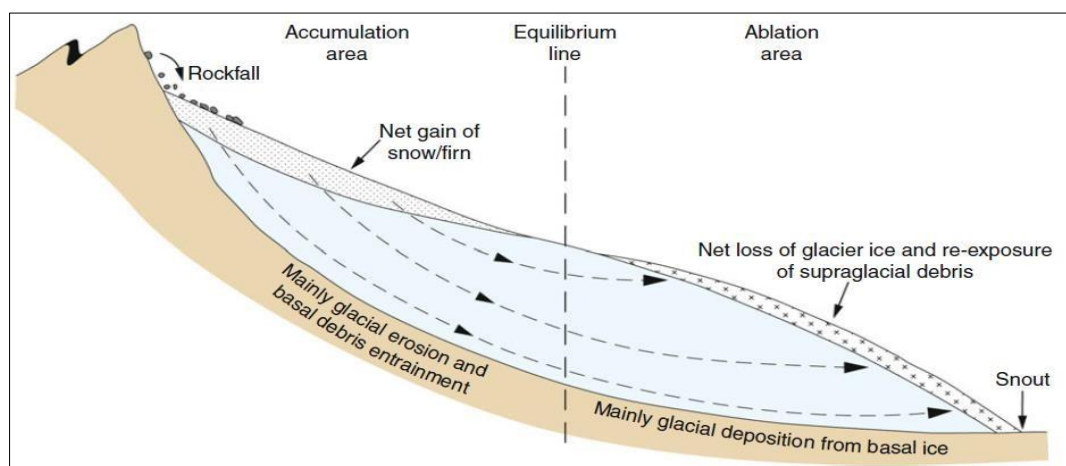


Figura 3.- Perfil longitudinal y partes de un glaciar.

Fuente: Singh et. al., 2011.

2.2.2 . Cambio climático e impacto en los glaciares.

Las discusiones sobre el cambio climático han ocupado un lugar central en los debates públicos, foros de profesionales, noticieros y el diálogo político. Varios estudios demuestran que el clima en las últimas 4 décadas ha variado, y ha ocasionado alteraciones en los ecosistemas de montaña relacionados con el agua como glaciares, lagunas, humedales y bosques (IPCC, 2008) en altas montañas de bajas latitudes.

Según el IPCC (2012), cambio climático es el estado del clima identificado por las alteraciones en el valor medio y/o la variabilidad de la frecuencia y/o la intensidad de sus propiedades y que persiste durante un período extenso, de tres décadas o más. Mientras que la variabilidad climática son las fluctuaciones u oscilaciones durante períodos relativamente cortos con respecto a una variable climática, es decir, se registran valores por debajo o encima del valor normal.

El IPCC proyecta para el siglo XXI escenarios probables de posibles emisiones futuras de gases de efecto invernadero. Entre ellos el escenario es el más pesimista que representa un mundo heterogéneo con un aumento continuo de la población, donde las concentraciones de CO₂ tienen un crecimiento acelerado agudizando aún más el efecto invernadero en el planeta.

Este escenario anticipa los efectos más graves del cambio climático. Según el escenario A2 los Andes peruanos experimentarían un calentamiento considerable de 5°C a 6°C en muchas partes de los Andes. Además, el mayor calentamiento se podría dar en zonas más elevadas de la Cordillera Blanca (Vuille, 2013). Es decir, la temperatura aumentaría más de 4°C en altitudes superiores a 4000 msnm, sin cambios en la precipitación, en la que los glaciares tendrían reducciones significativas y los glaciares pequeños desaparecerían. Un indicador es la altitud de la línea de equilibrio del glaciar (ELA, siglas en inglés) que se ubica en altitudes cada vez más elevadas (Rabatel et.al., 2013).

El incremento de la temperatura con una tasa significativa de $0,10^{\circ}\text{C}$ por década explicaría el retroceso acelerado de los glaciares tropicales en los últimos 70 años (Rabatel et al., 2013). Mientras una disminución en la precipitación podría haber contribuido al retroceso a una escala regional (Vuille, 2013). Por ende, la contribución de agua de deshielo en las cuencas es importante, porque rara vez son estables, ya que los glaciares están cambiando continuamente su espesor, área y velocidad de flujo. Además, una característica de los glaciares consiste en que la ablación ocurre todo el año y la acumulación solo se da en época húmeda.

El retroceso de los glaciares se demuestra por la posición del frente glaciar y cambios de balance de masa a causa de los cambios en el clima (Rabatel et al., 2013). Los sistemas naturales vinculados a la Criósfera, es decir, nieve, hielo y terreno congelado (permafrost) han resultado afectados por el cambio climático.

Entre los indicadores se tiene el aumento del número y extensión de las lagunas glaciares y el aumento de la inestabilidad del terreno en las regiones de permafrost que conlleva un aumento de las avalanchas de rocas y hielo en regiones montañosas. Sin embargo, se carece de datos en las regiones de alta montaña de los Andes tropicales que permitan tener mayor precisión, porque son más sensibles a las variaciones del clima y su importancia radica en que son fuente de agua dulce para la comunidad andina (Salzmann et al., 2013).

De acuerdo a las observaciones, mediciones y estudios realizados en los glaciares tropicales, se constata que un glaciar responde a diferentes factores tales como: la precipitación (nieve/lluvia), la temperatura, la humedad relativa, la nubosidad,

la intensidad de la radiación solar y la presencia de eventos climáticos importantes. La simulación de modelos de glaciación-clima tropical muestra que las evoluciones de los glaciares evidencian una tendencia negativa y el retroceso de los glaciares continuará durante el siglo XXI, ocasionando en algunos casos (dependiendo de su ubicación y el escenario del cambio climático considerado) la desaparición por completo (Juen et al,2007).

2.2.3 Disponibilidad hídrica

Es el volumen total de agua en un espacio geográfico (cuenca hidrográfica), utilizable en diferentes actividades del hombre como agricultura, generación de energía eléctrica, abastecimiento de agua potable, minería, etc. Sin embargo, el agua no está disponible uniformemente en todas las regiones del mundo y, en muchos casos, depende de las variaciones de precipitación estacional y anual. El agua se encuentra naturalmente en varias formas y lugares: en la atmósfera, en la superficie, bajo tierra y en los océanos.

El agua dulce representa sólo el 2,5% del agua de la Tierra, y se encuentra en su mayoría congelada en glaciares y casquetes glaciares. El resto se presenta principalmente en forma de agua subterránea, y sólo una pequeña fracción se localiza en la superficie o en la atmósfera. Los glaciares son las mayores reservas de agua dulce en estado sólido que la Tierra posee después de los casquetes polares. El 99% de los glaciares en el mundo está localizado en los andes de Sur América.

El recurso hídrico principal en los países Andinos, (vertiente del Pacífico), es el agua proveniente de los glaciares porque proporcionan aguadulce para el consumo humano, la agricultura, la producción de energía hidroeléctrica y otros. Alrededor del 70% de los glaciares tropicales se encuentra en los Andes peruanos. En su mayoría grandes ciudades de los Andes se localizan por encima de 2500 msnm. beneficiándose, casi por completo de las reservas de agua de los glaciares, porque compensan la precipitación estacional y regulan la disponibilidad hídrica en las cuencas durante la estación seca (Vuille.et al., 2008a).

La situación actual de los glaciares en comparación al pasado es motivo de preocupación, porque a medida que disminuyen su área y volumen, afectan la gran disponibilidad hídrica, como el servicio ambiental, reduciendo significativamente la escorrentía de la estación seca (Juen et al, 2007; Vuille et al, 2011).

El retroceso y pérdida de masa glaciar aumenta temporalmente la escorrentía, a la cual los usuarios aguas abajo de las cuencas se adaptan rápidamente.

Este incremento temporal no es sostenible una vez que los glaciares disminuyen en área y volumen para mantener la escorrentía de la estación seca. Se estima que los ríos que drenan al lado occidental de la Cordillera Blanca, el 10-20% del agua proviene del deshielo de los glaciares y durante la estación seca se incrementa en un 40% (Vuille, 2011). Por lo tanto, si el aporte glaciar disminuye en la época seca puede tener consecuencias muy negativas para la disponibilidad hídrica.

2.2.4 Adaptación al cambio climático

La adaptación al cambio climático es la capacidad de ajustarse a los cambios, en los sistemas naturales o humanos a los estímulos climáticos reales o esperados, o a sus efectos, que modera el daño o aprovecha las oportunidades beneficiosas (MINAM, 2010; IPCC, 2007). Es decir, es un proceso de adecuación, como respuesta a circunstancias ambientales nuevas y cambiantes, asociado a los eventos climáticos experimentados o esperados.

2.2.5 Cambio climático y variabilidad climática

El cambio climático es una realidad que cada vez tendrá más incidencia en nuestras vidas. ¿Has notado en tu región, o en la televisión, que las tempestades y las inundaciones cada vez son más frecuentes? ¿No te parece que hace más calor en invierno, con menos nieve y más lluvia? ¿No tienes la sensación de que la primavera llega un poco antes cada año, que las plantas florecen o las aves regresan antes de lo esperado? Todos estos son síntomas de una aceleración del cambio climático, o calentamiento global, como a veces se le llama.

Si no tomamos ninguna medida para detenerlo, el mundo en que vivimos se deteriorará y quedarán alteradas las formas de vida que hoy nos parecen normales. Maur et al., (2006, pág., 4)

2.2.6 Efecto invernadero

El efecto invernadero Nuestra atmósfera actúa como una cubierta protectora y transparente en torno a la Tierra. Deja pasar la luz solar y retiene el calor. Sin ella, el calor del Sol rebotaría inmediatamente en la superficie terrestre y se perdería en el

espacio. De ser así, la temperatura de la Tierra sería unos 30 °C Celsius más baja: todo se congelaría. Así que la atmósfera funciona un poco como el techo de cristal de un invernadero. Por eso se habla del «efecto invernadero». Los responsables de este efecto son los «gases de efecto invernadero» que forman parte de la atmósfera y retienen el calor. Maur et al., (2006, pág., 4)

La mayor parte de los gases de efecto invernadero se generan de forma natural. Sin embargo, a partir de la revolución industrial del siglo XVIII, las sociedades humanas también los producen, y debido a ello sus concentraciones en la atmósfera son más elevadas ahora que en los últimos 420 000 años. De esta manera se intensifica el efecto invernadero, ocasionando un aumento de las temperaturas en la Tierra: el cambio climático. Maur et al., (2006, pág., 5)

2.2.7 . Glaciar

Un glaciar es una gruesa masa de hielo que se origina en la superficie terrestre por acumulación, compactación y recristalización de la nieve, mostrando evidencias de flujo en el pasado o en la actualidad. Su existencia es posible cuando la precipitación anual de nieve supera la evaporada en verano, por lo cual la mayoría se encuentra en zonas cercanas a los polos, aunque existen en otras zonas, en montañas.

El proceso del crecimiento y establecimiento del glaciar se llama glaciación. Los glaciares del mundo son variados y pueden clasificarse según su forma (de valle, de nicho, campo de hielo, etc.), régimen climático (tropical, temperado o polar) o condiciones térmicas (base fría, base caliente o politermal). Un 10 % de la Tierra está

cubierta de glaciares, y en tiempos geológicos recientes ese porcentaje llegó al 30 %. Los glaciares del mundo acumulan más del 75 % del agua dulce del mundo. En la actualidad 91 % del volumen y 84 % del área total de glaciares está en la Antártida, 8 % del volumen y 14 % del área en Groenlandia sumando el resto de los glaciares 4 % del área y menos del 1 % del volumen. Derrau, (1991, pág. 3)

Los casquetes polares, que reciben también el nombre de glaciares continentales o inlandsis, son los glaciares más importantes que existen actualmente sobre la Tierra. Ocupan en total 15 millones de km², lo que significa el 90% las áreas cubiertas por el hielo. El casquete de la Antártida es el más extenso. Kaser, (2001, pág. 10)

2.2.8 Sistema de Información Geográfica

Un sistema de información geográfica (también conocido con los acrónimos SIG en español o GIS en inglés) es un conjunto de herramientas que integra y relaciona diversos componentes (usuarios, hardware, software, procesos) que permiten la organización, almacenamiento, manipulación, análisis y modelización de grandes cantidades de datos procedentes del mundo real que están vinculados a una referencia espacial, facilitando la incorporación de aspectos sociales-culturales, económicos y ambientales que conducen a la toma de decisiones de una manera más eficaz. Steiniger y Bocher (2008, pág., 3)

En el sentido más estricto, es cualquier sistema de información capaz de digitalizar, integrar, almacenar, editar, analizar, compartir y mostrar la información geográficamente referenciada. En un sentido más genérico, los SIG son

herramientas que permiten a los usuarios y entidades crear consultas interactivas, analizar la información espacial, editar datos, mapas y presentar los resultados de todas estas operaciones. Steiniger y Bocher (2008, pág., 3)

La tecnología de los SIG puede ser utilizada para investigaciones científicas, la gestión de los recursos, la gestión de activos, la arqueología, la evaluación del impacto ambiental, la planificación urbana, la cartografía, la sociología, la geografía histórica, el marketing, la logística por nombrar unos pocos. Por ejemplo, un SIG podría permitir a los grupos de emergencia calcular fácilmente los tiempos de respuesta en caso de un desastre natural, o encontrar los humedales que necesitan protección contra la contaminación, o pueden ser utilizados por una empresa para ubicar un nuevo negocio y aprovechar las ventajas de una zona de mercado con escasa competencia. Steiniger y Bocher (2008, pág., 3)

2.2.9 . Los SIG Raster

Basa su funcionalidad en una concepción implícita de las relaciones de vecindad entre los objetos geográficos. Su forma de proceder es dividir la zona correspondiente en una malla regular de pequeñas celdas denominadas píxeles y asignarle un valor numérico a cada celda como representación de su valor temático. Dado que la malla es regular, el tamaño del píxel es constante y se conoce la posición en coordenadas del centro de una de las celdas, se puede decir entonces que todos los píxeles están georreferenciados. Así, el modelo raster es otra forma existente para el almacenamiento, procesamiento y visualización de datos geográficos.

Cada superficie a representar se divide en filas y columnas, formando una malla o rejilla regular. Cada celda necesariamente debe ser rectangular, y cada celda

de la rejilla guarda tanto las coordenadas de la localización como el valor temático. La localización de cada celda es implícita, dependiendo directamente del orden que ocupa en la rejilla, a diferencia de la estructura vectorial en la que se almacena de forma explícita la topología. Las áreas que contienen idéntico atributo temático son reconocidas como tal, aunque las estructuras raster no identifican los límites de esas áreas como polígonos en sí. S.A. (2007, pág. 9).

2.2.10 . Los SIG Orientados a Objetos

Los objetos geométricos de base son: Puntos, Líneas, Polilíneas, Polígonos. Cada uno de los cuales es modelado por un tipo abstracto de datos en el contexto del enfoque objeto/relacional. El modelo de representación que usamos es el vectorial, debido a que su estructura básica descansa en puntos, líneas y polígonos. El modelado basado en puntos, líneas y polígonos corresponde con el desarrollado para el visualizador de objetos geográficos. Una descripción del enfoque vectorial para aspectos de visualización puede encontrarse en [Briones 98]. Actualmente se está trabajando en un formato que nos ayudará a compartir datos heterogéneos usando el standard para la exportación e importación de los datos [Kottman 95]. Posada y Sol (S.F. pág.4)

2.2.11 Teledetección Espacial

Si hemos definido la teledetección espacial como aquella técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales, estamos suponiendo que entre la Tierra y el sensor existe una interacción energética, ya sea por reflexión de la energía solar o de un haz energético recibido por el sensor se transmita a la superficie terrestre, donde la señal detectada pueda almacenarse y, en última instancia, ser interpretada para una determinada aplicación.

Como antes comentamos, ese análisis de la información recibida se incluye también en sentido amplio dentro del estudio de la teledetección, aunque este más allá de los procesos de adquisición propiamente dichos. No obstante, constituye un capítulo fundamental para nuestros intereses, por cuanto esta obra se dirige más a presentar los fundamentos para las distintas aplicaciones, que los aspectos técnicos en sí mismo considerados. Chuviego (s.f. pág. 27)

2.2.12 LandSat

Los LandSat son una serie de satélites construidos y puestos en órbita por EE UU. Para la observación en alta resolución de la superficie terrestre.

Los LandSat orbitan alrededor de la Tierra en órbita circular heliosincrónica, a 705 km de altura, con una inclinación de 98. 2º respecto del Ecuador y un período de 99 minutos. La órbita de los satélites está diseñada de tal modo que cada vez que éstos cruzan el Ecuador lo hacen de Norte a Sur entre las 10:00 y las 10:15 de la mañana hora local. Los LandSat están equipados con instrumentos específicos para la teledetección multiespectral.

El primer satélite LandSat (en principio denominado ERTS-1) fue lanzado el 23 de julio de 1972. El último de la serie es el LandSat 7, puesto en órbita en 1999, y es capaz de conseguir una resolución espacial de 15 metros. NASA (2014, pág. 4).

2.2.13. Landsat 7

LandSat 7 es el último de un grupo de satélites lanzados por Estados Unidos (ver Programa LandSat). Fue lanzado el 15 de abril de 1999. La meta fundamental del LandSat 7 es de actualizar la base de datos de imágenes de todo el planeta. Aunque el programa LandSat es controlado por la NASA, las imágenes recibidas por

el LandSat 7 son procesadas por la Agencia Geológica de los Estados Unidos (USGS por sus siglas en inglés). (IDEM)

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- ✓ **Agua:** Sustancia líquida sin olor, color ni sabor que se encuentra en la naturaleza en estado más o menos puro formando ríos, lagos y mares, ocupa las tres cuartas partes del planeta Tierra y forma parte de los seres vivos; está constituida por hidrógeno y oxígeno (H₂O).

- ✓ **ArcGIS Desktop:** la familia de aplicaciones SIG de escritorio, es una de las más ampliamente utilizadas, incluyendo en sus últimas ediciones las herramientas ArcReader, ArcMap, ArcCatalog, ArcToolbox, ArcScene y ArcGlobe, además de diversas extensiones.

- ✓ **ArcGIS:** Es el nombre de un conjunto de productos de software en el campo de los Sistemas de Información Geográfica o SIG. Producido y comercializado por ESRI, bajo el nombre genérico ArcGIS se agrupan varias aplicaciones para la captura, edición, análisis, tratamiento, diseño, publicación e impresión de información geográfica.

- ✓ **Cambio climático** a la variación global del clima de la Tierra. Es debido a causas naturales y también a la acción del hombre y se producen a muy diversas escalas de tiempo y sobre todos los parámetros climáticos: temperatura, precipitaciones, nubosidad, etc.

- ✓ **Disponibilidad hídrica:** de la cuenca hidrográfica es el volumen total de agua ya precipitada sobre esta, para ser utilizado, por ejemplo, para el riego, para generación de energía eléctrica, abastecimiento de agua potable, etc.

- ✓ **El Sistema de Posicionamiento Global**, más conocido por sus siglas en inglés, GPS (siglas de Global Positioning System), es un sistema que permite determinar en toda la Tierra la posición de un objeto (una persona, un vehículo) con una precisión de hasta centímetros (si se utiliza GPS diferencial)

- ✓ **Glaciar:** Masa grande de hielo que se forma en la parte alta de una montaña y que desciende lentamente por la ladera en forma de lengua.

- ✓ **Glaciología:** La glaciología es una disciplina de las Ciencias de la Tierra preocupada por la edad geológica y por los múltiples fenómenos naturales, relacionados con la extensión, distribución, causas, características, procesos dinámicos, clasificaciones e implicancias del agua en estado sólido y en todas las manifestaciones que puede presentarse en la naturaleza (glaciares, hielo, nieve, granizo, neviza, etc.). Esto incluye el hielo existente en suelos, nubes, océanos, lagos, ríos y en otros planetas del sistema solar.

- ✓ **Hielo:** El hielo es agua congelada, es decir, en estado sólido, uno de los tres estados naturales del agua. Se reconoce por su temperatura, su color

blanco níveo, su flotabilidad y ser muy frío al tacto. El agua pura se congela a 0 °C cuando se halla sometida a una atmósfera de presión.

- ✓ **Imágenes LANDSAT:** Están compuestas por 7 u 8 bandas espectrales, que al combinarse producen una gama de imágenes de color que incrementan notablemente sus aplicaciones.

- ✓ **Landsat:** Son una serie de satélites construidos y puestos en órbita por EE. UU. para la observación en alta resolución de la superficie terrestre

- ✓ **La cartografía:** Es la ciencia que se encarga de reunir y analizar medidas y datos de regiones de la Tierra, para representarlas gráficamente a diferentes dimensiones y escalas.

- ✓ **Microcuenca:** Se define como una pequeña cuenca de primer orden, en donde vive un cierto número de familias (Comunidad).

- ✓ **Nieve:** Precipitación en forma de pequeños cristales de hielo, generalmente ramificados, provenientes de la congelación de partículas de agua en suspensión en la atmósfera, que se pueden agrupar al caer y llegar a la superficie terrestre en forma de copos blancos, los cuales a su vez y en determinadas condiciones de temperatura se agrupan formando una capa sobre la superficie terrestre.

- ✓ **Sistema de Información Geográfica:** (también conocido con los acrónimos SIG en español o GIS en inglés) es un conjunto de

herramientas que integra y relaciona diversos componentes (usuarios, hardware, software, procesos) que permiten la organización, almacenamiento, manipulación, análisis y modelización de grandes cantidades de datos procedentes del mundo real que están vinculados a una referencia espacial, facilitando la incorporación de aspectos sociales-culturales, económicos y ambientales que conducen a la toma de decisiones de una manera más eficaz.

CAPÍTULO III.

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.1 Datos imágenes

Los datos utilizados en esta tesis son las imágenes Landsat (Tabla 02) son utilizados para generar el mosaico donde se presenta parte de la Cordillera Vilcabamba, y en ella el Nevado Ampay (Figura 1)

3.1.1 Adquisición de las imágenes Landsat

El programa Landsat es una serie de misiones de observación de la Tierra por satélite administrado conjuntamente por la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio - NASA y el Servicio Geológico de Estados Unidos (GLOVIS). Los satélites Landsat han recopilado información sobre la Tierra desde el espacio desde 1972 (Chander et al., 2009).

Tabla 2.

Imágenes descargadas para desarrollar el estudio

N°	IMAGEN	SENSOR	FECHA DE ADQUISICION	FUENTE
01	Landsat - 5	TM	04 de agosto 1986	USGS
02	Landsat - 7	TM	25 de agosto 1988	USGS
03	Landsat - 7	TM	17 de julio 1991	USGS
04	Landsat - 7	TM	07 de agosto 1993	USGS
05	Landsat - 7	TM	14 de julio 1996	USGS
06	Landsat - 7	TM	23 de junio 2000	USGS
07	Landsat - 7	TM	05 de agosto 2004	USGS
08	Landsat - 7	TM	11 de junio 2007	USGS
09	Landsat - 7	TM	05 de julio 2010	USGS
10	Landsat - 8	TM	09 de agosto 2014	USGS
11	Landsat - 8	TM	25 de agosto 2017	USGS

Fuente: (USGS, 2009).

Para el desarrollo de la investigación se adquirieron imágenes de satélite de la Misión Landsat 5 Tm del USGS (<http://glovis.usgs.gov/>) e imágenes de la Misión Resourcesat Liss III del INPE (Brasil) (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>) teniendo en cuenta, la cobertura de nube, la fecha de toma y la nieve estacional. Para el período de estudio se consideró la fecha de toma en la estación seca (Junio – Setiembre), donde la nieve temporal es mínima y las imágenes libres de nubosidad en las zonas de alta montaña

3.2 ESTIMACIÓN DE LA SUPERFICIE GLACIAR

Para el análisis se utilizó la aplicación del método de **Índice de Diferencia Normalizada de Hielo y Nieve NDSI** (por sus siglas en inglés: Normalized-Difference Snow Index, Racoviteanu et al., 2008). Esto con la finalidad de que el análisis sea sistemático y que no surjan incongruencias en las mediciones por usar otros métodos en el cálculo de cobertura de nieve y hielo. Este es un método robusto y fácil de aplicar. De esta manera se genera automáticamente una imagen con las áreas glaciares.

Tabla 3.

Índices t ratios de nieve y/o glaciar citados en investigaciones y estudios.

Nombre	Abreviación y Cita	Ecuación	Ventaja	Desventaja
Simple ratio 1	SR ₁ (Paul et al 200)	$SR_1 = \frac{\rho_{b4}}{\rho_{b5}}$	Menos eficaz para mapear el hielo en sombra	Clasifica erróneamente los cuerpos de agua
Simple ratio 2	SR ₂ (Paul et al 200)	$SR_1 = \frac{\rho_{b3}}{\rho_{b5}}$	Eficaz para el mapeo del hielo en sombras	Clasifica erróneamente los cuerpos de agua, como glaciar
Índice de nieve de diferencia normalizada	NDSI (UGRH, 2010; Racoviteanu et al., 2008)	$NDSI = \frac{\rho_{b2} - \rho_{b5}}{\rho_{b2} + \rho_{b5}}$	Distingue eficazmente la cobertura glaciar, con buenos resultados en las zonas sombreadas	Poca confusión con cuerpos de agua, dependiendo de la presencia de hielo o partículas en suspensión

Nota:

ρ_{b2} = reflectancia en la banda 2 (verde),

ρ_{b3} = reflectancia en la banda 3 (rojo);

ρ_{b4} = reflectancia en la banda 4 (infrarrojo cercano),

ρ_{b5} = reflectancia en la banda 5 (Infrarrojo medio). Se asignó subíndices para diferenciar los SRs.

En comparación con otros métodos de mapeo glaciar automatizado, el NDSI es particularmente ventajoso en terrenos empinados y complejos, donde las sombras son comunes (Burns, 2012). Además, el índice es aplicado porque usa la banda del visible (0.4-0.7 μm) que tiene una alta reflectancia de la cobertura glaciar (banda del verde) y la banda del infrarrojo medio (1.55-1.75 μm), donde la reflectancia es baja (Anexo 01).

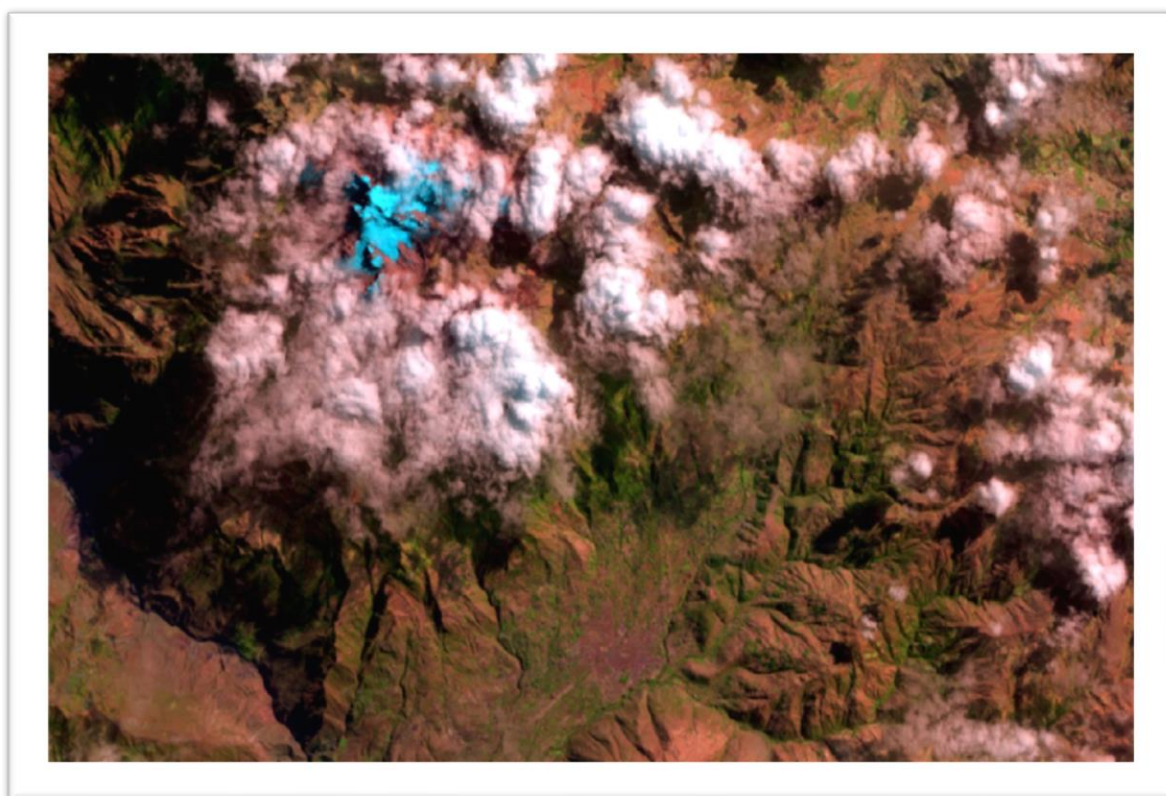


Figura 4.- Imagen landsat del Nevado Ampay del año 1986

Fuente:(USGS, 2009).

En la imagen tomada el 04 de agosto del año 1986 donde se manifiesta la presencia de nubosidad en el perímetro del nevado ampay, El valor del umbral se determinó comparando la cobertura obtenida de la imagen de satélite, con el propósito de ajustar el contorno o frente glaciar.

CALCULO

$$NDSI = \frac{\rho_{vis} - \rho_{irm}}{\rho_{vis} + \rho_{irm}}$$

Dónde:

ρ_{vis} = Reflectancia en la banda visible (verde)

ρ_{irm} = Reflectancia en la banda infrarrojo medio.

La imagen resultante del NDSI tiene valores entre -1 y 1 que permite clasificar la imagen en área glaciar y área no glaciar, a través de la definición del umbral que varía según el tipo de la imagen (Landsat 5 Tm o Resourcesat Liss III). El valor del umbral se determinó comparando la cobertura obtenida de la imagen de satélite y una fotografía aérea de mejor resolución que correspondan a la fecha de toma, con el propósito de ajustar el contorno o frente glaciar.

Se realizó el cálculo del cociente de Bandas con la calculadora raster de la herramienta Spatial Analyst del Software ArcGis.

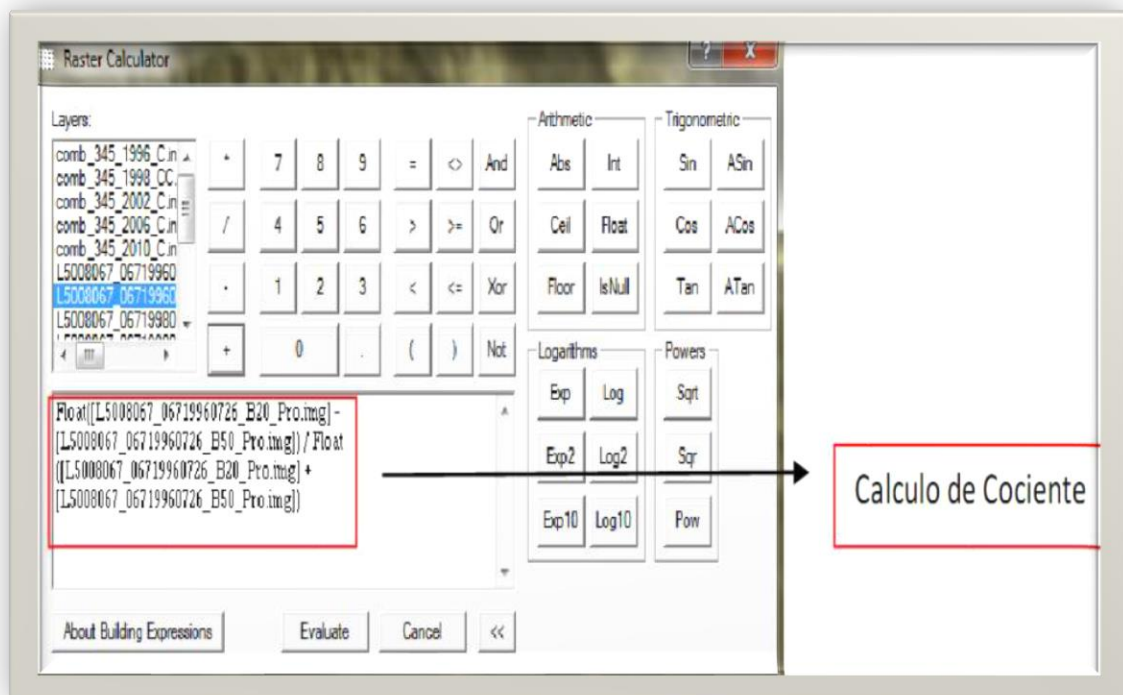


Figura 5.-Calculadora Raster de Spatial Analyst

Fuente: Elaboración propia

Se definió el Umbral teniendo como índice NDSI ≥ 0.60 esto se definió mediante la visualización de la imagen satelital con la combinación de bandas en falso color (R 5 Infrarrojo medio, G 4 Infrarrojo cercano, B 3 Rojo) en el software ArcGis.

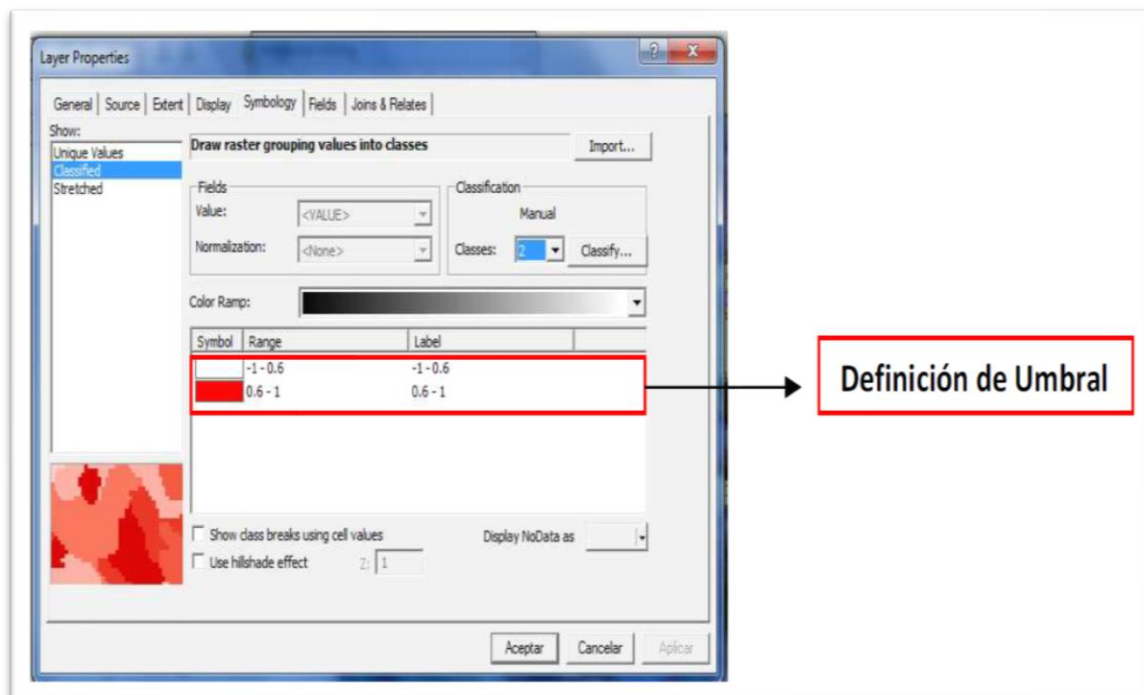


Figura 6.- Definición de Umbral del NDSI

Fuente: Elaboración propia.

Este umbral se utilizó para toda la escena Landsat. y posteriormente se reclasifico el raster:

1=No Glaciar

2=Glaciar

Finalmente se realizó la conversión de Raster a Shape para realizar los cálculos de Superficie. Estos procesos se automatizaron con la herramienta Model Builder

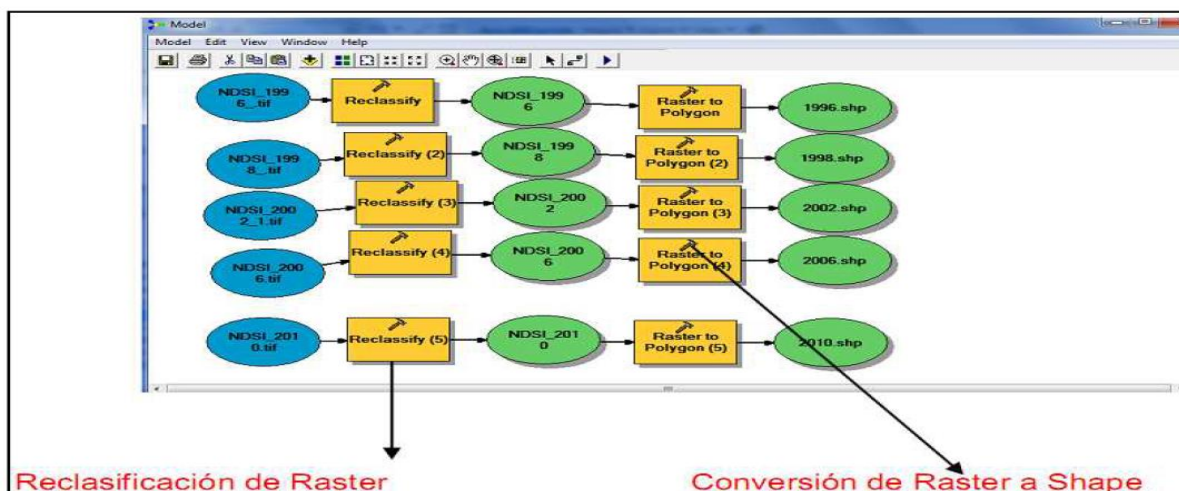


Figura 7.- Mecanismo de conversión de ráster a shape

Fuente: Elaboración propia

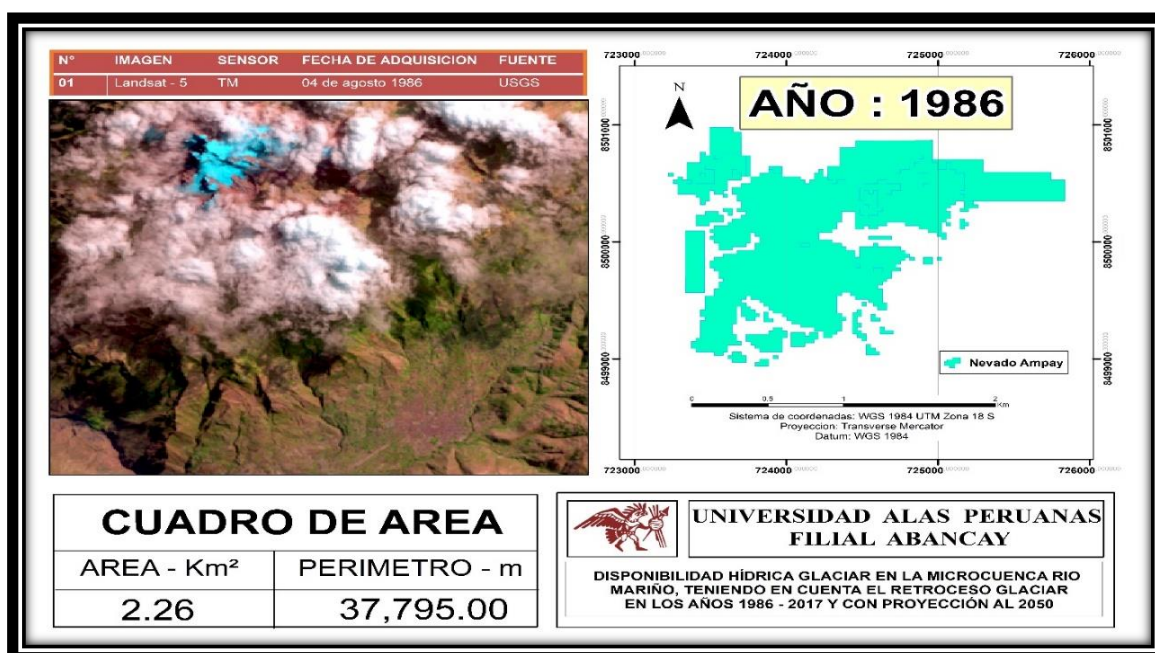


Figura 8.- Procesamiento de Imagen a polígono

Fuente: Elaboración propia

NOTA: Una vez convertido a formato de shapefile se procedió a determinar el área y perímetro de la superficie Glaciar del Nevado Ampay 1986 – 2017 aplicando el software de arc gis 9.3

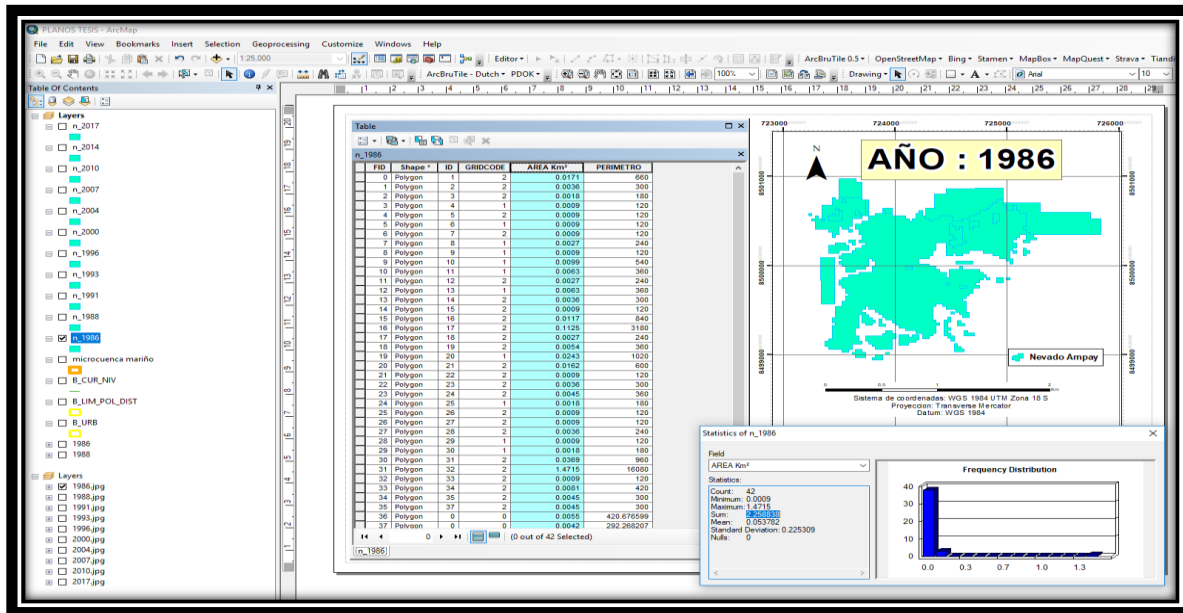


Figura 9.- Determinación de área y perímetro del Nevado Ampay

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.- Resultados de a área y perímetro de la cobertura glaciar del Nevado Ampay periodo 1986 – 2017.

Nº	IMAGEN	FECHA DE ADQUISICION	AREA – Km ²	PERIMETRO - m
01	Landsat - 5	04 de agosto 1986	2.26	37,795.00
02	Landsat - 7	25 de agosto 1988	1.71	24,660.00
03	Landsat - 7	17 de julio 1991	1.38	22,740.00
04	Landsat - 7	07 de agosto 1993	1.56	23,280.00
05	Landsat - 7	14 de julio 1996	1.4	22,380.00
06	Landsat - 7	23 de junio 2000	1.57	27,900.00
07	Landsat - 7	05 de agosto 2004	1.78	49,800.00
08	Landsat - 7	11 de junio 2007	0.97	15,180.00
09	Landsat - 7	05 de julio 2010	0.74	13,980.00
10	Landsat - 8	09 de agosto 2014	0.72	15,780.00
11	Landsat - 8	25 de agosto 2017	0.54	12,000.00

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4, podemos observar la variación de área, en el año de 1986 contaba con una superficie de 2.26 Km², también se observa un incremento de superficie glaciar en el año 2004, y para el año 2017 disminuyó en 0.54 Km² de área glaciar.

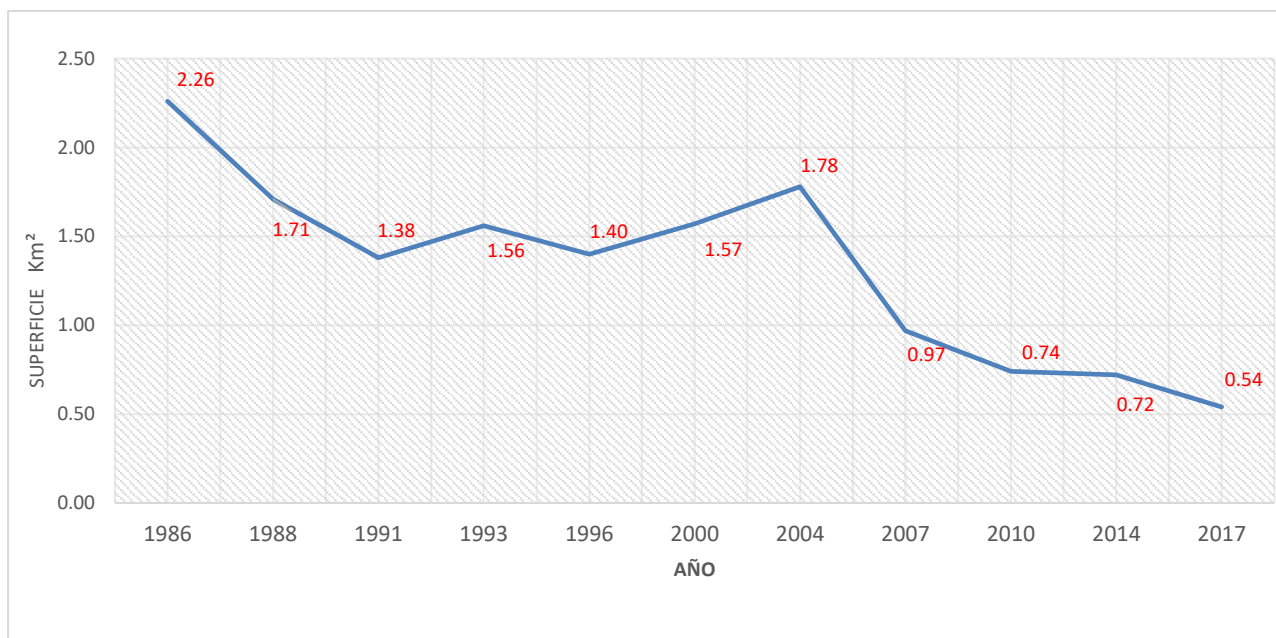


Figura 10.- Evolución Espacio Temporal Nevado Ampay periodo 1986 - 2017

Fuente: Elaboración propia

3.3 ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN GLACIAR

Para cuantificar la disponibilidad hídrica almacenada en los glaciares, la investigación estimó el volumen del Nevado Ampay, con el **método volumen – área según parámetros de escala**, debido a que considera parámetros físicos de los glaciares y su aplicación está recomendada para glaciares inventariados a escala regional.

El método aplicado se basa en el enfoque de Bahr y Meir (1997).

Tabla 5.-

Métodos para la estimación del volumen glaciar.

Nombre	Abreviación y Cita	Ecuación	Ventaja	Desventaja
Relación volumen – área según parámetros de escala	Bahr y Meir, 1997	$V = c A^\gamma$	Aplicación sencilla y rápida	La correlación es baja entre área y espesor no es principalmente determinando por el área
Estimación del espesor dependiente - pendiente	Haeberli y Hoelzle, 1995	$V = A * h_{prom}$ $h_{prom} = \frac{\tau}{f \rho g \sin \alpha}$	Es usado para datos tabulados de inventario de glaciares	El pendiente promedio calcula con el $\arctg(\Delta H/L) \neq$ pendiente promedio del Modelo Digital de Elevación (MDE)
Modelo de distribuciones de espesor de hielo	Linsbauer et al; 2012	<i>MOLDELO</i>	Estima las profundidades del glaciar en varios puntos a lo largo de las líneas de flujo	Consume mucho tiempo para preparar los datos de entrada

Donde:

- V = Volumen glaciar
 c, γ = parámetro de escala
 A = superficie glaciar
 f = factor de forma
 ρ = densidad del hielo
 g = gravedad
 h_{prom} = espesor promedio de hielo
 τ = fuerza cortante.

ECUACION UTILIZADA

Reemplazando valores de la imagen 01 Landsat – TM del 04 de agosto del 1986

$$V = c A^y$$

$$V = (0.048 * 2.26)^{1.36}$$

$$V = 0.049 \text{ Km}^3$$

Donde:

A = es el área glaciario en Km^2

c = es un parámetro lineal ($c = 0,048$) obtenido del estudio de 144 glaciares de valle de Europa y Asia, también aplicados en varios glaciares de la cordillera los andes del Perú

y = y el factor exponencial ($y = 1,36$) (Bahr y Meir, 1997).

Nota. Esta ecuación se aplicó para cada uno de las áreas de la Tabla 04. Resultados del área y perímetro de la cobertura glaciario del Nevado Ampay periodo 1986 – 2017.

Tabla 6.-

Resultados de volumen del glaciario del Nevado Ampay periodo 1986 – 2017

Fuente: Elaboración propia

Nº	IMAGEN	FECHA DE ADQUISICION	VOLUMEN – Km^3
01	Landsat - 5	04 de agosto 1986	0.049
02	Landsat - 7	25 de agosto 1988	0.033
03	Landsat - 7	17 de julio 1991	0.025
04	Landsat - 7	07 de agosto 1993	0.029
05	Landsat - 7	14 de julio 1996	0.025
06	Landsat - 7	23 de junio 2000	0.030
07	Landsat - 7	05 de agosto 2004	0.035
08	Landsat - 7	11 de junio 2007	0.015
09	Landsat - 7	05 de julio 2010	0.011
10	Landsat - 8	09 de agosto 2014	0.010
11	Landsat - 8	25 de agosto 2017	0.007

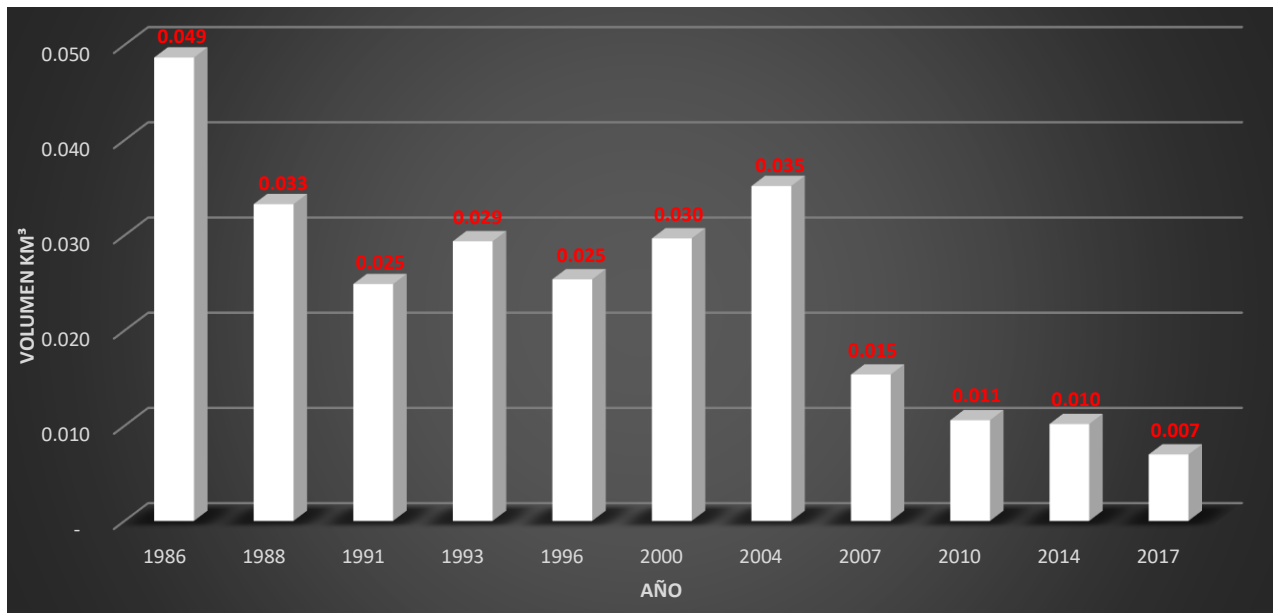


Figura 11.- Evolución Volumétrica Temporal Nevado Ampay periodo 1986 - 2017

Fuente: Elaboración propia.

Para la estimación del volumen glaciar se ha utilizado una relación empírica propuesta por (Bahr y Meir, 1997), Como se sabe, se considera el volumen de un glaciar proporcional a la longitud, ancho y el promedio de su espesor ($V = c A^{\gamma}$), c es un parámetro lineal ($c=0.048$) el rango de valores para varía entre 1.25 para glaciares polares y 1.36 para glaciares de valles que conforman nuestra cordillera de los andes del Perú

3.4 ESCENARIO FUTURO DE LA SUPERFICIE Y VOLUMEN GLACIAR

La investigación consideró el escenario de tendencia observada en el período 1986-2017 y, por lo tanto, está basado en la misma matriz de cambio y comportamiento de la variable explicativa. Para ello, se obtuvieron las áreas de los glaciares para cada período, y posteriormente se calcularon las tasas de cambio promedio anual, 'Tc', usando la siguiente ecuación adaptada de Colonia y Torres (2011):

$$Tc = \left[\frac{A_2}{A_1} \right]^{1/t} - 1$$

Donde:

$Tc =$ Tasa de cambio

$A_1 =$ área glaciar en el tiempo 1

$A_2 =$ área del mismo glaciar en el tiempo 2

$t =$ número de años del período de análisis.

Entonces:

$A_1 = 2.26 \text{ Km}^2$ (área del año 1986)

$A_2 = 0.54 \text{ Km}^2$ (área del año 2017)

$t = 2017 - 1986 = 31$ años período de análisis.

Reemplazando valores tenemos:

$$Tc = \left[\frac{0.54 \text{ km}^2}{2.26 \text{ km}^2} \right]^{\frac{1}{31}} - 1$$

$$Tc = -0.0451 \%$$

Nota: el resultado de la tasa de cambio sale negativo porque la cobertura glaciar del Nevado Ampay se está reduciendo su área

Al despejar A_2 se puede tener una ecuación para estimar un escenario futuro del área glaciar.

$$A_2 = A_1 [Tc + 1]^t$$

Reemplazando valores:

$$A_2 = 0.54 \text{ km}^2 [-0.0451 + 1]^{33}$$

$$A_2 = 0.11 \text{ Km}^2$$

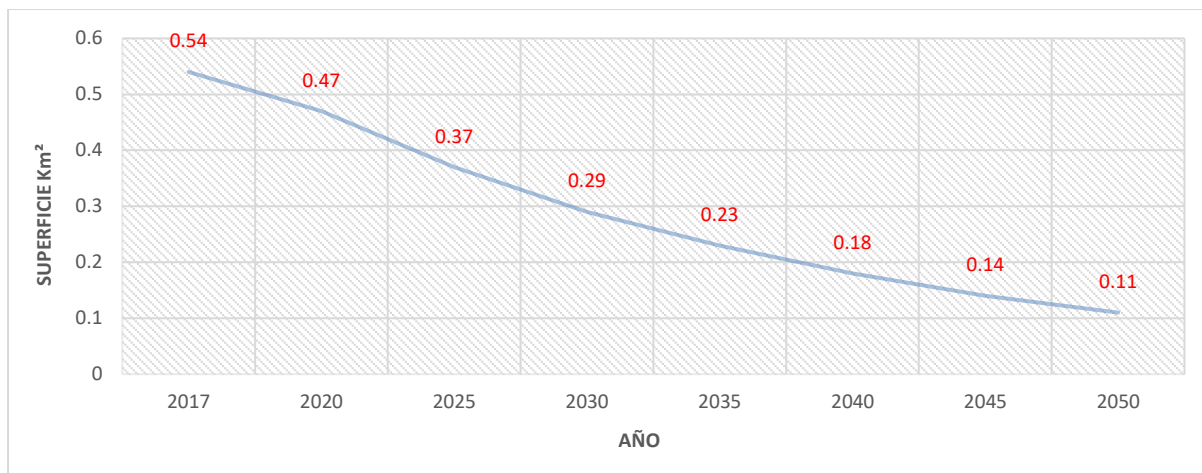


Figura 12.- Escenario futuro de la superficie glaciar del Nevado Ampay al 2050

Fuente: Elaboración propia

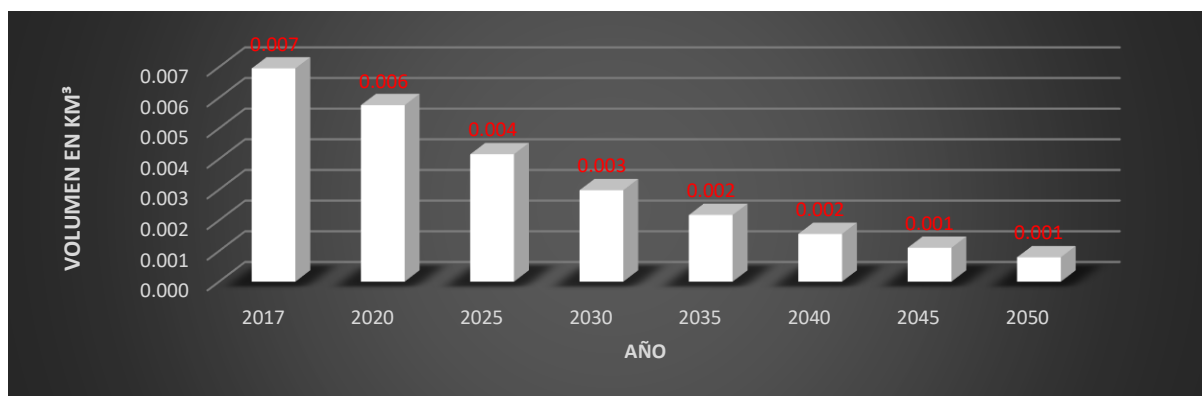


Figura 13.- Escenario futuro del volumen glaciar del Nevado Ampay al 2050

Fuente: Elaboración propia

En la figura 12 y 13 se representa los resultados de la base al procesamiento de ecuaciones, tomando como tasa de cambio -0.0451% para estimar la tendencia del año 2017 al 2050, se observa una disminución paulatina de la superficie y volumen del Nevado Ampay, la cual muestra una reducción considerable en un periodo de 33 años. Aunque dada la presencia de otros factores climatológicos esto puede tener a una exponencial de mayor pendiente.

3.5 ESCENARIO CLIMÁTICO

Para comprender la relación entre el cambio climático y la disminución y/o pérdida glaciara en la Microcuenca Rio Mariño el estudio se basó en los escenarios climáticos por el SENAMHI registrados desde el año (1986 - 2016). de la estación meteorológica de Curahuasi de la provincia de Abancay departamento de Apurímac.

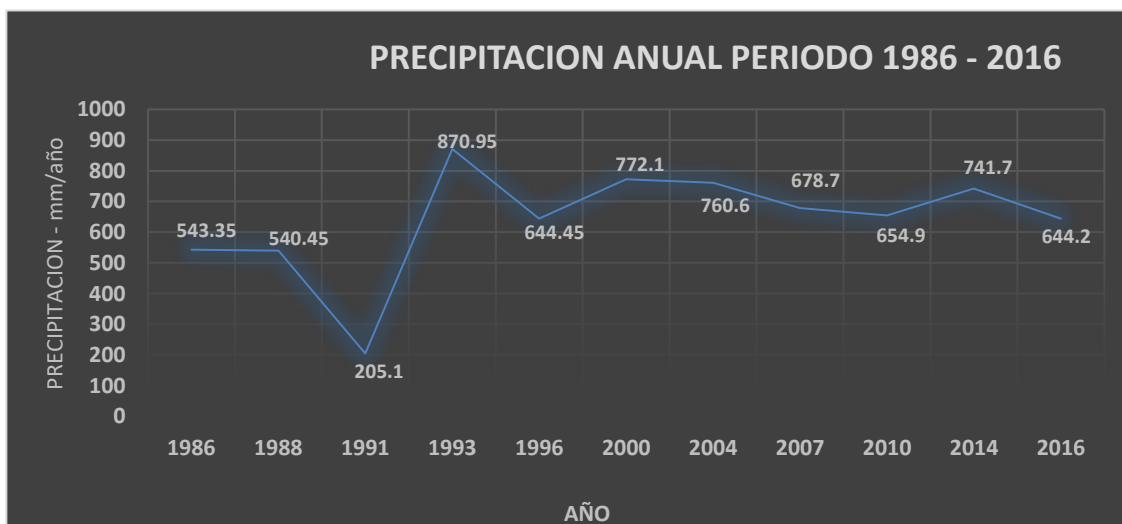


Figura 14.- Precipitación anual periodo 1986 - 2016

Fuente: SENAMI Estación Meteorológica Curahuasi.

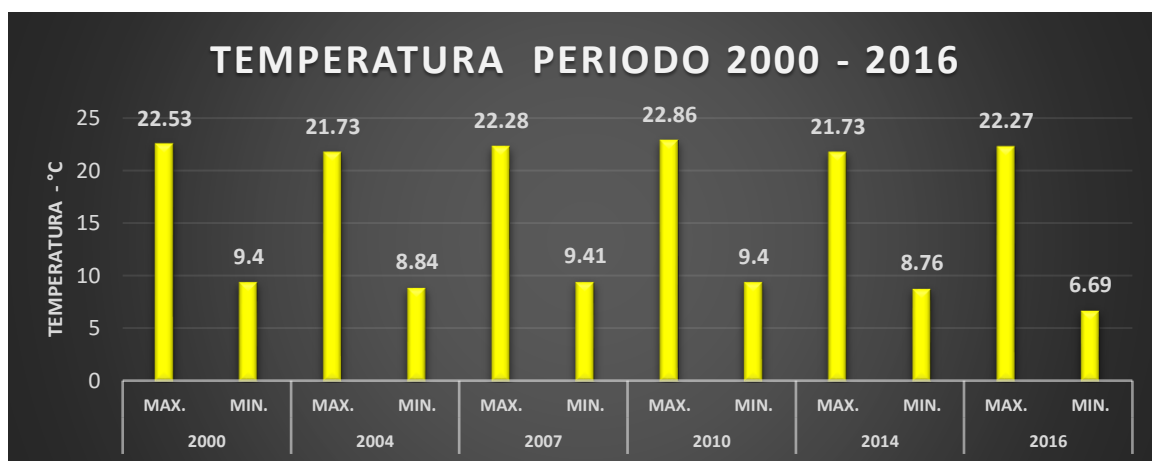


Figura 15.- Temperatura Min. y Max. del periodo 1986 – 2016

Fuente: SENAMI Estación Meteorológica Curahuasi.

CAPÍTULO IV.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- ✓ El área del glaciar calculada en el año de 1986 contaba con una superficie estimada de 2.26 Km², el 2017 fue de 0.54 Km² y tasando al año del 2050 se estima que contara una superficie de 0.11 Km².



Figura 16.- Evolución superficial temporal del Nevado Ampay del periodo de 1986 – 2017 con proyección al 2050.

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, en experiencias internacionales y nacionales se tiene resultados y valores muy similares a la pérdida superficial del área glaciar de la cuenca del río olivares - provincia de cordillera – Chile, que disminuyó de 34.67 Km² en 1955 a 22.25 Km² al 2013, lo que significa una pérdida de área de 12.42 Km². en un periodo de 55 años determinado por Maturana, (2015).

También se tiene experiencia en la sub cuenca del Rio Quellcayhuanca – Rio Santa – Peru, se utilizó el método del NDSI (Índice de Nieve de Diferencia Normalizada). Logrando determinar la evolución del nevado en el periodo comprendido del año 1987 fue 35.4 Km² al 2013 fue 21.4 Km², encontrando que la pérdida de nevado en este periodo es de 14.0 km², lo que representa una pérdida de 0.50 km²/año. Determinado por Zamora, (2013).

- ✓ En cuanto al volumen del glaciar calculado en el año de 1986 fue de 0.049 Km³, el 2017 es de 0.007 Km³ y tasando al año del 2050 se estima que contara con un volumen de 0.001 Km³.

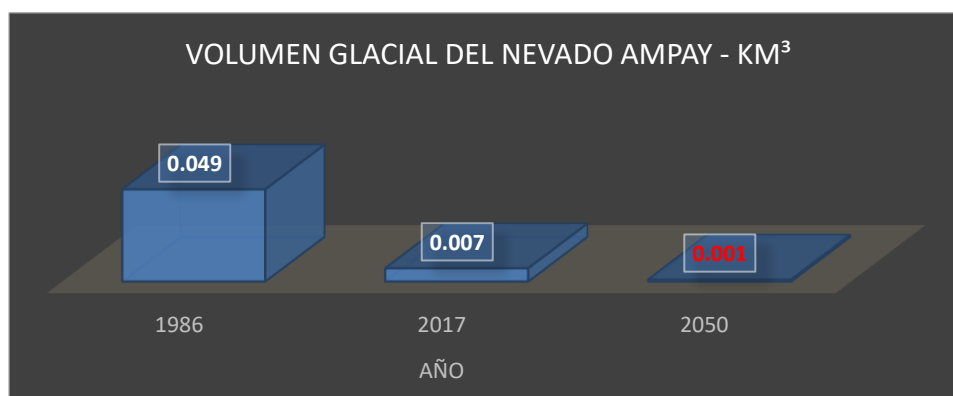


Figura 17.- . Evolución del volumen temporal del Nevado Ampay del periodo de 1986 – 2017 con proyección al 2050.

Fuente: Elaboración propia

- ✓ Se observó un cambio de superficie glacial entre los años 2000 a 2004 a consecuencia de la variabilidad climática (aumento de precipitación y posiblemente a temperaturas bajas a - 0 °C en esos años) pero la tendencia continúa siendo negativa.

Esta razón de cambio sería producto el fenómeno del niño registrados en ambos periodos 2000 a 2004.

- ✓ Además, se estima que para el año 2020, todos los glaciares por debajo de los 5,000 msnm. podrían desaparecer por efecto del cambio climático.

Fuente: CONAM, 2005(a)

- ✓ El Instituto de Meteorología Max Planck de Alemania y Instituto de Investigación Meteorológica y Agencia Meteorológica del Japón, determinaron los impactos en los cultivos bajo el escenario del 2030 donde los cambios en el clima parecen no ser tan significativos **(temperatura aumentaría hasta 1,3°C; y lluvias con variabilidad de + 15%)**

Fuente: PACC-PERU

CONCLUSIONES

- ✓ En el Nevado Ampay se estimó la tasa de cambio de área glaciaria con un promedio de -0.0451% durante el periodo de 1986 al 2017, reflejando un continuo retroceso, según la serie de tiempo de análisis (1986 - 2017). Durante el período de estudio el área glaciaria disminuyó de 2.26 km^2 en 1986 a 0.54 km^2 en 2017, lo que significa una pérdida de área de 1.72 km^2 durante 31 años; aunque con algunas diferencias locales, en cuanto al momento y la intensidad del retroceso glaciario.

En cuanto al escenario futuro, considerando el ritmo y continuidad de la superficie glaciaria durante 33 años prolongado, se estima el área que tendrá en el año 2050 es de 0.11 km^2 .

- ✓ En el año 1986 el volumen estimado del glaciario Nevado Ampay fue de 0.049 km^3 y comparando con el volumen de 0.007 m^3 del año 2017; la pérdida de volumen fue de 0.042 km^3 , mostrando que el cambio de volumen podría afectar seriamente las reservas de agua durante la época seca, porque amortiguan la caída y alimentan las aguas superficiales y subterráneas y proporcionan agua para las necesidades vitales de la población aguas abajo de la Microcuenca Río Mariño.
Extrapolando su tendencia al futuro en 33 años, el volumen glaciario al 2050 sería de 0.001 m^3 .

- ✓ Se observó un aumento de superficie glaciaria entre los años 2000 a 2004 a consecuencia de la variabilidad climática (aumento de precipitación y posiblemente a temperaturas bajas en esos años) pero la tendencia continúa siendo negativa.

RECOMENDACIONES

- ✓ Instalar una estación hidrometeorológica en el nevado con la finalidad de tener un mejor conocimiento sobre la respuesta del nevado frente al cambio climático. La información meteorológica e hidrológica generada será de utilidad para la planificación y el diseño de medidas de adaptación al cambio climático, en especial con relación al uso y la gestión de los recursos hídricos.

- ✓ La información obtenida es línea base de la dinámica de glaciares en la Microcuenca Rio Mariño, vinculada al cambio climático, afectando directamente la disponibilidad de agua en época seca. Esto permitirá que las autoridades tomen decisiones para incrementar proyectos de inversión pública, enfocados a la adaptación al cambio climático y la disminución progresiva de las reservas de agua en regiones tropicales.

- ✓ Es necesario incrementar la red de monitoreo glaciar en la Cordillera Vilcabamba para contar con un amplio registro de datos. Donde existe procesos (cambio de albedo, formación de lagunas, cubierta de escombros y otros) que requieren mayor investigación y permitan entender la dinámica glaciar. Asimismo, es necesario datos climáticos a menor escala (nivel local y cuenca) para correlacionar con los cambios de balance de masa y balance de energía.

- ✓ Se recomienda realizar mediciones con instrumentos especializados en el nevado Ampay para poder determinar el espesor del hielo.

- ✓ Se sugiere seguir actualizando el monitoreo del nevado Ampay mediante los sensores remotos para entender mejor el comportamiento de la variabilidad y cambio climático.
- ✓ Realizar un estudio geotécnico.

FUENTES DE INFORMACION

ANA 2014, Inventario Nacional de Glaciares del Perú.

Arévalo, (2015). Análisis Multitemporal de Glaciares y Lagunas Glaciares en la Cordillera Blanca de Potenciales Amenazas GLOFs

Asociación Salud I Agroecologica (ISIA). (2003). La disminución de glaciares, uno de los efectos más graves del calentamiento. Obtenido de associaciosalutiagroecologia.wordpress.com:

<https://associaciosalutiagroecologia.wordpress.com/2014/12/07/la-disminucion-de-glaciares-uno-de-los-efectos-mas-graves-del-calentamiento/>

Bahr, D., Meier, M., and Peckham, S. 1997. The physical basis of glacier volume - area scaling, *J. Geophys. Res.*, 102 (B9), 20,355–20,362, doi:10.1029/97JB01696.

Basantes, R. 2010. Análisis espacio-temporal del comportamiento geométrico de los glaciares del volcán Antisana y su relación con la variabilidad climática y el cambio climático, Programa Regional France-Amérique Latine-Caribe (PREFALC). Quito, Ecuador. 71 p.

Carey M., Huggel, C., Bury J. Portocarrero C., Haerberli W., 2012. An integrated socio-environmental framework for glacier hazard management and climate change adaptation: lessons from Lake 513, Cordillera Blanca, Peru. *Climatic Change* 112:733–767

Chander G., Markham B. y Helder D. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote sensing of environment* 113, p. 893-903.

Chevallier et al., 2010. Abrupt climatic changes as triggering mechanisms of massive volcanic collapses. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 155: 329 – 333.

Chuviego (s.f.) “Fundamentos de Teledetección Espacial”. Segunda Edición. Ediciones. RIALP, S.A. Madrid

Colonia Ortiz D. y Torres Castillo J., 2011. Determinación del retroceso glaciar en la microcuenca de llanguuco, a través del análisis multitemporal en el

- período 1987-2007, Disertación de pregrado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz, Perú, 209 p.
- Derruau, Max. (1991) «El sistema de erosión glacial.» En Geomorfología. Sección 3, capítulo 2. Barcelona: Ariel, 2ª ed.
- Esteban Maturana Franca, J. A. (2015). Análisis del Retroceso Glaciar y Su Influencia en la Disponibilidad de Recursos Hídricos en la Cuenca Del Río Olivares, Provincia Cordillera, Chile. Santiago De Chile: Universidad de Chile Facultad de Ciencias Fisicas y Matematicas Departamento de Ingenieria Civil.
- Francou, B. y Pouyaud, B. 2008. Glaciares: ¿cómo y dónde estudiarlos? Revista REDESMA Cambio climático, adaptación y retroceso de glaciares. 2(3):p.9-17.
- Gonzales. (2010) Estudio Multitemporal Nevado Ampay.
- Hall, D. K., Riggs, G. A., and Salomonson, V. V., 1995, Development of methods for mapping global snow cover using moderate resolution imaging spectroradiometer data. Remote Sensing of Environment, 54, 27–140.
- Hernández S, R., Fernández C, C., y Baptista L, P. (1991). Metodología de la Investigación (1 ed.). México: Mc Graw Hill.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007: Cambio climático 2007 Informe de síntesis, contribución de los grupos de trabajo I, II y III al cuarto informe de evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio IPCC, Ginebra, Suiza, 104 p.
- Juen, I., Kaser G., and Georges C. 2007. Modeling observed and future runoff from a glacierized tropical catchment (Cordillera Blanca, Perú). Global and Planetary Change 59(1–4): 37–48.
- Kaser, Georg; OSMASTON, Henry. (2001) “Tropical Glaciers”. Cambridge University Press. ISBN 0-521-63333-8.
- Lizarzaburu. (2009-2011). El Retroceso Glaciar en la Alta Montaña de los Andes Peruanos. Caso: Santuario Nacional de Ampay, Apurímac
- Maur et al., 2006.” El cambio climático: ¿qué es?”. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas.
- MINAM (Ministerio del Ambiente), 2010, Segunda Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio

- Climático (SCNCC), primera edición, Ediciones Aguilar S.A.C., Lima, Perú, 208 p.
- Maturana Franca, (lunes de junio de 2015). *core.ac.uk*. Obtenido de core: <https://core.ac.uk/display/91765940>
- Maletta P, H. (2009). Epistemología aplicada: Metodología y técnica de la producción científica. Lima: Universidad del Pacifico.
- NASA World (2014). "Globo Terráqueo Virtual". Centro de Investigación Ames. Sistema: Microsoft Windows, MacOS. Operativo: Fedora y Ubuntu.
- Ochoa, Carlos, 2015. Muestreo no probabilístico: muestreo por conveniencia p 23.
- Posada y Sol (s.f.) "Modelado de Datos Orientado a Objetos para un Sistema de Información Geográfica". Universidad de las Americas-Puebla. 72820.Puebla, México.
- Rabatel, A., Francou, B., Soruco, A., Gomez, J., Cáceres, B., Ceballos, J. L., Basantes, R. Y., P., 2013, Current state of glaciers in the tropical Andes: a multi-century perspective on glacier evolution and climate change, *The Cryosphere*, 7, 81-102
- Racoviteanu, A. E., Arnaud, Y., Williams, M. W., and Ordoñez, J., 2008, Decadal changes in glacier parameters in the Cordillera Blanca, Peru, derived from remote sensing, *Journal of Glaciology*, 54, 499–510
- Rodríguez Sánchez Augusto y Valdez Rozas Gustavo, 2004, Compendio de geología general, segunda edición, Ediciones culturales, págs.137-150.
- 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.
- S.A. (2007) "Sistemas De Información Geográfica – SIG". Mejora de los sistemas de cartografía del territorio colombiano. Instituto Geográfico Agustín Codazzo. Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología), 2005, Escenarios Climáticos Futuros de la estación meteorológica de Curahuasi distrito de Abancay Provincia de Abancay departamento de Apurímac.

Singh Vijay P., Pratap Singh y Umesh K. Haritashya. 2011. Encyclopedia of Snow, Ice and Glaciers, USA. Spring Science.

Steiniger y Bocher (2008) "An Overview on Current Free and Open Source Desktop GIS Developments". Accepted for publication in Int. J. of Geographical Information Science, 1. Revision, Sept. 5th 2008. Review Article An Overview on Current Free and Open Source Desktop GIS Developments. Ecole Central de Nantes, Rue Massenet – BP 81931, F-44319 Nantes Cedex.

USGS (2009). Earth Resources Observation and Science Center (en línea). Consultado 5 may. 2009. Disponible en <http://glovis.usgs.gov/>

Vuille M., 2011, Climate Change and Water Resources in the Tropical Andes, Inter-American Development Bank, Environmental Safeguards Unit, IDB-TN-512, pp 35.

(Valdés, 1999), (Moráquez, 2001).

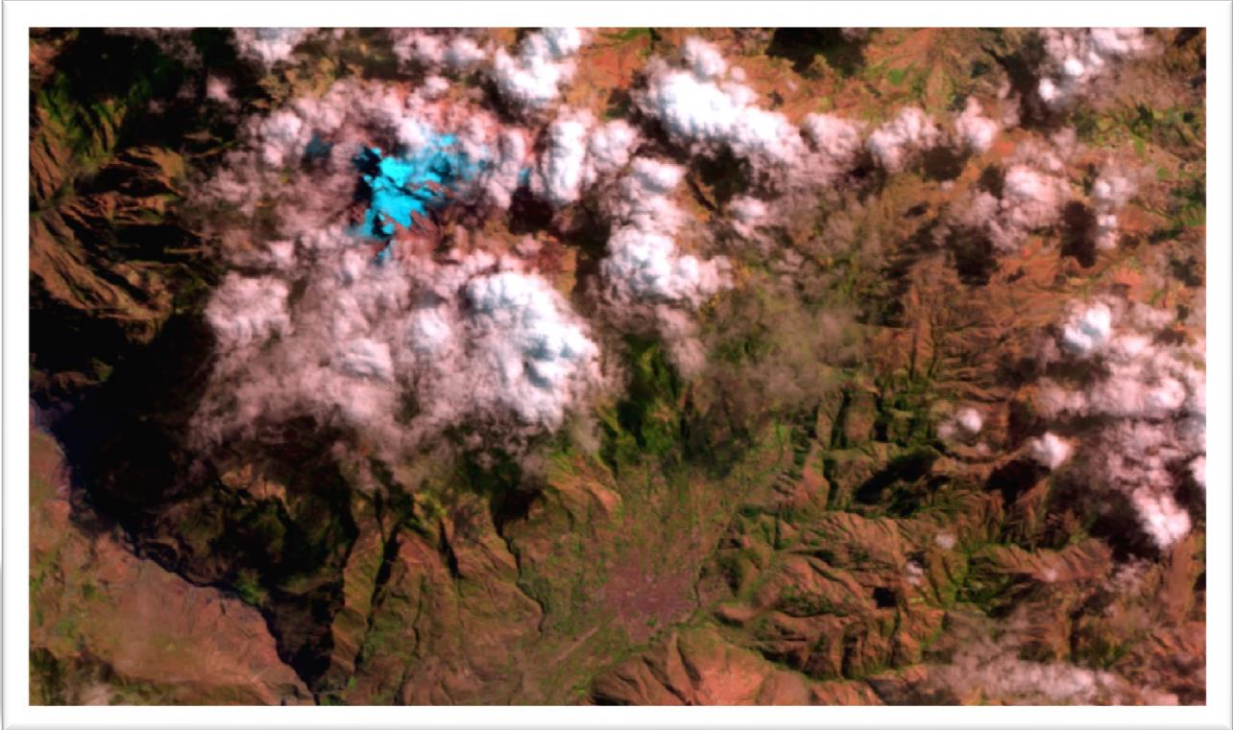
Anexos

1. Matriz de consistencia.

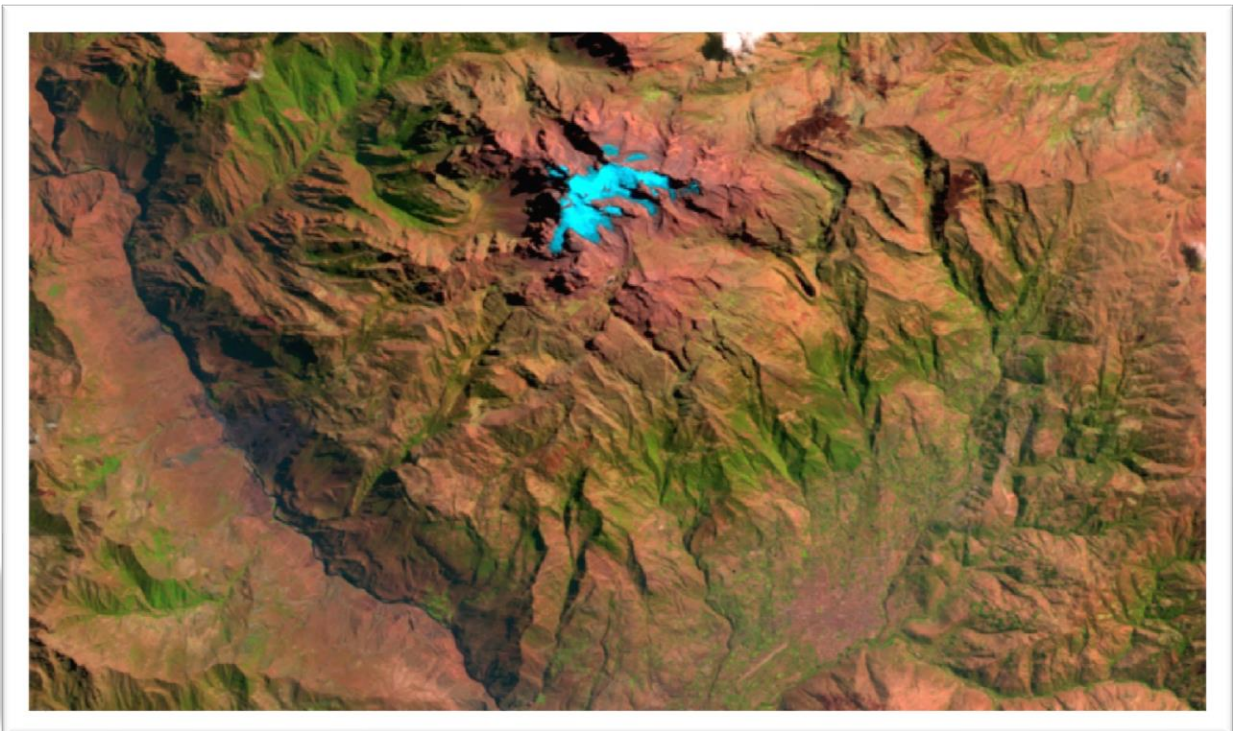
PROBLEMAS	OBJETIVOS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
<p>Problema General: ¿De qué manera se realiza la evaluación de la disponibilidad hídrica glaciar del Nevado Ampay en los periodos de 1986 al 2017 y con una tendencia al 2050 en la Microcuenca del Río Mariño de la Provincia de Abancay – Apurímac, año 2017?</p>	<p>Objetivo General: Evaluar la disponibilidad hídrica glaciar del Nevado Ampay en los periodos de 1986 al 2017 y con una tendencia al 2050 en la Microcuenca del Río Mariño de la Provincia de Abancay – Apurímac, año 2017.</p>	<p>Disponibilidad Hídrica Glaciar</p>	<p>Estimación de la superficie glaciar</p>	<p>Superficie de glaciares en km²</p>	<p>Escala de Razón</p> <p>1=nunca 2=Casi siempre 3= A veces 4= Casi siempre 5= Siempre</p>
<p>PE1: ¿Cuál es el área de la disponibilidad hídrica glaciar del Nevado Ampay en los periodos de 1986 al 2017 y con una tendencia al 2050 en la Microcuenca del Río Mariño de la Provincia de Abancay – Apurímac, año 2017?</p>	<p>OE1: Determinar el área de la disponibilidad hídrica glaciar del Nevado Ampay en los periodos de 1986 al 2017 y con una tendencia al 2050 en la Microcuenca del Río Mariño de la Provincia de Abancay – Apurímac, año 2017</p>				
<p>PE2: ¿Cuál es el volumen de disponibilidad hídrica glaciar del Nevado Ampay en los periodos de 1986 al 2017 y con una tendencia al 2050 en la Microcuenca del Río Mariño de la Provincia de Abancay – Apurímac, año 2017?</p>	<p>OE2: Determinar el volumen de la disponibilidad hídrica glaciar del Nevado Ampay en los periodos de 1986 al 2017 y con una tendencia al 2050 en la Microcuenca del Río Mariño de la Provincia de Abancay – Apurímac, año 2017</p>		<p>Determinación del volumen Glaciar</p>	<p>Volumen de agua en m³</p>	

Otros

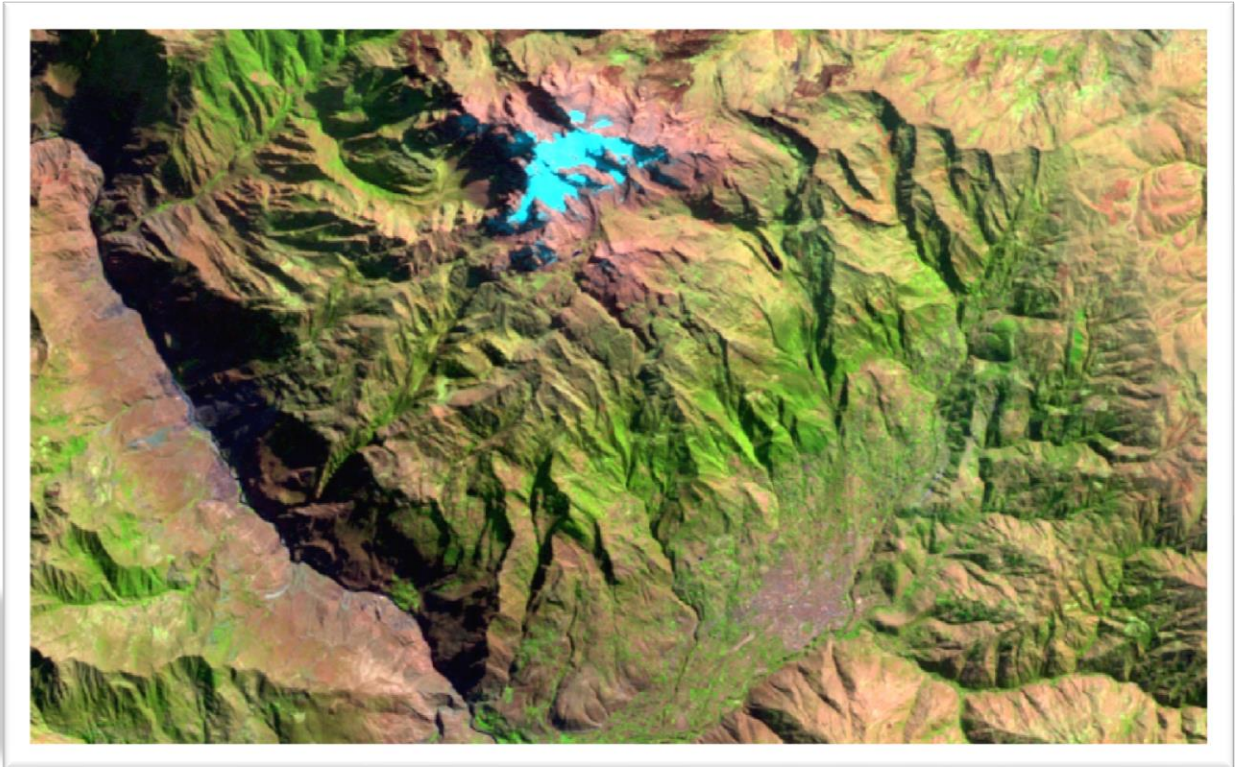
a. Imagen satelital fecha de toma 04 de agosto 1986.



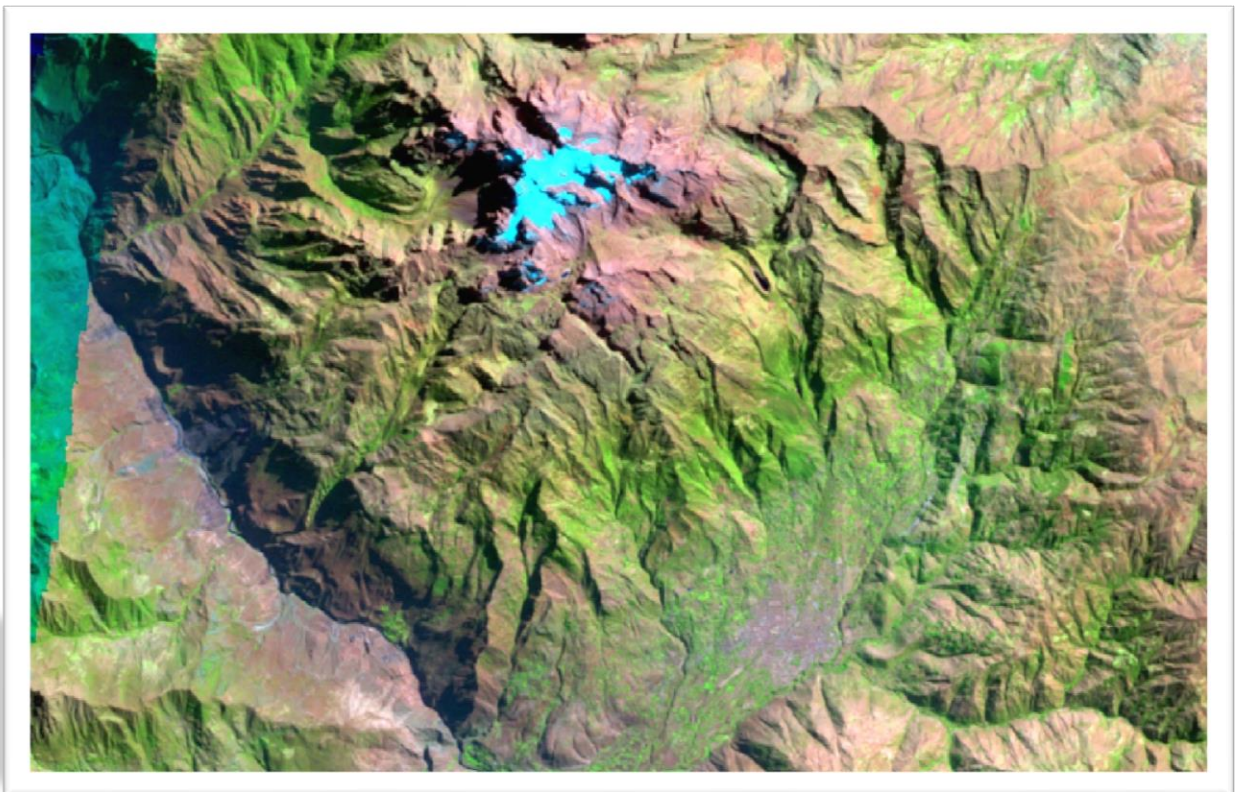
b. Imagen satelital fecha de toma 25 de agosto 1988.



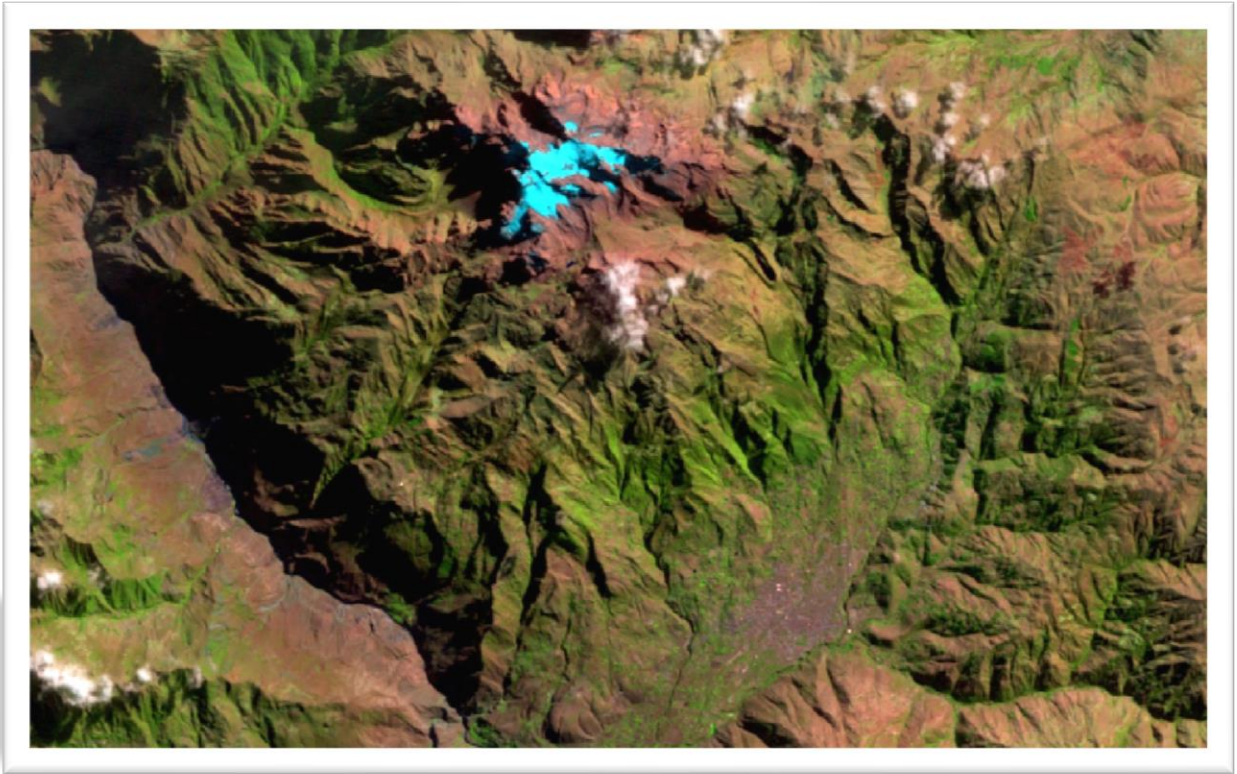
c. Imagen satelital fecha de toma 17 de julio 1991



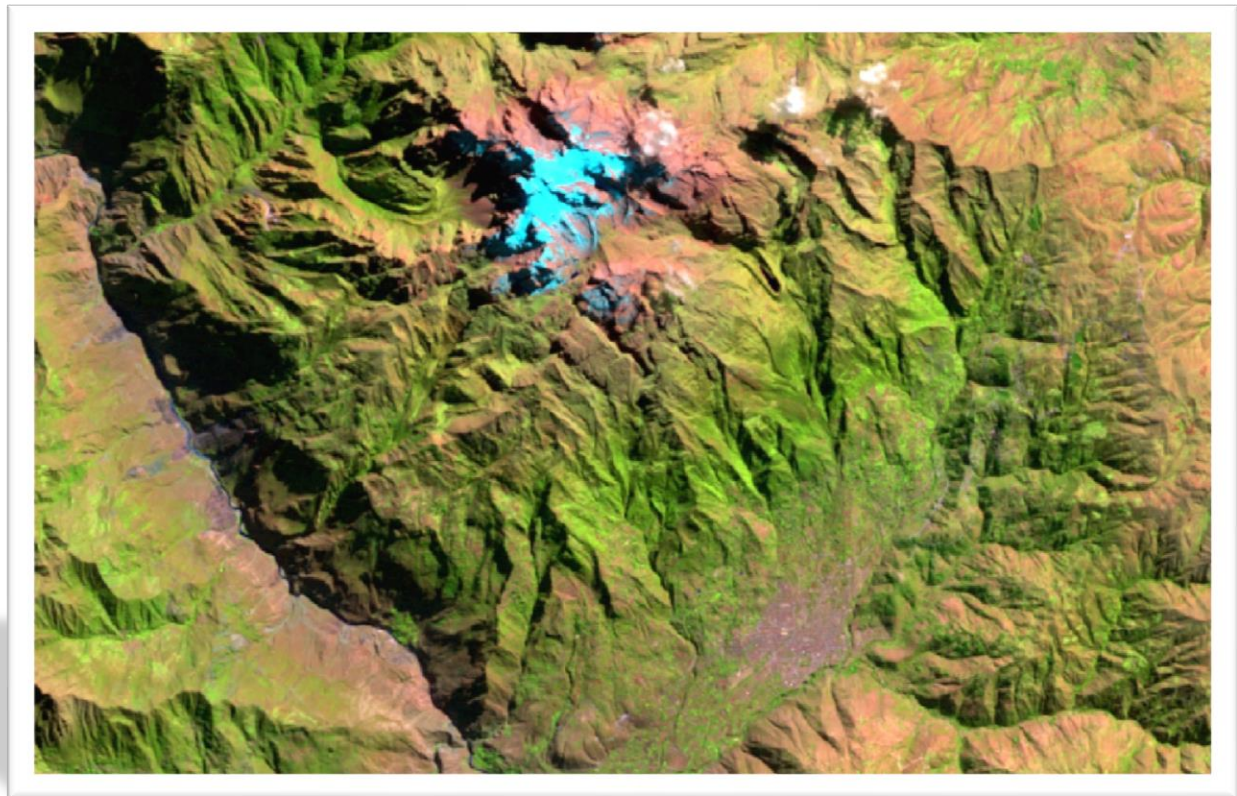
d. Imagen satelital fecha de toma 07 de agosto 1993



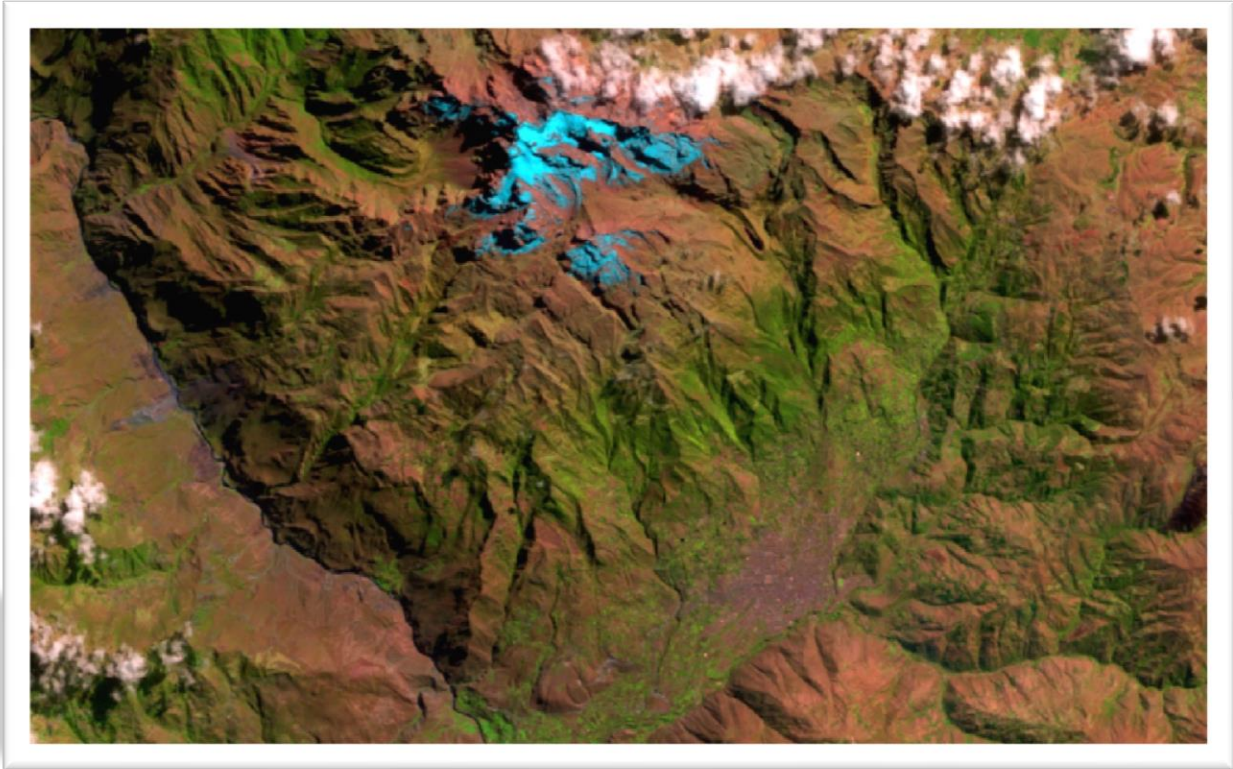
e. Imagen satelital fecha de toma 14 de julio 1996



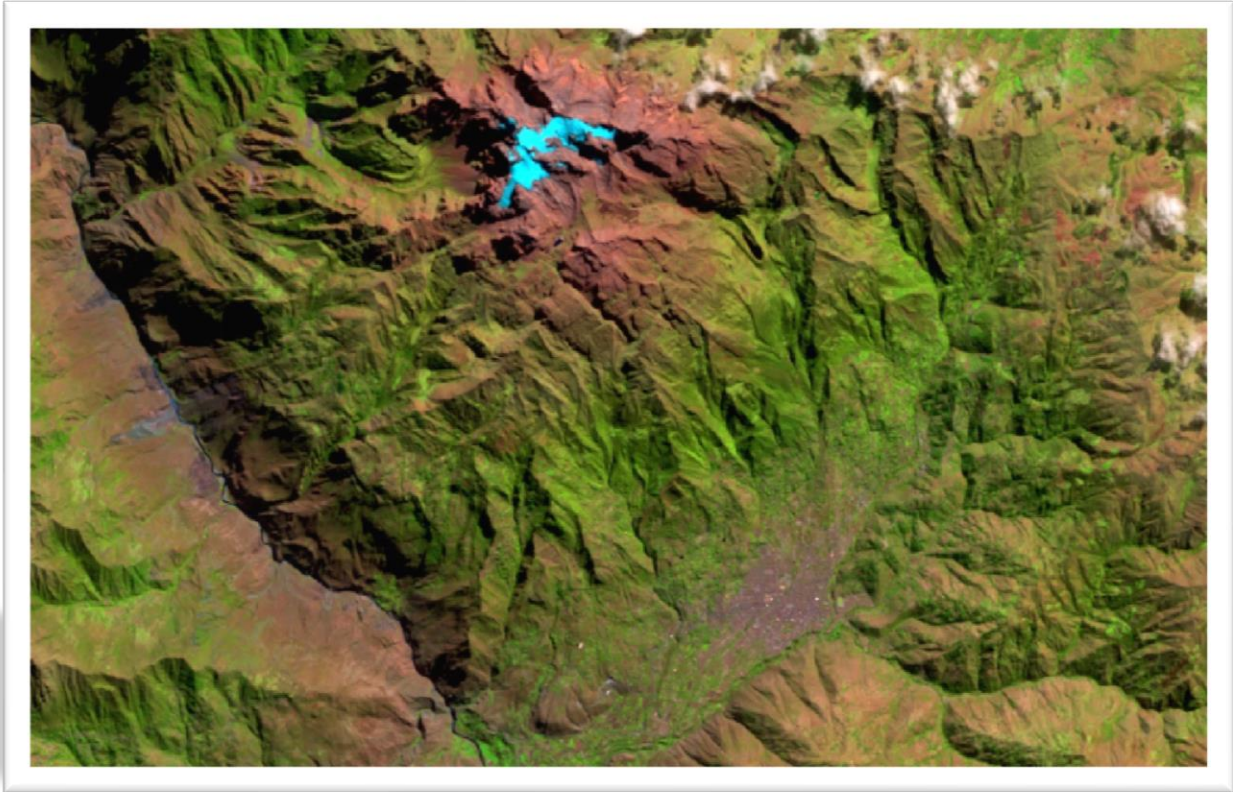
f. Imagen satelital fecha de toma 23 de junio 2000



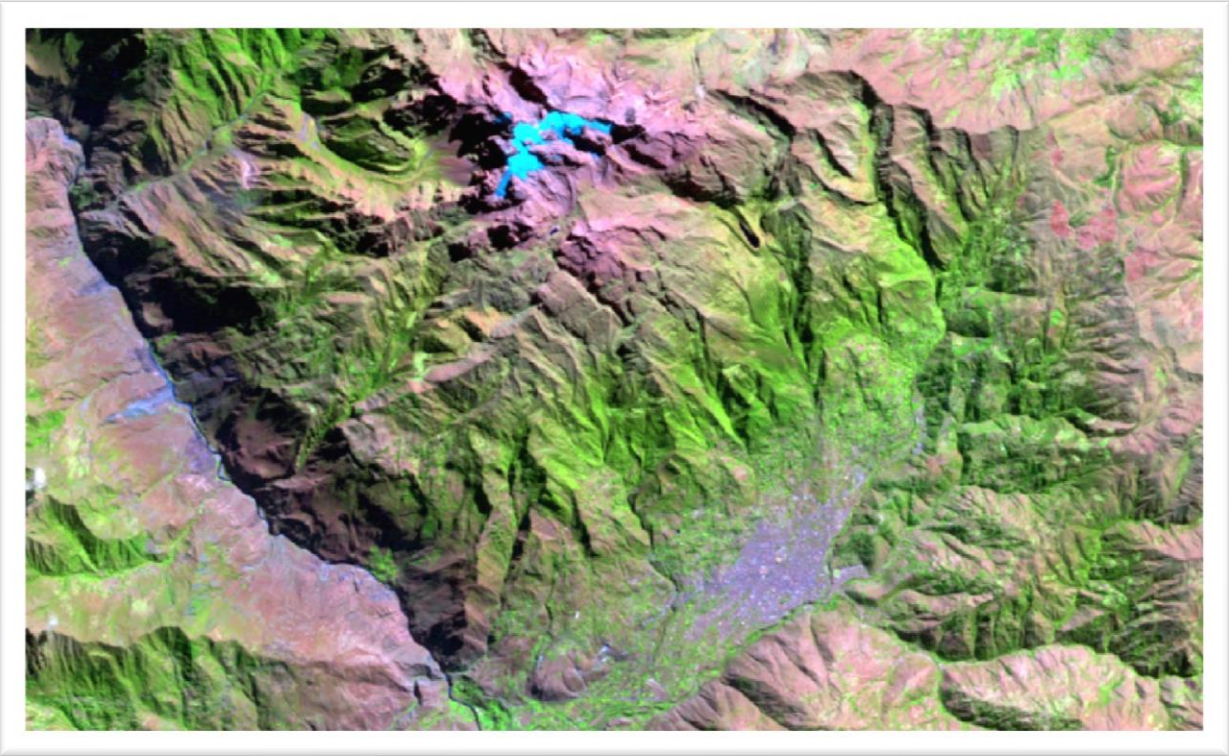
g. Imagen satelital fecha de toma 05 de agosto 2004



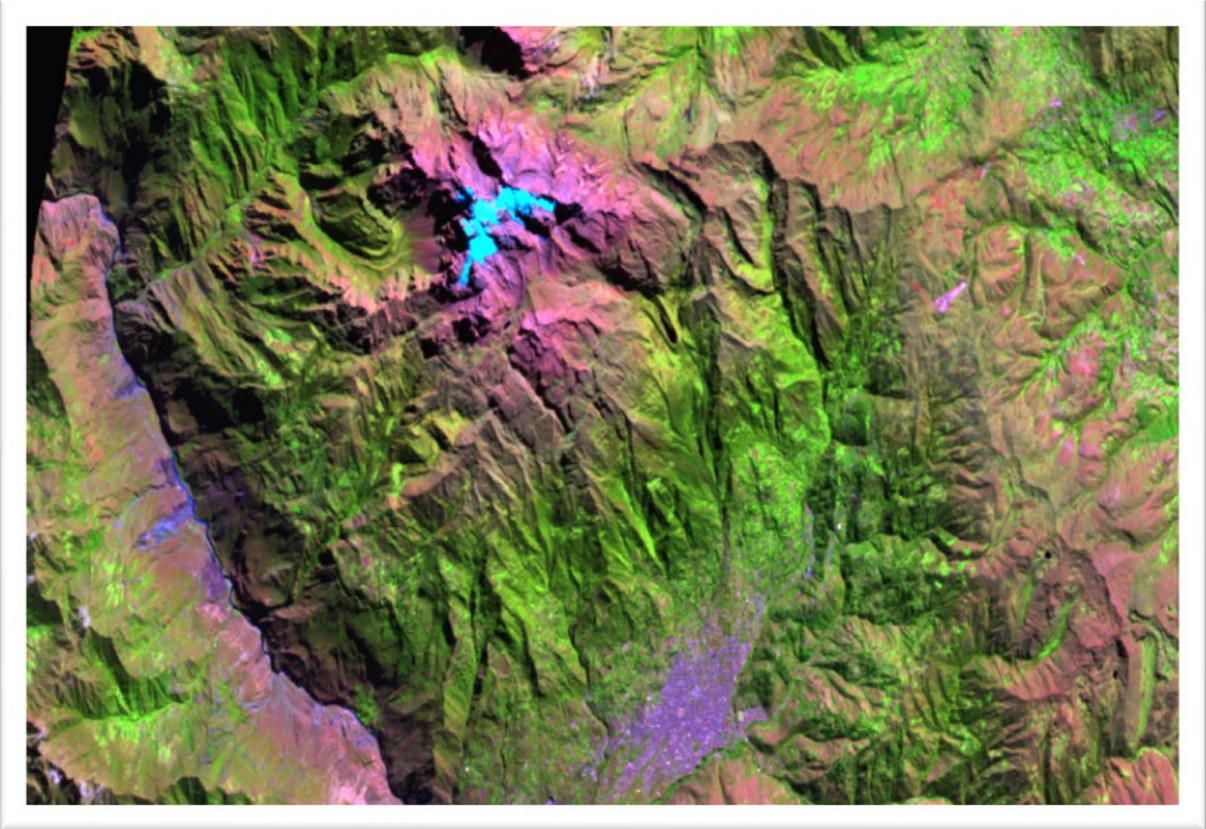
h. Imagen satelital fecha de toma 11 de junio 2007



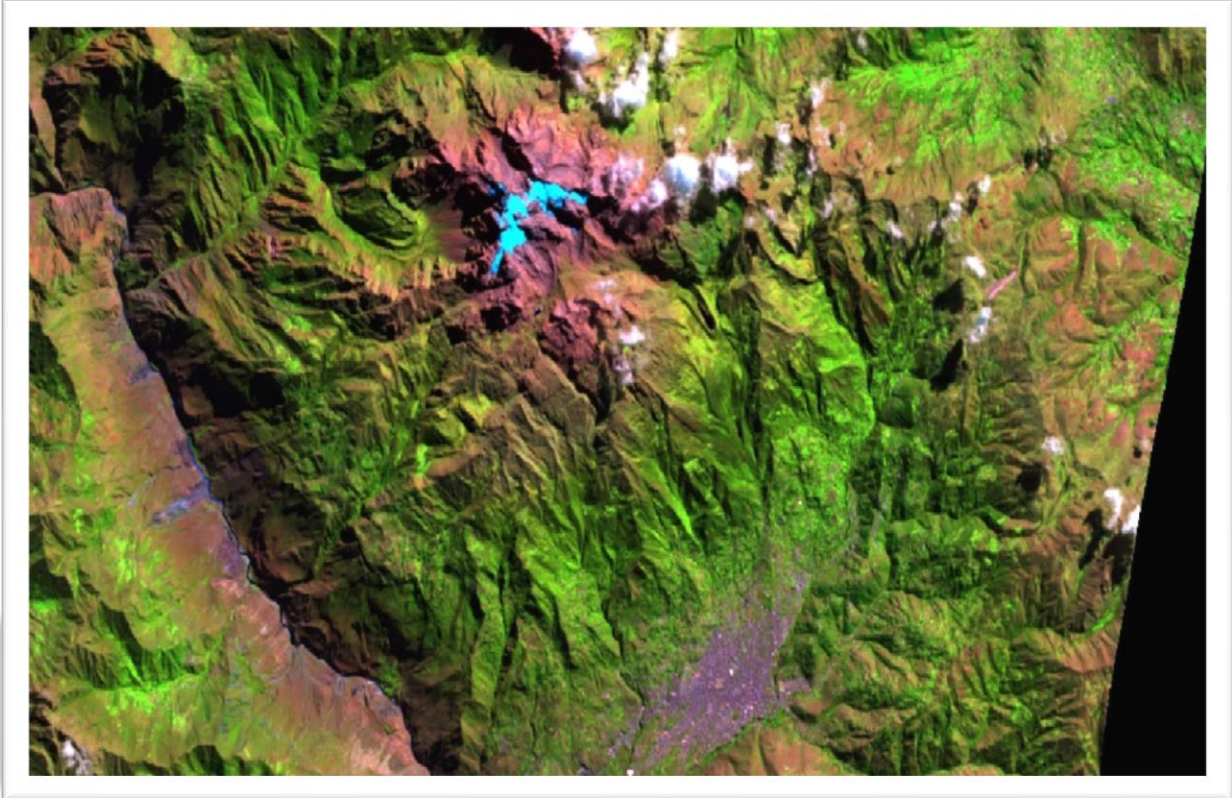
i. Imagen satelital fecha de toma 05 de julio 2010



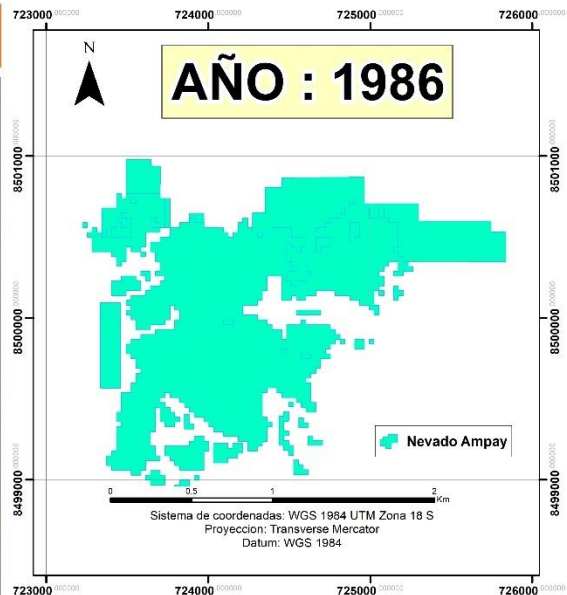
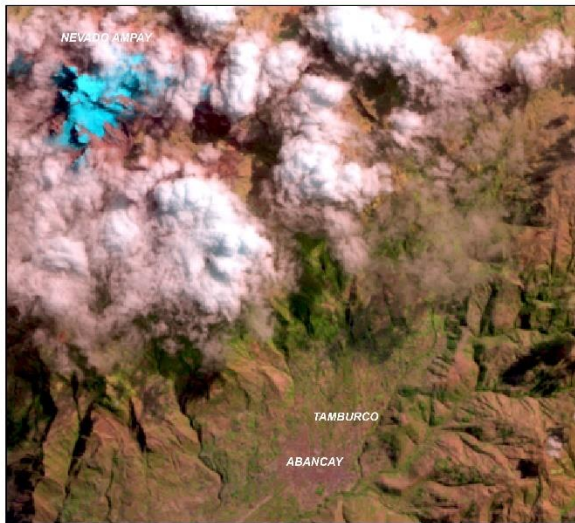
j. Imagen satelital fecha de toma 09 de agosto 2014



k. Imagen satelital fecha de toma 25 de agosto 2017



N°	IMAGEN	SENSOR	FECHA DE ADQUISICION	FUENTE
01	Landsat - 5	TM	04 de agosto 1986	USGS



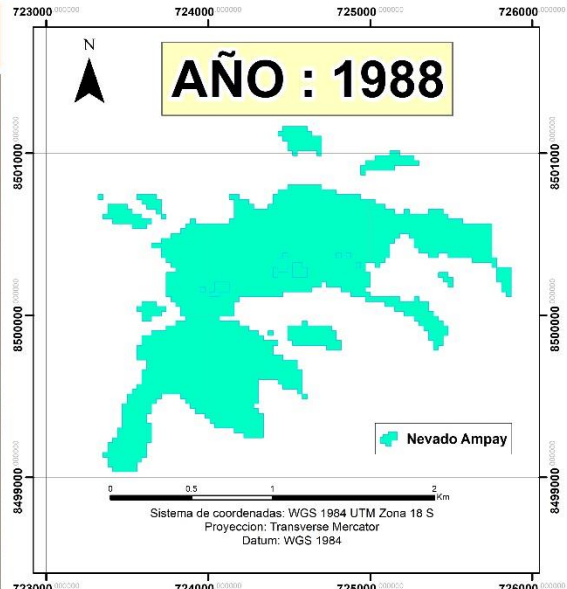
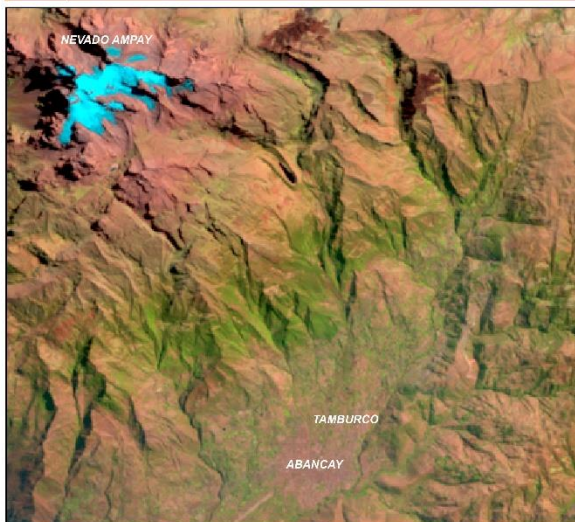
CUADRO DE AREA	
AREA - Km ²	PERIMETRO - m
2.26	37,795.00



**UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
FILIAL ABANCAY**

"Evaluación de la disponibilidad hídrica glaciar del Nevado Ampay en los periodos de 1986 al 2017 y con una tendencia al 2050 en la Microcuenca del Rio Mariño de la Provincia de Abancay – Apurimac, año 2017"

N°	IMAGEN	SENSOR	FECHA DE ADQUISICION	FUENTE
02	Landsat - 5	TM	25 de agosto 1988	USGS

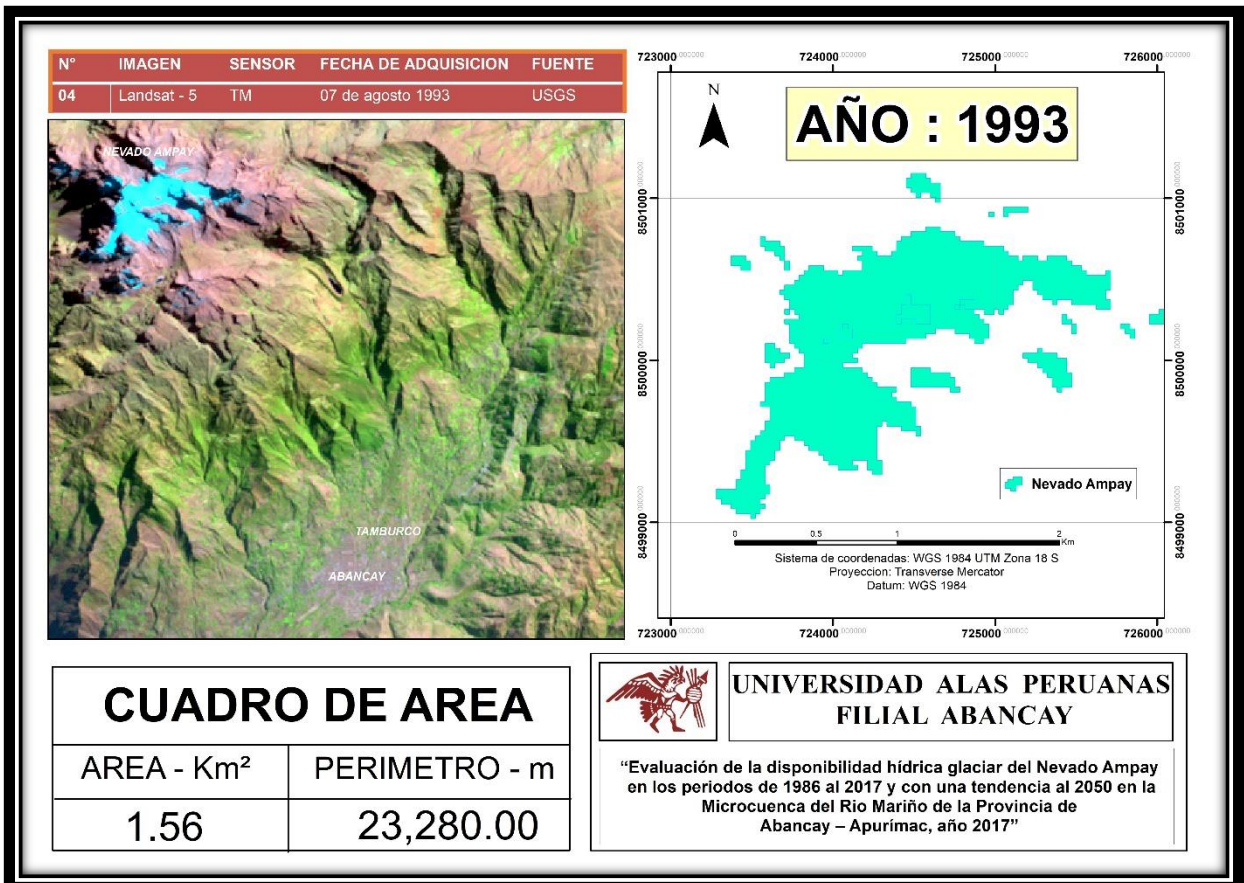
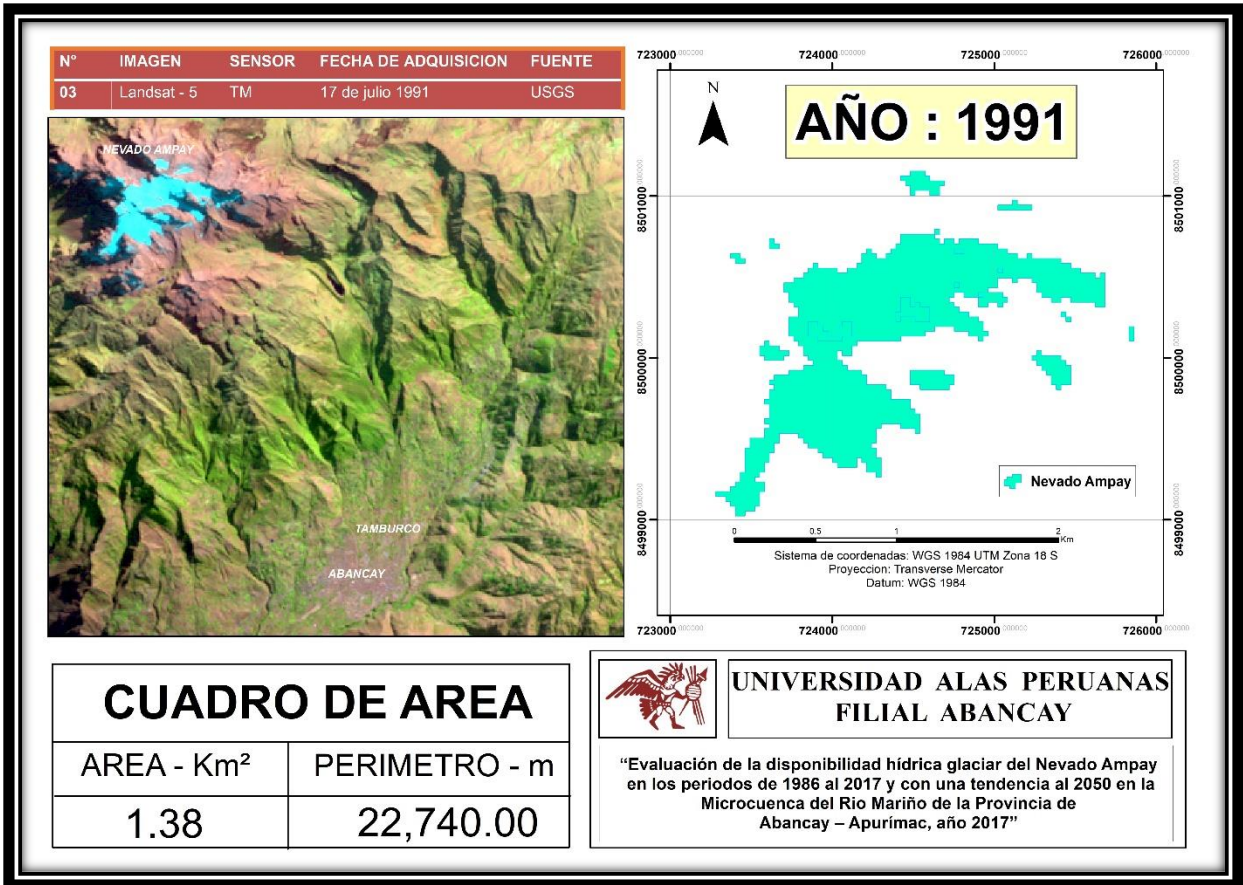


CUADRO DE AREA	
AREA - Km ²	PERIMETRO - m
1.71	24,660.00

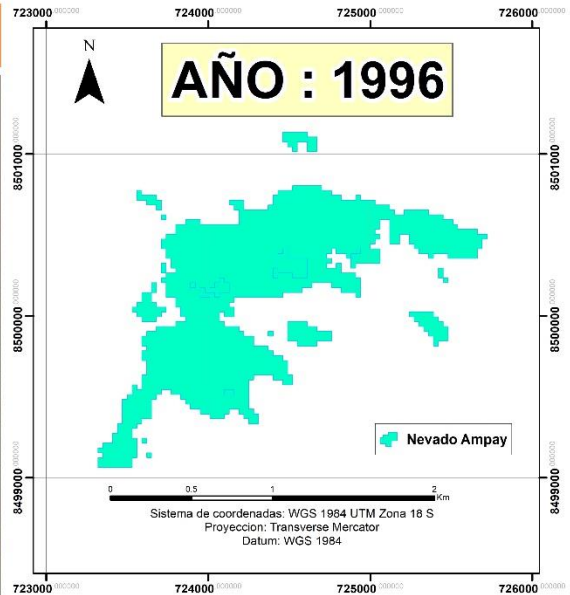
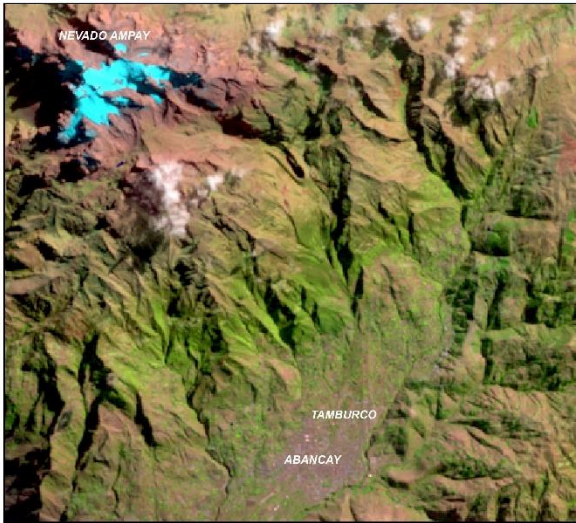


**UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
FILIAL ABANCAY**

"Evaluación de la disponibilidad hídrica glaciar del Nevado Ampay en los periodos de 1986 al 2017 y con una tendencia al 2050 en la Microcuenca del Rio Mariño de la Provincia de Abancay – Apurimac, año 2017"



N°	IMAGEN	SENSOR	FECHA DE ADQUISICION	FUENTE
05	Landsat - 5	TM	14 de julio 1996	USGS



CUADRO DE AREA

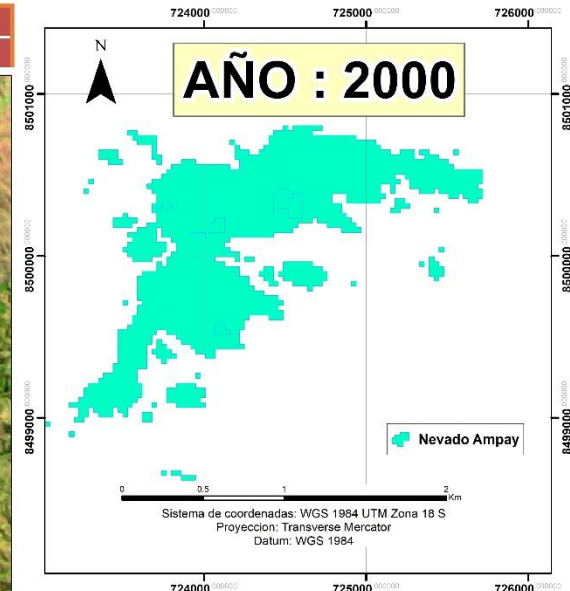
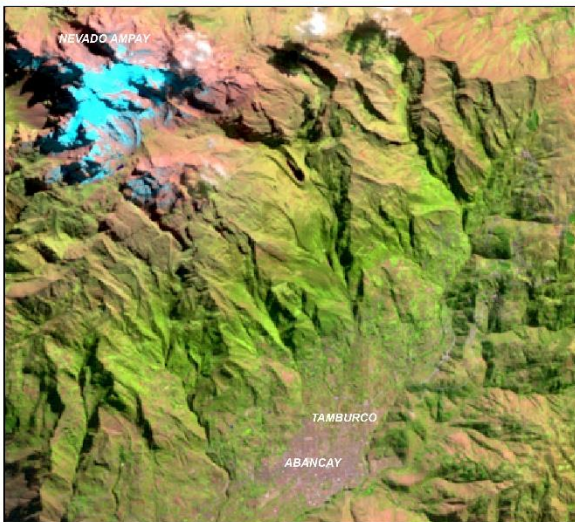
AREA - Km ²	PERIMETRO - m
1.4	22,380.00



**UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
FILIAL ABANCAY**

“Evaluación de la disponibilidad hídrica glaciar del Nevado Ampay en los periodos de 1986 al 2017 y con una tendencia al 2050 en la Microcuenca del Río Mariño de la Provincia de Abancay – Apurímac, año 2017”

N°	IMAGEN	SENSOR	FECHA DE ADQUISICION	FUENTE
06	Landsat - 5	TM	23 de junio 2000	USGS



CUADRO DE AREA

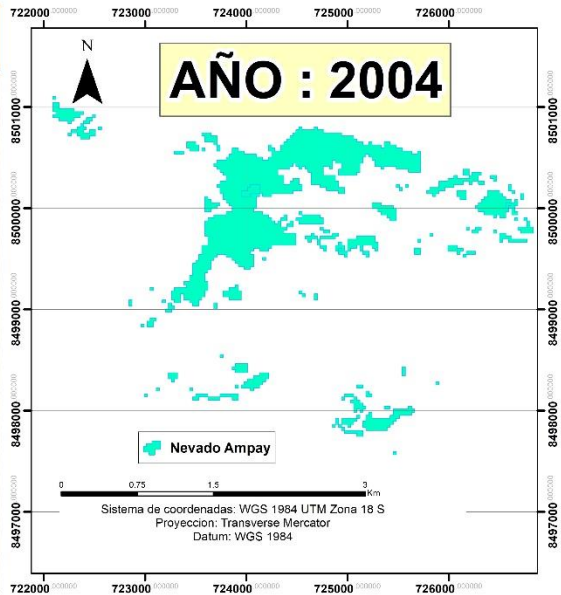
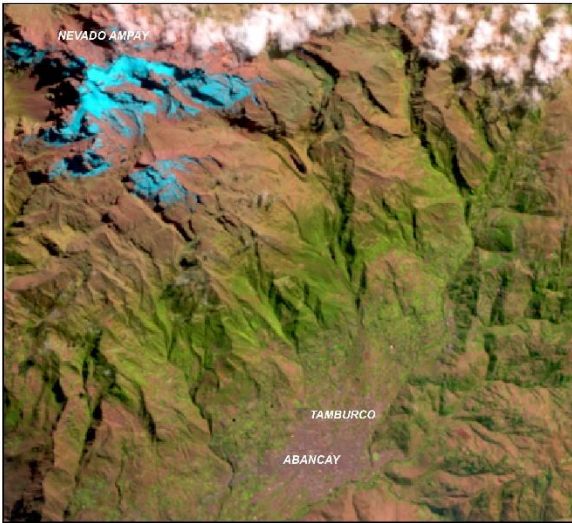
AREA - Km ²	PERIMETRO - m
1.57	27,900.00



**UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
FILIAL ABANCAY**

“Evaluación de la disponibilidad hídrica glaciar del Nevado Ampay en los periodos de 1986 al 2017 y con una tendencia al 2050 en la Microcuenca del Río Mariño de la Provincia de Abancay – Apurímac, año 2017”

N°	IMAGEN	SENSOR	FECHA DE ADQUISICION	FUENTE
07	Landsat - 5	TM	05 de agosto 2004	USGS



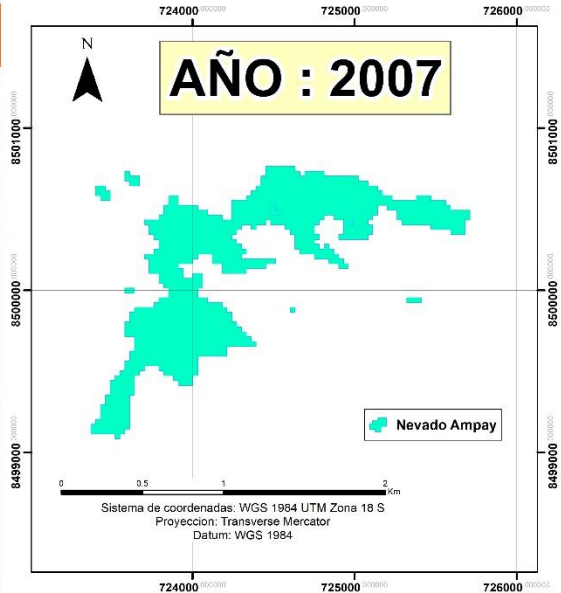
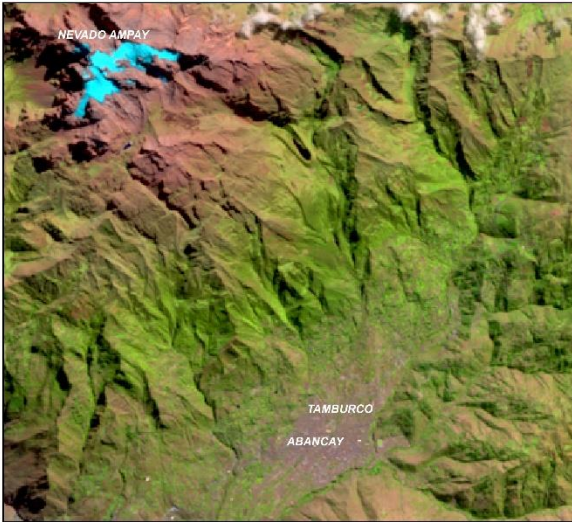
CUADRO DE AREA	
AREA - Km ²	PERIMETRO - m
1.78	49,800.00



**UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
FILIAL ABANCAY**

"Evaluación de la disponibilidad hídrica glaciar del Nevado Ampay en los periodos de 1986 al 2017 y con una tendencia al 2050 en la Microcuenca del Rio Mariño de la Provincia de Abancay – Apurímac, año 2017"

N°	IMAGEN	SENSOR	FECHA DE ADQUISICION	FUENTE
08	Landsat - 5	TM	11 de junio 2007	USGS



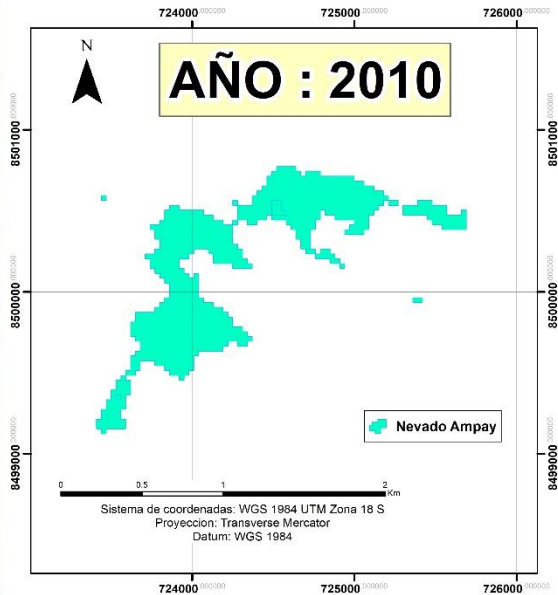
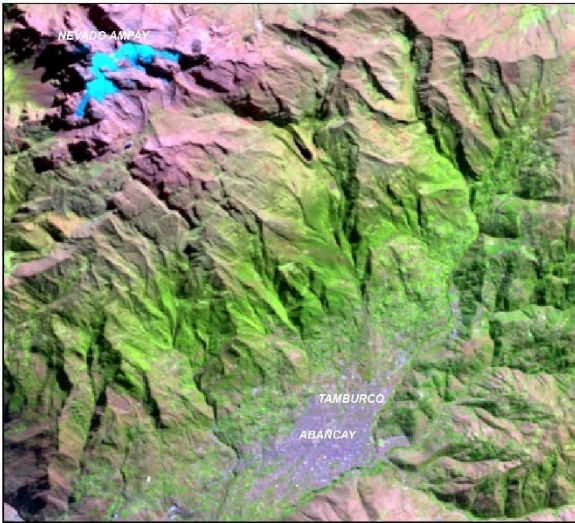
CUADRO DE AREA	
AREA - Km ²	PERIMETRO - m
0.97	15,180.00



**UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
FILIAL ABANCAY**

"Evaluación de la disponibilidad hídrica glaciar del Nevado Ampay en los periodos de 1986 al 2017 y con una tendencia al 2050 en la Microcuenca del Rio Mariño de la Provincia de Abancay – Apurímac, año 2017"

N°	IMAGEN	SENSOR	FECHA DE ADQUISICION	FUENTE
09	Landsat - 5	TM	05 de julio 2010	USGS



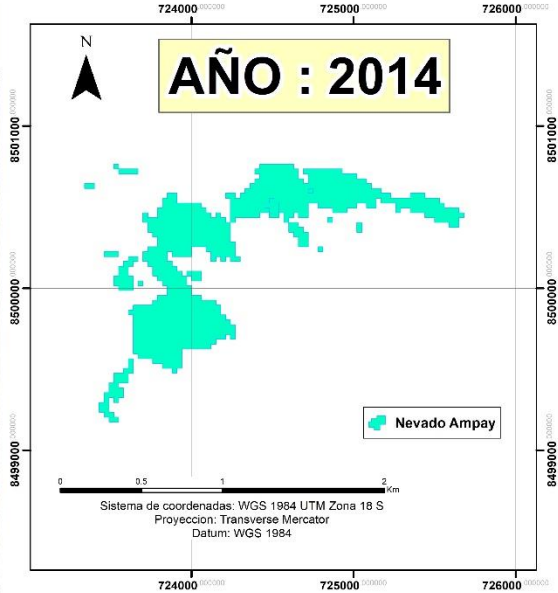
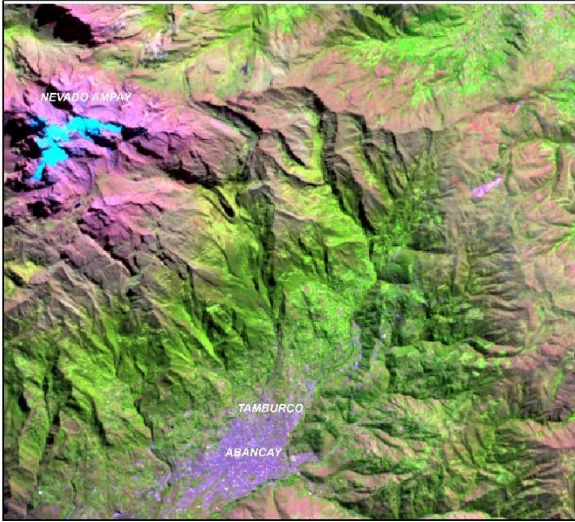
CUADRO DE AREA	
AREA - Km ²	PERIMETRO - m
0.74	13,980.00



**UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
FILIAL ABANCAY**

"Evaluación de la disponibilidad hídrica glaciar del Nevado Ampay en los periodos de 1986 al 2017 y con una tendencia al 2050 en la Microcuenca del Rio Mariño de la Provincia de Abancay – Apurímac, año 2017"

N°	IMAGEN	SENSOR	FECHA DE ADQUISICION	FUENTE
10	Landsat - 8	TM	09 de agosto 2014	USGS



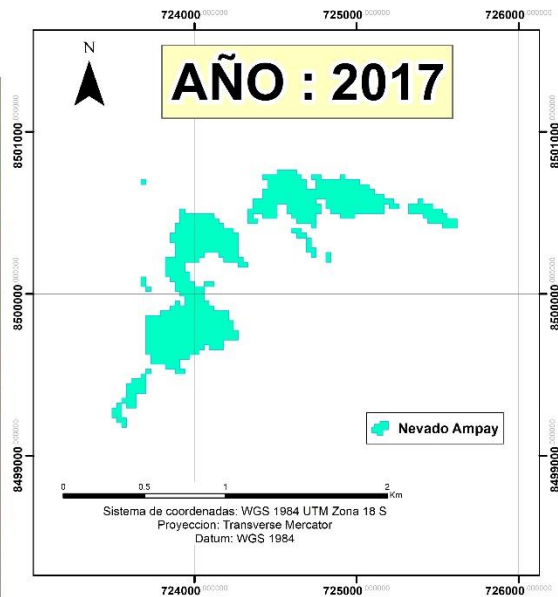
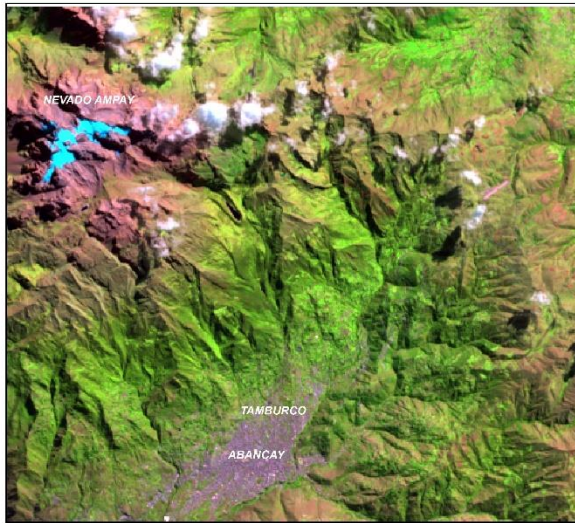
CUADRO DE AREA	
AREA - Km ²	PERIMETRO - m
0.72	15,780.00



**UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
FILIAL ABANCAY**

"Evaluación de la disponibilidad hídrica glaciar del Nevado Ampay en los periodos de 1986 al 2017 y con una tendencia al 2050 en la Microcuenca del Rio Mariño de la Provincia de Abancay – Apurímac, año 2017"

N°	IMAGEN	SENSOR	FECHA DE ADQUISICION	FUENTE
11	Landsat - 5	TM	25 de agosto 2017	USGS



CUADRO DE AREA

AREA - Km ²	PERIMETRO - m
0.54	12,000.00



**UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
FILIAL ABANCAY**

"Evaluación de la disponibilidad hídrica glaciar del Nevado Ampay en los periodos de 1986 al 2017 y con una tendencia al 2050 en la Microcuenca del Rio Mariño de la Provincia de Abancay – Apurímac, año 2017"

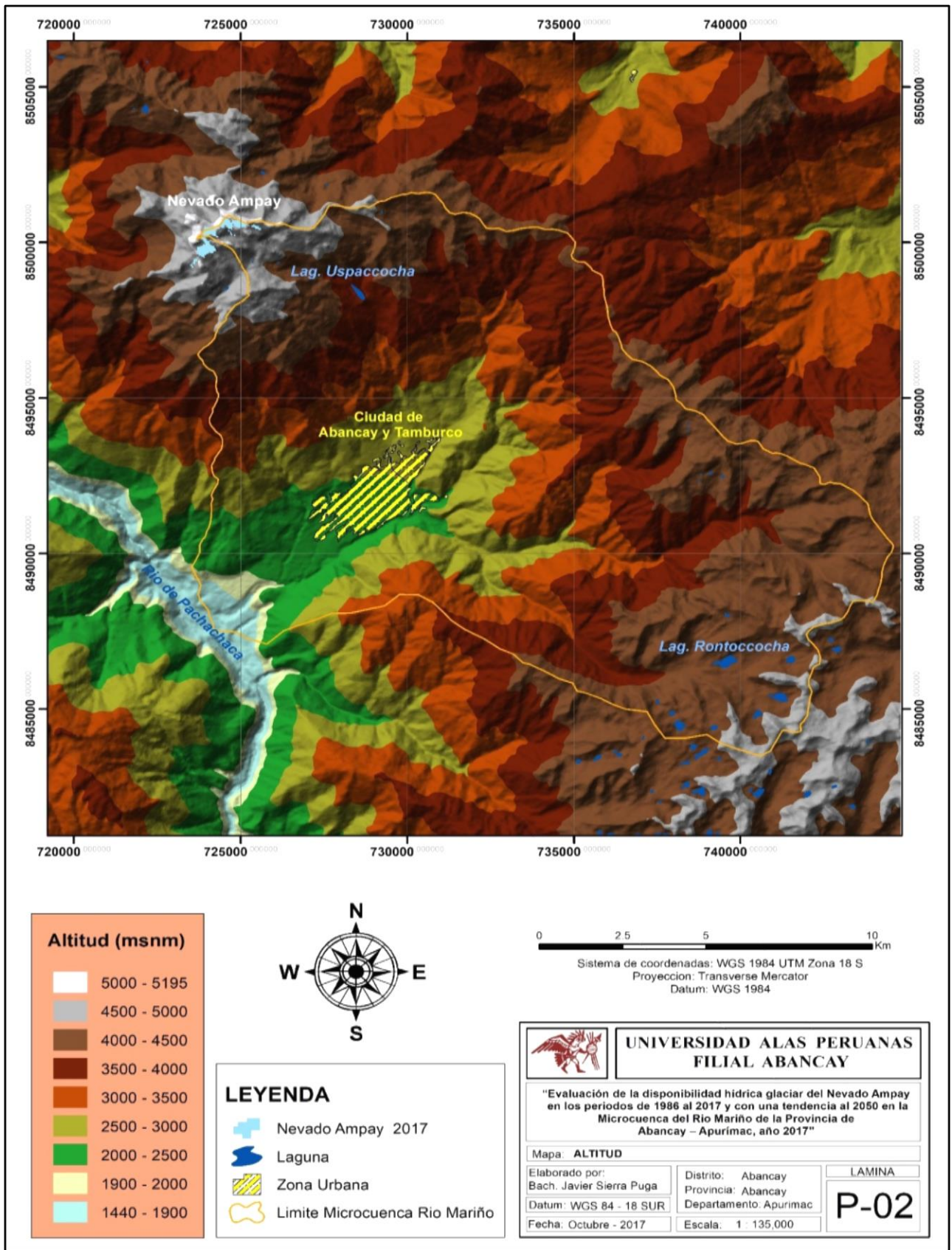


Figura 18. Mapa de altitudes

Fuente: Elaboración propia

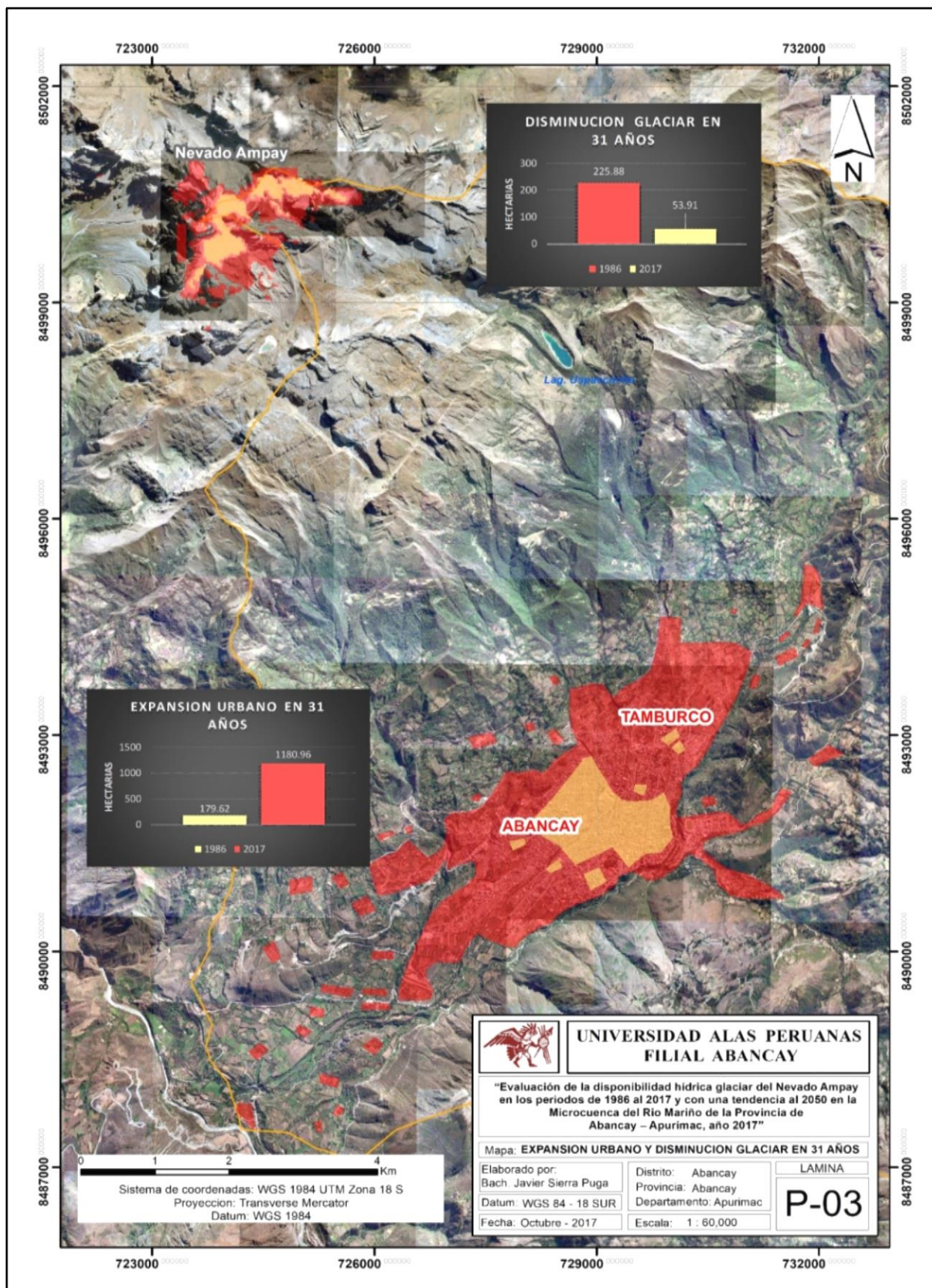


Figura 19. Expansión urbana y disminución glaciar

Fuente: Elaboración propia

a. Equipo técnico para el diagnostico del glaciar del Nevado Ampay



b. Entrada principal al Nevado Ampay



c. Altura del grosor de la capa del glaciar del Nevado Ampay



d. Perforación de la capa del glaciar del Nevado Ampay



e. Formación de capas según periodos del Nevado Ampay

f. Retroceso glaciar de la entrada al Nevado Ampay



g. Zonas rocosas total mente desnudas del Nevado Ampay

h. Zona de abra y letrero de entrada al Nevado Ampay



