



**VICERRECTORADO ACADÉMICO
ESCUELA DE POSGRADO**

TESIS

**APLICACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN EN LA
DESGLACIACIÓN DEL NEVADO DEL AMPAY RELACIONADO
AL CAMBIO CLIMÁTICO ENTRE 1980 - 2015**

PRESENTADO POR:

Bach. WALQUER HUACANI CALSIN

PARA OPTAR EL GRADO DE

MAESTRO EN MINERÍA Y MEDIO AMBIENTE

ABANCAY – PERÚ

2019



VICERRECTORADO ACADÉMICO

ESCUELA DE POSGRADO

TESIS

**APLICACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN EN LA
DESGLACIACIÓN DEL NEVADO DEL AMPAY RELACIONADO
AL CAMBIO CLIMÁTICO ENTRE 1980 - 2015**

**LINEA DE INVESTIGACIÓN
INGENIERÍA Y TECNOLOGIA**

ASESOR

Dr. EDGAR ZENÓN VILCA MANSILLA

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mis padres, esposa e hijos, por ser la motivación de mi vida.

AGRADECIMIENTO

A mis docentes de la maestría en
Minería y Medio Ambiente.

RECONOCIMIENTO

Hago el reconocimiento más sincero a la Escuela de Post Grado de la Universidad **Alas Peruanas** y a sus autoridades que la conducen, a los Docentes de la Escuela de Post Grado por impartir sus conocimientos y brindar la oportunidad de seguir estudios de Post Grado a muchos profesionales del campo educativo, de igual forma a mi asesor externo por brindarme las facilidades.

Finalmente, hago reconocimiento a todas las personas, investigadores e instituciones que publican información actualizada de rigor científico, permitiendo que los usuarios accedan en la red para poder ampliar y extraer información valiosa, que ha de servir para seguir investigando.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CONTENIDO	PÁG.
.CAPÍTULO I	1
PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	1
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA.....	1
1.2. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.2.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL.	2
1.2.2. DELIMITACIÓN TEMPORAL.....	3
1.2.3. DELIMITACIÓN SOCIAL.....	3
1.2.4. DELIMITACIÓN CONCEPTUAL.....	3
1.3. PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN	3
1.3.1. PROBLEMA PRINCIPAL.....	3
1.3.2. PROBLEMAS SECUNDARIOS.....	3
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	4
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.5. HIPÓTESIS Y VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL.....	4
1.5.2. HIPÓTESIS SECUNDARIAS.....	4
1.5.3. VARIABLES (DEFINICIÓN CONCEPTUAL Y OPERACIONAL).....	5
1.5.3.1. DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE VARIABLE INDEPENDIENTE.	5
1.5.3.2. DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE VARIABLE DEPENDIENTE... 5	
1.5.3.3. DEFINICIÓN OPERACIONAL.....	6
1.6. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN Y DE TRABAJO.....	9
1.6.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	9
1.6.2. MÉTODO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	9
1.6.3. PLOBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN	11
1.6.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS....	11
1.7. JUSTIFICACIÓN, IMPORTANCIA Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	20
CAPÍTULO II.....	23

MARCO TEÓRICO	23
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	23
2.1.1 A NIVEL INTERNACIONAL	23
2.1.2 A NIVEL NACIONAL	26
2.1.3 A NIVEL LOCAL	29
2.2 BASES TEÓRICAS	31
2.2.1 RETROCESO GLACIAR	31
2.2.1.1 FORMACIÓN DE UN GLACIAR	31
2.2.1.2 DESCRIPCIÓN DEL NEVADO DEL AMPAY	31
2.2.1.3 RETROCESO DE LOS GLACIARES EN EL PERÚ	32
2.2.1.4 ÁREA DE LOS GLACIARES Y EL CAMBIO CLIMÁTICO	33
2.2.1.5 ESTADO DE LOS GLACIARES EN EL TIEMPO	34
2.2.2 CAMBIO CLIMÁTICO	34
2.2.2.1 CAMBIO CLIMÁTICO A TRAVÉS DEL TIEMPO.	34
2.2.2.2 CLIMATOLOGÍA ALTO ANDINA Y DE LA REGIÓN.	37
2.2.2.3 EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA REGIÓN ALTO ANDINA	39
2.2.2.4 EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LOS GLACIARES ANDINOS.	40
2.2.2.5 EL CAMBIO CLIMÁTICO Y PROCESOS HIDROGEOMORFOLÓGICOS Y RIESGOS ASOCIADOS EN EL DISTRITO DE ABANCAY.	40
2.2.2.6 EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA TEMPERATURA.	44
2.2.2.7 EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA PRECIPITACIÓN.	44
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	45
.CAPÍTULO III.....	49
PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	49
3.1. ANÁLISIS DE TABLAS Y GRÁFICOS	50
3.1.1. RESULTADOS DE LA VARIABLE CAMBIO CLIMÁTICO	50
3.1.2. RESULTADOS DE LA VARIABLE DESGLACIACIÓN DEL NEVADO	55
3.1.3. DE LA CORRELACIÓN ENTRE DESGLACIACIÓN DEL GLACIAR Y CAMBIO CLIMÁTICO	60
3.1.4. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL TIEMPO	64
3.2. CONCLUSIONES	66

3.3.	RECOMENDACIONES	67
3.4.	FUENTES DE INFORMACIÓN.....	68

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	<i>Operacionalización de variables</i>	8
Tabla 2	<i>Variación del coeficiente de correlación</i>	20
Tabla 3	<i>Evolución del clima en cada uno de los periodos</i>	35
Tabla 4	<i>Estadística Descriptiva entre superficie glaciar y temperatura media anual.</i> ..	51
Tabla 5	<i>Matriz de correlaciones entre temperatura media anual y superficie glaciar.</i>	51
Tabla 6	<i>Parámetros del modelo</i>	52
Tabla 7	<i>Estadística descriptiva entre superficie glaciar y precipitación acumulada.</i> ...	53
Tabla 8	<i>Matriz de correlaciones entre precipitación acumulada y superficie glaciar.</i> ...	53
Tabla 9	<i>Parámetros del modelo de la superficie del glaciar.</i>	54
Tabla 10	<i>Áreas de la cobertura glaciar del periodo de 1980 – 2015.</i>	55
Tabla 11	<i>Áreas de la cobertura glaciar del periodo de 1980 – 2015 y tasa de retroceso.</i>	57
Tabla 12	<i>Estadístico descriptivo entre superficie glaciar y el periodo (años).</i>	59
Tabla 13	<i>Matriz de correlaciones entre los años y superficie glaciar.</i>	59
Tabla 14	<i>Parámetros del modelo de la superficie del glaciar.</i>	59
Tabla 15	<i>Correlación según Pearson área glaciar con respecto a los años 1980-2015.</i>	61
Tabla 16	<i>Correlación según Pearson área glaciar con la temperatura media anual.</i> ...	61
Tabla 17	<i>Correlación según Pearson área glaciar con la precipitación acumulada anual.</i>	62
Tabla 18	<i>Estadística de muestras relacionadas temperatura media anual y precipitación acumulada anual.</i>	63
Tabla 19	<i>Prueba de significancia para dos muestras relacionadas.</i>	63
Tabla 20	<i>Escenario futuro del glaciar (2018 – 2050).</i>	65

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Ubicación del Nevado del Ampay	2
<i>Figura 2.</i> Diagrama de flujo de metodología.....	10
<i>Figura 3.</i> Corrección atmosférica y radiométrica utilizando la herramienta GEOBIA de imágenes Landsat.....	15
<i>Figura 4.</i> Composición de las bandas 4, 5,7 de imágenes Landsat.	16
<i>Figura 5.</i> Aplicación de la metodología de Dozier utilizando el software ArcGIS	16
<i>Figura 6.</i> Clasificación de las imágenes sometidas a la metodología de Dozier.....	17
<i>Figura 7.</i> Selección de áreas pequeñas para hacer la limpieza utilizando la eliminación dentro del programa ArcGIS.....	17
<i>Figura 8.</i> Selección de áreas pequeñas para la eliminación se efectúa la disolución de dichas áreas eliminadas.....	18
<i>Figura 9.</i> Ploteo final según años.	18
<i>Figura 10:</i> Localización de la Laguna Ushpacchocha en las laderas del nevado Ampay que drenan al valle de Abancay.	42
<i>Figura 11:</i> Vista panorámica del deslizamiento Cocha Pumararra ubicado en la margen derecha del río Colcaqui, afluente del río Mariño.	43
<i>Figura 12:</i> Foto del huayco, http://www.larepublica.pe :	43
<i>Figura 13:</i> Representa la temperatura media anual en diagrama de barras correspondientes a los años (1980 – 2015).....	50
<i>Figura 14:</i> Representa la precipitación acumulada anual en diagrama de barras correspondientes a los años (1980 – 2015).	51
<i>Figura 15.</i> Representa la regresión lineal de la superficie glaciar con respecto a la temperatura media anual.	52
<i>Figura 16.</i> Representa la regresión lineal de la superficie glaciar con respecto a la precipitación acumulada.	54
<i>Figura 17.</i> Evolución de retroceso del glaciar de Ampay entre los años 1980 – 2015..	56
<i>Figura 18.</i> Representa el área de la cubierta del glaciar en diagrama de barras correspondientes a los años (1980 – 2015).	58
<i>Figura 19.</i> Correlaciones entre la superficie del glaciar con respecto al tiempo.....	60
<i>Figura 20.</i> Prueba de t de Student de las muestras relacionadas de temperatura media anual y la precipitación acumulada.....	64

LISTA DE ACRÓNIMOS

ANA Autoridad Nacional del Agua

CC Cambio Climático

CIIFEN Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño

CMNUCC Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

EE UU Estados Unidos

ENSO El Niño Oscilación del Sur

IIUR Instituto de Investigación Universidad y Región

IPCC Panel Intergubernamental Sobre el Cambio Climático

INGEMMET Instituto Geográfico Militar

INAIGEM Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña

MINEDU Ministerio de Educación

NDSI Índice de Nieve de Diferencia Normalizada

SENAMHI Servicio Nacional de Meteorología y Hidrología del Perú

SIG Sistema de Información Geográfica

OMM Organización Mundial de la Meteorología

UGRH Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos

RESUMEN

En las últimas décadas los glaciares están en proceso de retroceso debido al cambio climático.

El objetivo de la Investigación es estimar el retroceso glaciar del nevado del Ampay debido al cambio climático, por medio de observación sobre imagen de satélite Landsat entre los años 1980 al 2015.

Los datos fueron obtenidos mediante una clasificación no supervisada de imágenes de satélite, el método usado en la determinación de la cubierta nival es mediante la técnica propuesta por Dozier (NDSI), del cálculo del índice espectral de nieve/hielo, con los canales de banda de imágenes de satélite Landsat 4, 5 y 8 respectivamente.

El tratamiento consistió en aplicar la estadística descriptiva, para describir las variables, la estadística inferencial para establecer la correlación de Pearson y probar la hipótesis haciendo uso del coeficiente de Student.

Los resultados del estudio permiten concluir que existe una correlación positiva media de $r= 0.417$ entre el retroceso área glaciar y la variable del Cambio climático (temperatura media anual). Finalmente se concluye que existe un retroceso de la superficie del nevado del Ampay en un 41.689%, ubicado en la provincia de Abancay, región de Apurímac.

Palabras clave: Cambio climático, landsat, retroceso glaciar, satélite.

ABSTRACT

In recent decades, glaciers are in the process of retreat due to climate change.

The objective of the research is to estimate the glacial retreat of the Ampay snowcapped due to climate change, by means of observation on Landsat satellite image between 1980 and 2015.

The data was obtained through an unsupervised classification of satellite images, the method used in the determination of the snow cover is by the technique proposed by Dozier (NDSI), of the calculation of the snow / ice spectral index, with the band channels of Landsat satellite images 4, 5 and 8 respectively.

The treatment consisted in applying the descriptive statistics, to describe the variables, the inferential statistics to establish the Pearson correlation and to test the hypothesis using the Student's coefficient.

The results of the study allow us to conclude that there is a mean positive correlation of $r = 0.417$ between the glacial retreat and the annual mean temperature variable. Finally it is concluded that there is a setback of the surface of the Ampay snowfall in 41.689%, located in the province of Abancay, Apurímac region.

Key words: Climatic change, landsat, regression glacier, satellite.

INTRODUCCIÓN

El presente estudio de investigación pretende, a través de la Teledetección realizar un análisis multitemporal que sirve para evaluar y cuantificar la dinámica temporal que han seguido el nevado del Ampay, analizando su desglaciación en el tiempo, para un período comprendido entre los años 1980 y 2015.

El estudio de la desglaciación de los glaciares permite tener una idea clara de la dinámica del clima en el planeta. Se les considera como indicadores del cambio climático. Factores como el incremento de la temperatura global y la disminución del volumen de precipitaciones son en esencia, las principales causas del retroceso de los glaciares.

El cambio climático ha generado un aumento de la temperatura en casi todas las partes de la Tierra entre 0,3 y 0,5°C por década entre 1901 y 2005. Como consecuencia, hay un retroceso de los glaciares observado en los Andes Centrales (Perú, Bolivia, Ecuador, Colombia y Venezuela).

El impacto más relevante y estudiado en la actualidad es el Cambio Climático, proceso que ha involucrado, según la mayoría de los científicos, un aumento sostenido y evidente de las temperaturas medias del planeta, lo que podría potencialmente generar un aumento en el nivel medio de los mares y océanos y un derretimiento y disminución de los glaciares.

El presente estudio de investigación queda estructurado en tres capítulos.

Capítulo I: Comprende el planteamiento metodológico, describiendo los problemas. Así mismo también el método de investigación realizada.

Capítulo II: Entrega información sobre el marco teórico, como los antecedentes de la investigación y las bases teóricas como sustento de la investigación.

Capítulo III: La cual tiene como intención ofrecer la presentación, análisis e interpretación de los resultados.

Finalmente, el nevado del Ampay existente ha sido escasamente investigado en el pasado y no existen mayores antecedentes actuales sobre su desglaciación.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA.

En las últimas décadas, los tres sistemas de cordilleras que tiene nuestro país, está sufriendo un retroceso de las masas de hielo debido al cambio climático. Pero este proceso está siendo acelerado por la actividad antrópica debido a la no conservación que se le debe tener a los glaciares, el aumento de la temperatura del planeta viene acelerando el retroceso de los glaciares en el mundo y nuestras cumbres nevadas no son ajenas a este devastador proceso. Los glaciares son un componente esencial del sistema climático, que almacenan cerca del 75% del agua dulce del mundo. 99.5% de los glaciares son glaciares continentales, mientras que los glaciares de montaña restante 0,5%. Sin embargo, en términos de agua utilizable, los glaciares de montaña son más importantes debido a su proximidad. (Singh et al., 2006).

Según el Ministerio del Ambiente (MINAN, 2014), el Perú concentran el 71% de los glaciares tropicales del mundo y, en la actualidad, existe un preocupante retroceso de estos glaciares, pues en los últimos 30 años se ha perdido el 22% de su superficie, lo que ha generado la pérdida de más de 12 mil millones de metros cúbicos de agua, también afirma que en los próximos diez años podrían desaparecer los glaciares que están ubicados debajo de 5.000 m.s.n.m., es decir que para el 2030, las aguas de la vertiente del Océano Pacífico disminuirían en 6%.

Los 0.75°C adicionales en los últimos cien años, a causa de la contaminación, han provocado a la fecha la desaparición de una de nuestras cordilleras y amenaza con extinguir a cinco más de las 19 que nos quedan en los siguientes 15 o 20 años, advierte el ingeniero Nelson Santillán, de la Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos de la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2014).

El Glaciar Ampay, en el inventario de 1970 contaba con una superficie de 1,03 km² y al 2016, según estimaciones del Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM, 2016) cuenta tan solo con 0,47 km²; es decir, en un período de 46 años la pérdida de superficie glaciar es de 0,56 km², equivalente al 54%; esto conlleva a estimar que, en un periodo de tiempo muy corto, este glaciar podría extinguirse.

1.2. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL.

El glaciar se halla ubicado dentro del Santuario Nacional de Ampay, Distrito de Tamburco, Provincia de Abancay, Región de Apurímac, geográficamente se encuentra entre las coordenadas 13°33' Latitud Sur y 72°51' Longitud Oeste. (Anexo lámina 02)

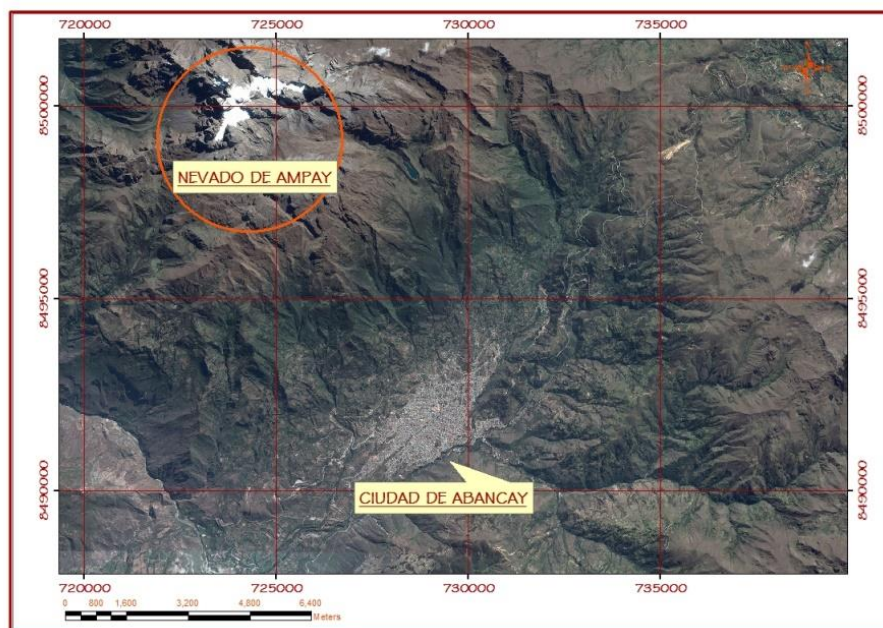


Figura 1. Ubicación del Nevado del Ampay.

1.2.2. DELIMITACIÓN TEMPORAL.

Esta investigación comprende en determinar el retroceso del nevado del Ampay en el periodo 1980 al 2015 y pronosticar el futuro del nevado del Ampay.

1.2.3. DELIMITACIÓN SOCIAL.

Dada la amplitud de extensión de glaciares que están en proceso de retroceso, nos centraremos solo en el análisis y estudio del deshielo, perteneciente al Santuario Nacional del Ampay, el cual será de mucha preocupación para la población, durante la estación seca contribuyen al escurrimiento superficial de agua a la microcuenca del rio Mariño.

1.2.4. DELIMITACIÓN CONCEPTUAL.

En este proyecto de investigación se tratará los conceptos fundamentales de desglaciación del nevado que son variaciones de la masa glaciaria, provocado por el accionar del cambio climático (Colonia y Torres, 2013) y analizar las variables de precipitación acumulada y temperatura media anual que influyen en el retroceso de la superficie del nevado del Ampay.

1.3. PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN

1.3.1. PROBLEMA PRINCIPAL.

- ¿En qué medida la teledetección permite conocer la desglaciación del nevado del Ampay debido al Cambio Climático, en el periodo 1980 -2015?

1.3.2. PROBLEMAS SECUNDARIOS.

- ¿Cuál es la situación del Cambio Climático en el nevado del Ampay en el periodo 1980 - 2015?
- ¿Cuál es la situación de la desglaciación del Ampay en el periodo 1980 - 2015?
- ¿De qué manera se relaciona el Cambio Climático en el área del nevado del Ampay en el periodo 1980 - 2015?
- ¿Qué efectos produce la influencia del Cambio Climático en el tiempo, en el nevado del Ampay?

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. OBJETIVO GENERAL.

- Determinar la medida que permite conocer la teledetección en la desglaciación del nevado del Ampay debido al Cambio Climático, en el periodo 1980 – 2015.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Determinar la situación del Cambio Climático en el nevado del Ampay en el periodo 1980 - 2015.
- Analizar la situación de la desglaciación del nevado del Ampay en el periodo 1980 – 2015.
- Establecer la relación del Cambio Climático en el área del nevado del Ampay en el periodo 1980 – 2015?
- Determinar los efectos que produce el Cambio Climático en el tiempo, en el nevado del Ampay.

1.5. HIPÓTESIS Y VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL.

- La teledetección permite conocer la desglaciación del nevado del Ampay debido al Cambio Climático, en el periodo 1980 – 2015.

1.5.2. HIPÓTESIS SECUNDARIAS.

- El cambio Climático influye significativamente en el área de desglaciación del nevado Ampay en el período 1980 - 2015.
- El Cambio Climático produce efectos en el tiempo en la desglaciación del nevado del Ampay.

1.5.3. VARIABLES (DEFINICIÓN CONCEPTUAL Y OPERACIONAL).

Variables:

Variable Independiente: Cambio climático

Variable Dependiente: Desglaciación del nevado

1.5.3.1. Definición conceptual de variable independiente.

Cambio climático

Cambio climático variación del estado del clima identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos externos tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o cambios antropógenos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso del suelo. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC 1992), en su artículo 1, define el cambio climático como “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”. La CMNUCC diferencia, pues, entre el cambio climático atribuible a las actividades humanas que alteran la composición atmosférica y la variabilidad climática atribuible a causas naturales.

1.5.3.2. Definición conceptual de variable dependiente.

Desglaciación

Se conoce como desglaciación a la reducción de la masa de hielo de la zona de acumulación de glaciación, al ascenso de la línea inferior de las nieves persistentes de alta montaña cada vez a mayor altitud, hasta desaparecer por completo en muchos casos como consecuencia del deshielo o fusión glaciación. Entre las causas concurrentes en la fusión glaciación acelerada y el consecuente retroceso, adelgazamiento del espesor, disminución de la extensión y el volumen de la masa glaciación, pueden mencionarse:

a) Los cambios climáticos globales experimentados en las últimas décadas del presente siglo, que se manifiestan en el incremento de CO₂ y de la temperatura, siendo la actividad industrial, el proceso del urbanismo y el aumento del sistema de transporte, entre otros, los factores que han contribuido a la generación de los cambios climáticos y, consecuentemente, al deshielo de los glaciares.

b) El efecto invernadero, otro de los factores que interviene en el cambio del clima, así como el fenómeno del Niño.

c) El adelgazamiento de la capa de ozono (O₃), que al permitir el paso de los rayos cósmicos incide en el retroceso de la superficie glaciaria.

d) La dinámica volcánica regional, como en el caso de la reactivación del volcán Sabancaya, que afecta la tropósfera, los glaciares y la flora y fauna de los geosistemas de Puna y Janca en decenas de kilómetros cuadrados. ... (Chancos J. 1995).

1.5.3.3. Definición operacional.

Según el informe del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (IPCC, 2007), cuya función es analizar la información científica, técnica y socioeconómica relevante para entender el riesgo que supone el cambio climático provocado por la actividad humana, publicado en el año 2007 destaca que el promedio de la temperatura global durante los últimos 10 años (1995-2005) aumentó en un 0,74°C y que la cubierta de hielos permanentes y de nieve ha decrecido a escala global. (IPCC, 2007).

“El calentamiento global es el aumento de la temperatura media global que se ha producido durante el último siglo”. (IPCC, 2007). La principal causa de este aumento de la temperatura media es la revolución industrial. Cuando los agentes contaminantes retienen el calor en la atmósfera de la tierra, aumenta la temperatura global. El llamado efecto invernadero tiene lugar cuando ciertos gases presentes en la atmósfera de la tierra retienen calor. (IPCC, 2007)

El aumento de la temperatura media global de entre 1,1°C y 6,4°C al 2010, se debe en un 90% al incremento observado de las concentraciones de gas de efecto invernadero, fenómeno por el cual determinados gases retienen parte de los gases que el

suelo emite por haber sido calentado por la radiación solar (Boletín Antártico Chileno, 2008).

Los factores que afectan los cambios de temperatura media de la tierra y el cambio climático son los cambios en el desnivel del mar, los efectos de las nubes, la emisión de aerosoles a la atmósfera, aumento en las emisiones de dióxido de carbono, gas metano, hidratos de metano. Además, los cambios de reflexión terrestres y los cambios en el campo magnético exterior (Miller, 2007). El citado autor indica que otros factores son la contaminación del aire, los cambios en el hielo polar, el contenido en vapor de agua y la cantidad de cobertura de nubes y la cantidad de energía solar que alcanza la Tierra.

El informe de IPCC (2002) cambio climático y biodiversidad indica que los cambios esperados en el clima incluyen el aumento de las temperaturas, cambios en las precipitaciones, la elevación del nivel del mar y la creciente frecuencia e intensidad de fenómenos climáticos extremos que producen mayor variabilidad climática. Otros cambios en el clima según el informe es que la composición de la atmósfera está cambiando, debido a las crecientes concentraciones de gases de efecto invernadero, como el CO₂ y el metano (CH₄).

Para este trabajo de investigación se presenta el siguiente cuadro:

Tabla 1
Operacionalización de variables

VARIABLES	D. CONCEPTUAL	D. OPERACIONAL	DIMENSION	INDICADOR	INSTRUMENTOS
Independiente. 1. Cambio Climático	Según la (CMNUCC 1992), es la variación del estado del clima atribuido directa o indirectamente por la actividad humana que altera la composición de la atmosfera.	Verificación de los cambios acelerados en el clima. .Disminución del volumen de las precipitaciones pluviales	1.1. Variación de la temperatura	Temperatura media anual en (°C.)	1.1.1. Instrumentos de medición de Temperatura 1.1.2. Datos espaciales de Senamhi.
			1.2. Variación de la precipitación	Precipitaciones acumuladas. en (mm)	1.2.1. Instrumento de medición de precipitación. 1.2.2. Datos de Estaciones pluviométricas.
			2.1. Área (Extensión del nevado del Ampay)	Superficie del Nevado Ampay (Ha)	2.1.1. Técnica Teledetección.
					2.1.2. Método NDSI (Índice de nieve de diferencia normalizada)
Dependiente. 2. Desglaciación del Nevado	Es la reducción de la masa de hielo de la zona de acumulación del Glaciar como consecuencia del deshielo o fusión glaciar debido al Cambio Climático (Chancos J. 1995)	Cuantificación de la masa de hielo a partir de imagen satelital. Evaluación de la dinámica temporal del glaciar	2.2. Tiempo (Proyección del escenario futuro del nevado)	Fusión glaciar de la masa de hielo (Ha)	2.2.1. Modelos matemáticos 2.2.2. Segun (Alva,2005) $P_x = P_0 + \left(\frac{P_1 - P_0}{n}\right) * t$

1.6. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN Y DE TRABAJO

1.6.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.

a) TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de investigación es investigación aplicada, (Gómez, 2006, p. 15) porque se orienta a resolver problemas existentes, generando conocimiento.

b) NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El trabajo de investigación según su nivel o alcance es correlacional, se determinará el grado de relación entre las variables, (Arias, 2006; Hernández, Sampieri et al, 2014).

1.6.2. MÉTODO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

a) MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

El método de investigación es deductivo de enfoque cuantitativo (Gómez, 2006), porque se cuantificará y se aportará las evidencias y probar la hipótesis utilizando la estadística.

Para cuantificar se utilizaran las escenas de imagen Landsat (Path: 004; Row: 069) que son:

Landsat 4(MSS): canal 5 verde (0.6-0.7), canal 7 infrarroja (0.8-1.10).

Landsat 5(TM): canal 2 verde (0.52-0.60), canal 5 SWIR (1.55-1.75).

Landsat 8 (OLI): canal 3 verde (0.53-0.59), canal 6 SWIR 1(1.57-1.65).

Para la determinación de la evolución de la cobertura glaciar se utiliza el diseño del método del NDSI (Índice de Nieve de Diferencia Normalizada), propuesto por (Dozier, 1989).

Este método fue utilizado para el cartografiado de superficies glaciares (hielo); y su utilidad consiste en la eliminación de cuerpos de agua, nubes y nieve, el álgebra de bandas es el siguiente:

$$NDSI = \left(\frac{\text{canal 2} - \text{canal 5}}{\text{canal 2} + \text{canal 5}} \right) \quad (1)$$

b) DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de investigación es no experimental de enfoque cuantitativo de nivel correlacional (Gómez, 2006), porque se observa el fenómeno tal y como se dan en su contexto natural, para después analizarlo.

Tratamiento Multitemporal del nevado del Ampay

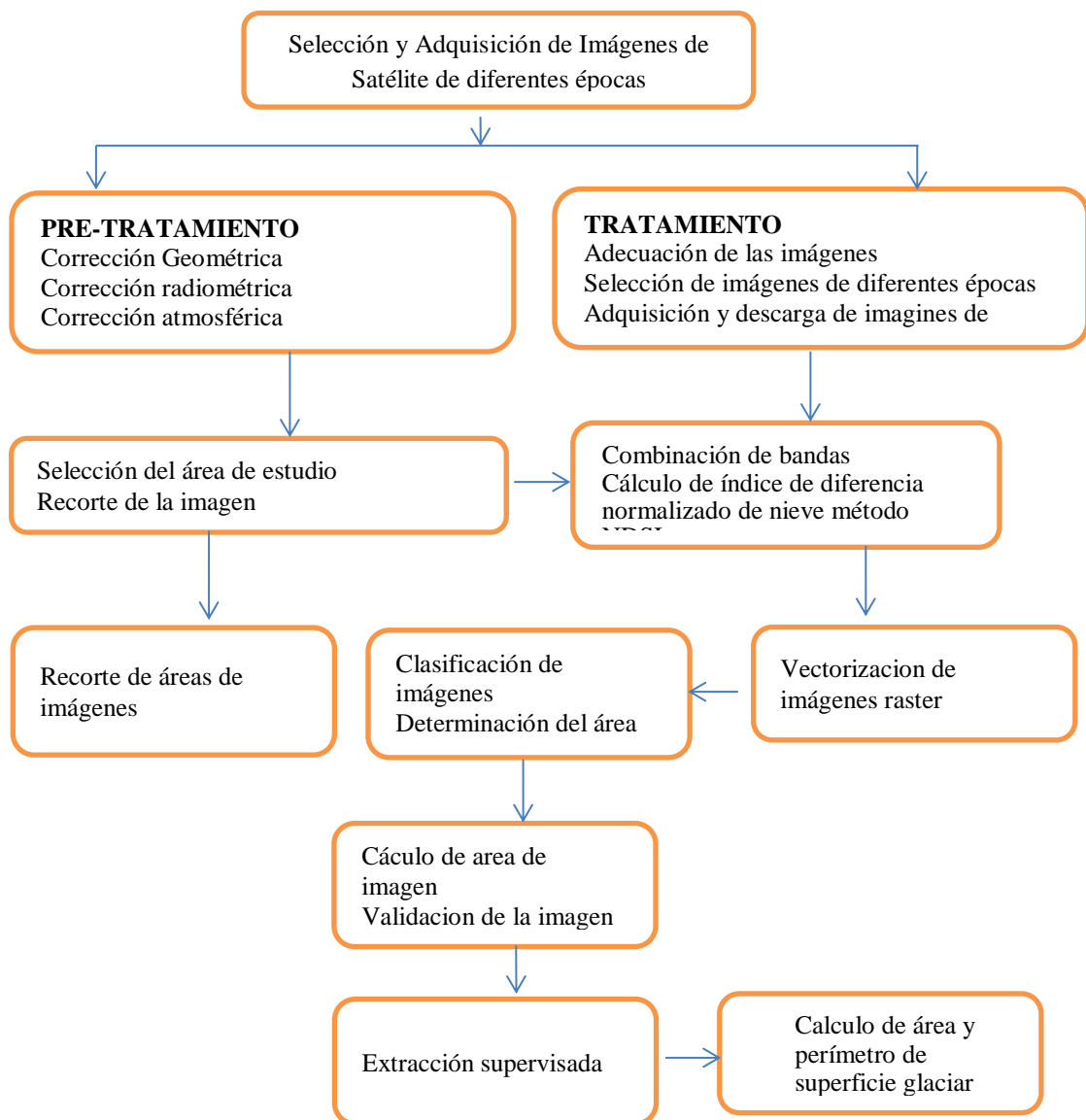


Figura 2. Diagrama de flujo de metodología.

1.6.3. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

a) POBLACIÓN

La población está constituida por los glaciares andinos de la cordillera Vilcabamba.

b) MUESTRA

Superficie del nevado del Ampay en los diferentes periodos de estudio.

1.6.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

a) TÉCNICAS

Técnicas de recolección de datos

Fuentes de información de teledetección

Las imágenes de satélite fueron obtenidas de las páginas de internet, de diferentes servidores y también los estudios similares al tema.

Para la recolección de datos de temperatura y precipitación se solicitó los datos de Senamhi.

Medición.

Primeramente para calcular el retroceso glaciar se procedió a descargar imágenes de satélite Landsat 4 MSS, Landsat 5 TM, y Landsat 8 OLI, se realiza una clasificación no supervisada de las imágenes de las bandas 4,5 y 8, que sirve para la obtención de un primer resultado, ya que los glaciares presentan una reflectancia relativamente homogénea (hielo/nieve) y con excelente contraste en relación a los elementos vacíos (suelo/roca). (Albert, 2002).

Se aplica una de las metodologías más ampliamente usadas en la determinación de la cubierta nival, la propuesta por (Dozier, J. 1989). La nieve y el hielo poseen rasgos que las distinguen de otras cubiertas, las cuales se pueden observar a partir de la visualización de las distintas bandas de los sensores MSS, TM y OLI. En las bandas del visible se pueden apreciar que las zonas nevadas poseen una alta reflectancia comparadas con las zonas circundantes no nevadas, pudiéndose distinguir los glaciares de las zonas con vegetación o del agua, pero no se pueden distinguir de las rocas desnudas, mientras que

en la banda del infrarrojo cercano y medio la reflectancia del hielo y del agua disminuye, distinguiéndose de las zonas de roca desnuda y de las nubes sigue siendo alta. (Alonso et al., 1969).

La metodología de Dozier (Ecuación 1) propone el cálculo de un índice normalizado usando el canal 2 (0,520-0,6 μm), y el canal 5 (1,550-1,750 μm) del satélite Landsat con sensor MSS y TM, atendiendo de esta forma a que la nieve en el espectro visible es muy reflexiva, siendo al contrario en el infrarrojo medio.

Del resultado obtenido, Dozier propone que se trate como cubierta nival cualquier celda que sea superior a un valor de 0,4 del índice NDSI (Índice de Nieve de Diferencia Normalizada).

Este valor que propone Dozier se considera una orientación, puesto que el valor del “NDSI” depende de múltiples factores, como puede ser el ángulo de elevación solar y las condiciones atmosféricas, así que mediante el tratamiento de las imágenes resultantes de la aplicación de este índice, se determinarán los intervalos para los cuales se diferencian los diferentes tipos de suelo.

b) INSTRUMENTOS

Validez y confiabilidad de los instrumentos.

Para la validación y confiabilidad de los instrumentos se ha realizado el pretratamiento y tratamiento de las imágenes y la extracción vectorial del área, estos fueron sometidos a una prueba estadística utilizando las áreas de glaciación y los datos de temperatura y la precipitación acumulada, para medir el nivel de consistencia de los resultados obtenidos se utilizó la correlación de r de Pearson, para las variables de cambio climático y desglaciación del nevado.

Así mismo para validar los instrumentos, medir la confiabilidad de la investigación y el grado de consistencia de los resultados obtenidos, se utilizó t de Student.

El resultado de la presente investigación se encuentra plasmado en el Capítulo III, en el que se describen todos los procesos, análisis, incidencias y demás datos técnicos de la investigación así como los resultados del estudio.

Método de análisis de datos

1. Búsqueda de datos:

Se realizó la búsqueda y descarga de Imágenes Landsat 4, Landsat 5 TM, Landsat 8, en el periodo de 1980-2015. Las imágenes fueron obtenidas entre los meses de mayo a agosto, porque en esas fechas se considera que la ablación de un glaciar es mayor, la presencia de nubes es poca y los cambios son significativos.

Se buscó información de datos climatológicos de archivos históricos de Senamhi relacionados a la variabilidad climática de temperatura media anual, precipitaciones acumuladas anuales en el periodo de 1980-2015

Se empleó un proceso computarizada, empleando software especializado como Microsoft Excel 2010 y el Paquete Estadístico para Ciencias Sociales (SPSS v.23), el Minitab v. 16, el software ArcGIS y otros.

2. Pre-tratamiento

Corrección geométrica, consiste en la distribución de puntos de control tomados en campo, para hacer el ajuste de georreferenciación, según la cartografía base peruana del Ministerio de Educación (MINEDU) a escala 1:100 000 y un modelo digital de elevación Aster GDEM (Aster Global Digital Elevation Model), imágenes estéreo recogidas por el radiómetro japonés llamado Aster, las cuales están disponibles sin cargo a los usuarios de todo el mundo a través de descargas electrónicas de satélite, se encuentran en formato Geo TIFF con coordenadas geográficas lat/long, con resolución espacial de 30 metros y hace referencia al geoide WGS84.

Corrección Radiométrica, consistió en calibrar las imágenes (niveles de radiancia y reflectancia) con sus respectivos archivos de cabecera según APN- SIB, 2005,

obteniendo de las imágenes la reflectancia aparente según la siguiente fórmula (Gyanesh, 2009):

$$P_{\lambda} = \frac{\pi * L_{\lambda} * d^2}{ESUN_{\lambda} * \cos \theta_s} \quad (2)$$

Dónde: P_{λ} = Reflectancia planetaria al tope de la atmósfera terrestre (TOA).

L_{λ} = Radiación espectral recibida por el sensor ($W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$)

d^2 = Factor que tiene en cuenta la variación de la distancia tierra – sol.

$ESUN_{\lambda}$ = Irradiación solar espectral al tope de la atmósfera ($W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$)

θ_s = Ángulo cenital solar (radianes)

Corrección Atmosférica, La radiación electromagnética captada por los sensores de los satélites atraviesa la atmósfera y es modificada por efecto de la dispersión debido a la interacción con las moléculas y partículas de la atmósfera. La dispersión Rayleigh es producida por las moléculas de los gases atmosféricos y es una de las principales causas de bruma, lo que genera una disminución del contraste de la imagen. El tamaño de las moléculas es inferior a la longitud de onda de la radiación y afecta a las longitudes de onda corta (Tagestad, 2000).

Para nuestro caso se realizó la corrección atmosférica y radiométrica de las imagen Landsat 8 con la extensión GEOBIA.

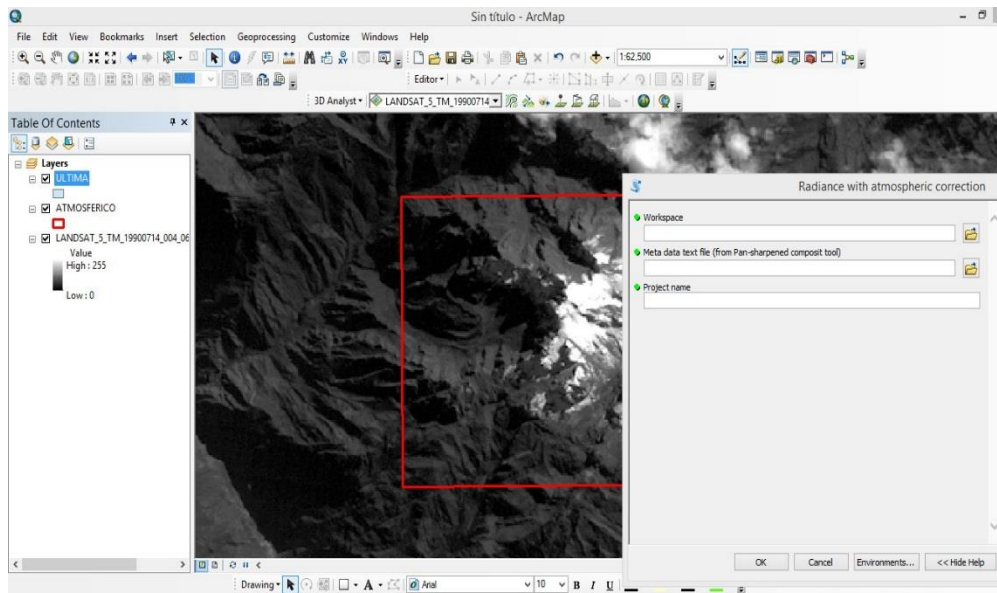


Figura 3. Corrección atmosférica y radiométrica utilizando la herramienta GEOBIA de imágenes Landsat.

c. Tratamiento.

Cálculo del Índice de Nieve/Hielo

El método de trabajo para el cálculo de la cobertura glaciaria se obtuvo según la clasificación no supervisada de coberturas (nieve/hielo), la cual empleó las bandas de mayor y menor respuesta espectral (los canales 2=espectro visible y 5= infrarrojo medio), a través del índice espectral de nieve/hielo (NDSI).

Para la aplicación de la metodología de Dozier, se hizo uso del software de Sistema de información geográfica (ArcGIS), para la cual se procedió de la siguiente forma:

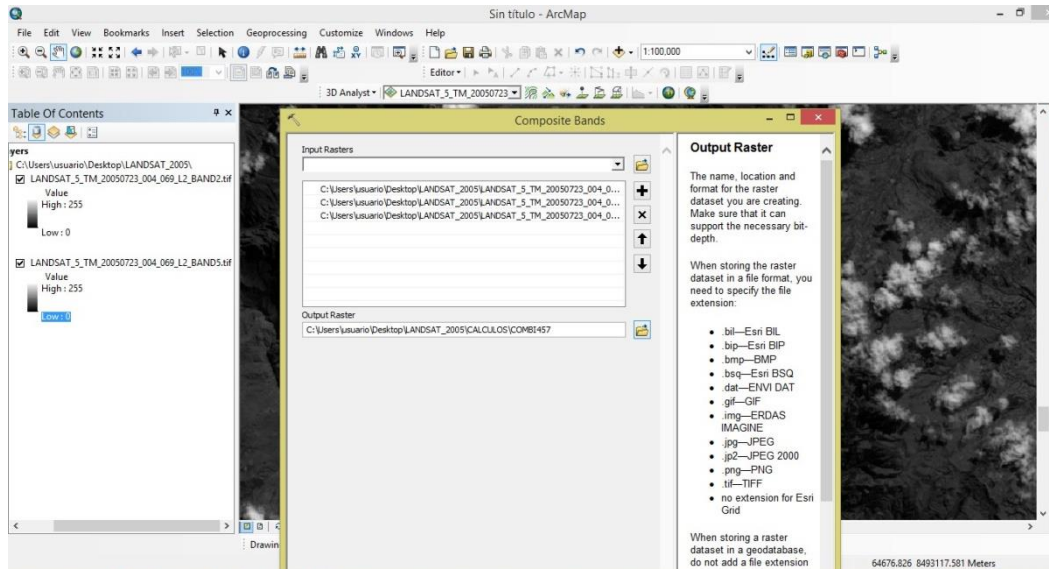


Figura 4. Composición de las bandas 4, 5, 7 de imágenes Landsat.

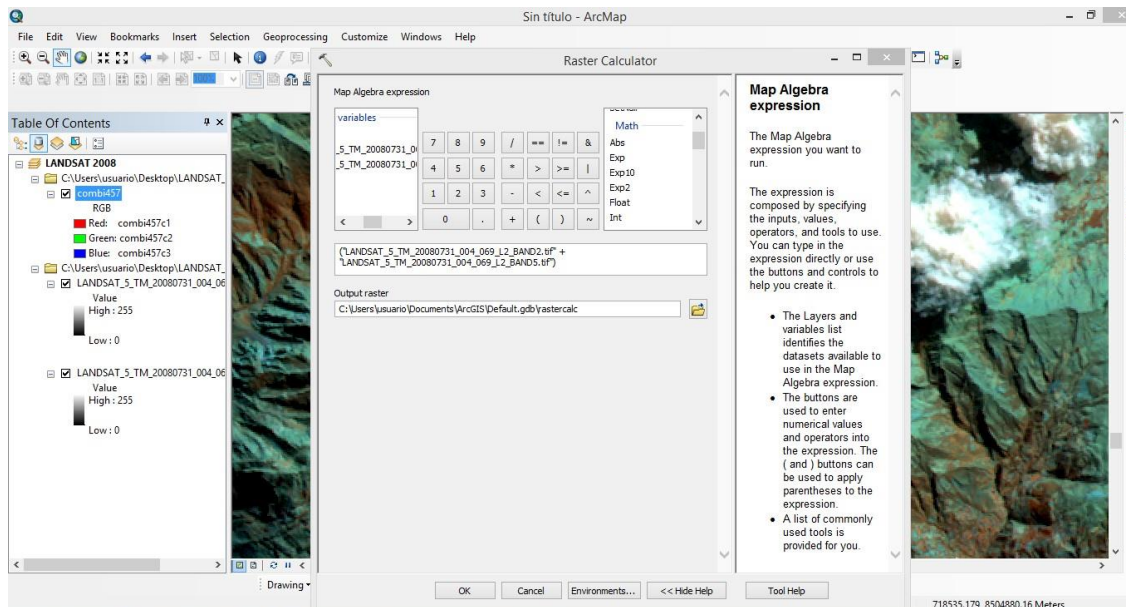


Figura 5. Aplicación de la metodología de Dozier utilizando el software ArcGIS, tal se muestra en la figura, las Bandas 2 y 5 de imágenes Landsat.

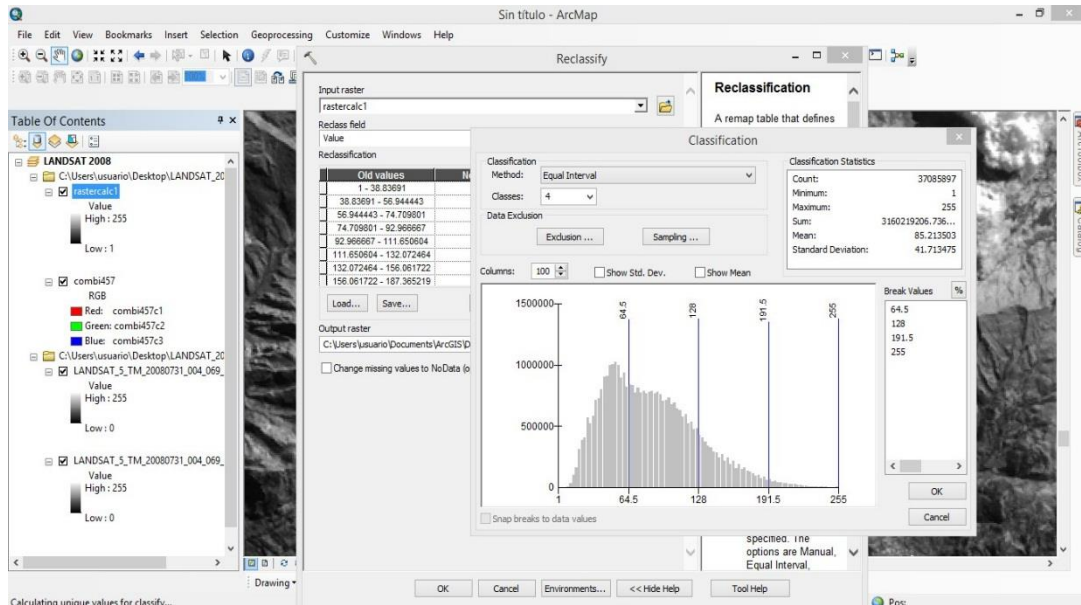


Figura 6. Clasificación de las imágenes sometidas a la metodología de Dozier.

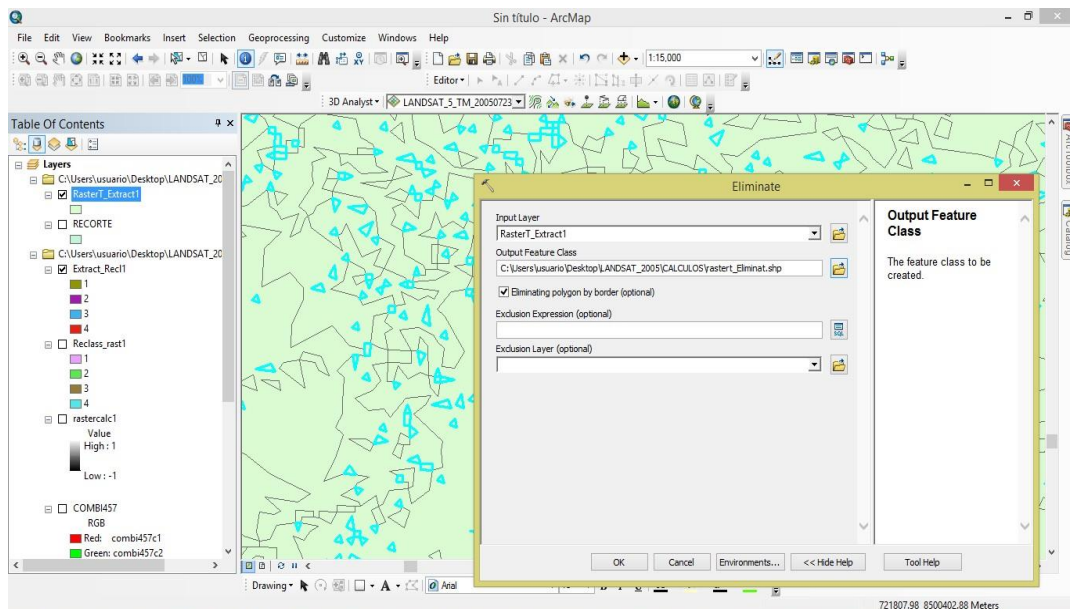


Figura 7. Selección de áreas pequeñas para hacer la limpieza utilizando la eliminación dentro del programa ArcGIS.

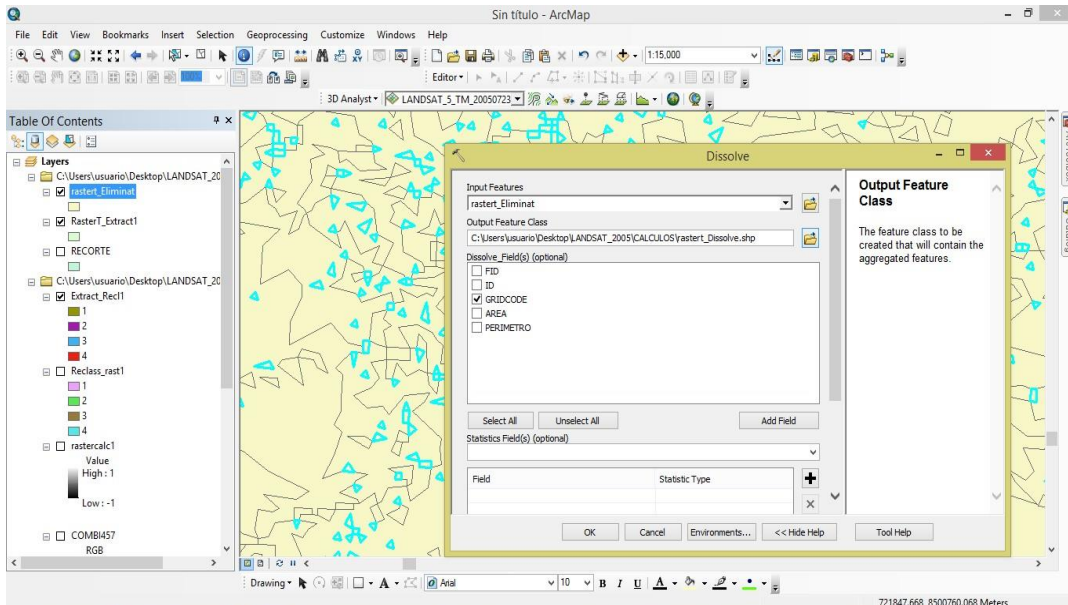


Figura 8. Selección de áreas pequeñas para la eliminación se efectúa la disolución de dichas áreas eliminadas.

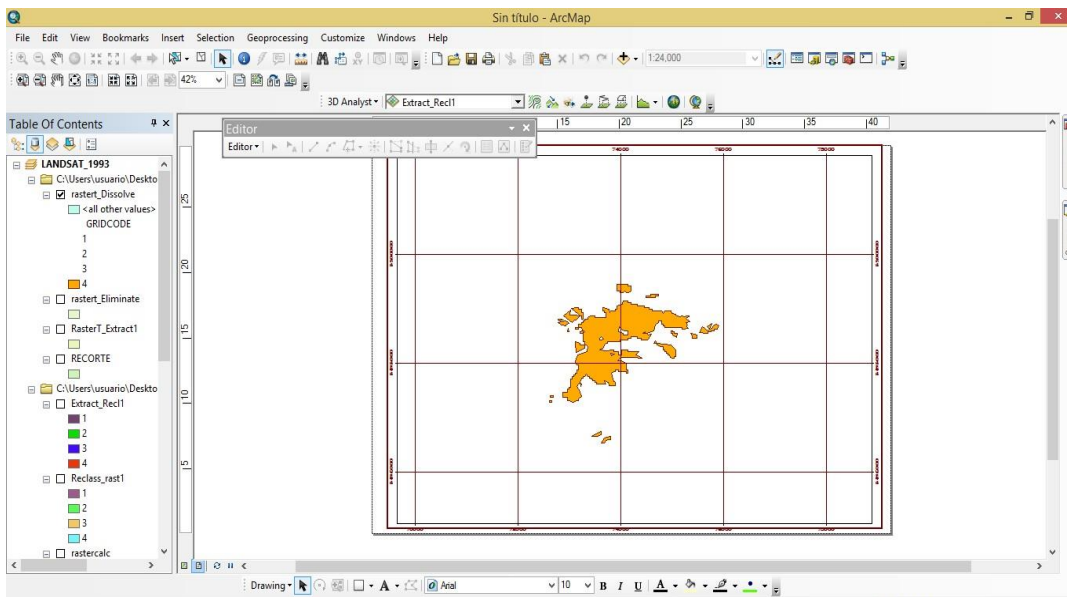


Figura 9. Ploteo final según años.

d. Técnica estadística a usar:

De acuerdo a los objetivos se emplearon las técnicas de teledetección, la metodología de Dozier para determinar la cubierta nival, se determina el R de Pearson utilizando la T de student para luego realizar la prueba de hipótesis.

e. Tipo de análisis:

En la presente investigación se empleó el análisis de inferencia simple porcentual, descriptivo e interpretativo porque tiene un basamento estadístico que permite formular juicios valorativos apoyados en el resultado de la investigación. Además responde en forma ordenada y secuencial, las interrogantes planteadas en el estudio.

f. Presentación de datos:

La información procesada se presentó en gráficos, Tablas de distribución de frecuencia y gráfico de barras, ellos reflejan los resultados de los instrumentos aplicados a la unidad de análisis.

g. Diseño de prueba de hipótesis:

Para realizar el diseño de la prueba de hipótesis se utilizó las pruebas estadísticas paramétricas tipo correlacional de coeficiente de correlación r de Pearson y regresión lineal simple entre las variables.

El coeficiente de correlación de Pearson se calcula a partir de las puntuaciones obtenidas en una muestra en dos variables. Se relacionan las puntuaciones recolectadas de una variable con las puntuaciones obtenidas de la otra, con los mismos participantes o casos (Onwuegbuzie et al., 2004).

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

$$r = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad (3)$$

El nivel de medición de las variables: intervalo o razón.

Interpretación: el coeficiente de r de Pearson puede variar de -1.00 a +1.00, donde:

-1.00= correlación negativa perfecta. (“A mayor X, menor Y, de manera proporcional. Es decir, cada vez que X aumenta una unidad, Y disminuye siempre una cantidad constante). Esto también se aplica “a menor X, mayor Y (Hernández Sampieri, 2014, p. 305).

h. Interpretación del coeficiente de correlación: Estando de acuerdo con Hernández Sampieri (2006, p.453), el coeficiente de correlación se determina a partir de las puntuaciones obtenidas de una variable con las puntuaciones obtenidas de la otra, la misma que puede tomar valores desde -1.00 hasta +1.00, y para interpretar este valor se emplea la siguiente Tabla:

Tabla 2

Variación del coeficiente de correlación

Variación de “r”	Interpretación de la escala de variación de correlación
-1.00	Correlación negativa perfecta
-0.90	Correlación negativa muy fuerte
-0.75	Correlación negativa considerable
-0.50	Correlación negativa media
-0.25	Correlación negativa débil
-0.10	Correlación negativa muy débil
0.00	No existe correlación alguna entre las variables
+0.10	Correlación positiva muy débil
+0.25	Correlación positiva débil
+0.50	Correlación positiva media
+0.75	Correlación positiva considerable
+0.90	Correlación positiva muy fuerte
+1.00	Correlación positiva perfecta

Fuente: Hernández, R., Fernández-Collado, C. y Baptista, P. (2006). Metodología de la investigación (4ª ed.) (p. 453) [CD]. México D.F., México: McGraw-Hill Interamericana.

1.7. JUSTIFICACIÓN, IMPORTANCIA Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

a) JUSTIFICACIÓN

El motivo de la Investigación es relacionar los efectos del cambio climático que se viene sucediendo en nuestro planeta, nos permiten tener un acercamiento a lo que está ocurriendo en los glaciares de montaña de nuestro país, que se caracterizan por su

fragilidad. El nevado de Ampay constituye una de las más importantes áreas glaciares de Apurímac. La mayor parte del monitoreo se han realizado con trabajos de campo, donde muchas veces se presentan una serie de obstáculos para la colección de datos; de esta manera la teledetección nos permite realizar monitoreo con mayor facilidad, mediante el empleo de imágenes satelitales para determinar el área de deshielo de los glaciares. Para el presente estudio se ha tomado como referencia los límites del área cubierta por el glaciar de Ampay, así como el empleo de distintas imágenes de satélite de los años 1980 a 2015, lo que nos permite analizar el comportamiento de la regresión glaciar en un período de 35 años.

Con esta investigación se pretende ayudar a alertar sobre el retroceso del nevado del Ampay, donde en los últimos años se ha notado, claramente la desaparición de la cobertura Glaciar y en consecuencia el recurso hídrico será cada vez más escasa, perjudicando enormemente a los agricultores que existe en la microcuenca del río Mariño, así como generar conocimientos que ayuden a las medidas de prevención y acciones de sensibilización y educación medioambiental a la población.

b) IMPORTANCIA

La desglaciación es indicador del cambio climático (Lemke et al., 2007). Esto es un aspecto especialmente importante considerando que en los Andes existen pocas estaciones meteorológicas encima de los 3000 msnm y en este sentido los glaciares brinda la única fuente (indirecta) de información climática de las regiones situados por encima de esta altitud.

Los glaciares tienen una gran importancia con respecto al recurso hídrico en muchas regiones de los Andes tropicales (Vergara et al., 2011). Son considerados como importantes suministradores de agua especialmente durante las épocas secas en los Andes y en regiones con precipitaciones escasas.

Los glaciares tropicales también pueden representar un peligro. Pueden ser causa directa o indirecta de desastres y por consecuencia se necesitan estudios que proveen una base científica sólida para una adecuada gestión de riesgos (Carey, 2005).

c) LIMITACIONES

Básicamente las limitaciones se centran en estos aspectos:

Mediante las imágenes de satélite no es posible determinar el balance de la masa glaciario perdido, solo podemos determinar el área y el perímetro del glaciario, para ello se tiene que hacer combinaciones de imágenes de satélite para luego calcular el índice de diferencia normalizado de la nieve y hacer una clasificación utilizando la técnica de la teledetección.

La falta de una estación meteorológica cerca del glaciario de Ampay para poder determinar el registro pluviométrico en la zona, así como también la temperatura, la insolación, etc. que no ayuda en el registro de las variaciones de elementos meteorológicos, así como su repercusión al retroceso del glaciario.

La escases de información específica y confiable, para la determinación de la cubierta glaciario a partir de imágenes de satélite, que no fiables debido al elevado resolución de píxeles disponible para el estudio del retroceso del glaciario Ampay en el periodo de 1980 al 2015.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Existen estudios realizados sobre el glaciar de Ampay a los cuales se menciona en este trabajo de investigación las conclusiones y recomendaciones, del mismo modo indico estudios realizados sobre glaciares a nivel nacional e internacional.

2.1.1 A NIVEL INTERNACIONAL

- Maestro C, Recio J., (2004). *Análisis comparativo de distintos métodos de estimación de la superficie glaciar en el Pirineo Axial Aragonés a partir de imágenes Landsat.*

En su conclusión dice lo siguiente:

Debido a la resolución espacial de las imágenes, no se han obtenido resultados espectaculares. Creemos que ello se debe principalmente a la dimensión de los glaciares analizados, mucho más discretos que los habitualmente estudiados mediante las técnicas descritas se han utilizados imágenes (30x30 píxeles), que contrasta con la resolución espacial disponible. Por otra parte, una vez matizado todo lo anterior, las conclusiones son que la metodología que ofrece mejores resultados es la que emplea una ratio de reluctancias entre las bandas 4 y 5, si bien también se obtienen resultados satisfactorios mediante la utilización del NDSI. Se ha evidenciado que los peores resultados para el cartografiado de glaciares han sido obtenidos mediante el empleo de la ratio entre las

bandas 3 y 5. Este resultado está en coherencia con las apreciaciones de Hall (1987, 104-108), según las cuales la ratio TM4/TM5 es la mejor para distinguir entre las distintas facies del hielo y la nieve especialmente en zonas de sombra.

- Kozhikkodan, B. V., Wang, S. C., Souza S. F., Bremer, U. F., & Cardia, S. J. (2017). *Monitoreo de glaciares e interacciones glaciar clima en los Andes tropicales*.

En su conclusión dice lo siguiente:

Los registros de glaciares andinos tropicales, como la cronología de morrenas, no solo nos ayudan a comprender el clima en el pasado pero también proporcionar una visión de lo que está sucediendo en el clima actual. Independientemente de los diversos factores que controlan la respuesta de los glaciares al cambio climático. Los glaciares tropicales proporcionan evidencias complementarias sobre la magnitud del cambio climático.

Para entender las interacciones del clima - glaciar y balance de masas, las mediciones y los cambios en las líneas de equilibrio fueron ampliamente utilizados en los Andes tropicales.

Los glaciares tropicales pueden calcularse utilizando múltiples parámetros, como la altura de congelación, precipitación y temperatura mediante la aplicación de varias ecuaciones matemáticas. El máximo línea de nieve durante la estación seca, que se puede utilizar como un valor aproximado del equilibrio, también se usó para comprender las fluctuaciones de balance de masa de la región tropical andina.

La sublimación, que causa la pérdida de masa en un clima frío y seco, y la posición relativa de la isoterma 0 ° C es un factor importante para determinar el balance de masa anual y no puede ignorarse en los andes tropicales. Una mejor comprensión de las complejas interacciones glaciar – clima en los Andes tropicales solo se pueden lograr combinando los tres tipos de variables: Morfológico, topográfico (altitud, latitud, pendiente, aspecto, distancia del Pacífico y la cuenca del Amazonas), meteorológico (precipitación, temperatura, humedad específica, nubosidad, velocidad del viento, duración de la luz solar, cantidad de radiación solar, balance de radiación), y

glaciológico (tipo de glaciar, balance de masa, línea de nieve, ELA, albedo, sublimación, área de superficie, volumen de hielo, espesor del hielo) y el tiempo de respuesta del glaciar también pueden variar con lo mencionado anteriormente variables. Las condiciones de temperatura homogéneas se mantienen tanto en el interior como en el exterior.

Trópicos a lo largo del año con una pequeña estacionalidad (en la temperatura del aire) en el exterior la zona tropical. La acumulación se limita a la temporada de precipitación en los trópicos exteriores, mientras que ocurre durante todo el año en los trópicos interiores. Los glaciares en los trópicos internos y externos experimentan fluctuaciones en la línea de nieve.

Los glaciares en la Cordillera Blanca y el trópico exterior seco muestran una tasa de aumento relativamente menor en las líneas de nieve. Se puede argumentar que la ocurrencia de eventos de la Niña durante es negativo.

Se necesitan más estudios para validar esta observación. Un análisis exhaustivo del clima en los Andes tropicales también es necesario para entender la compleja relación entre el clima local y el retiro glaciar en la región.

- Lonnie G. Thompson (2013). *Informe publicado el jueves por la revista Science New York Times News Service.*

El hielo de los glaciares de los Andes peruanos que tardó por lo menos 1.600 años en formarse se ha derretido en solo 25 años, según ha asegurado un grupo de científicos de la Universidad de Ohio (EE UU). Este es el indicio más reciente de que el aumento de las temperaturas ha roto el equilibrio natural. La evidencia se ha hallado los márgenes del glaciar Quelccaya, localizado en el sureste de Perú. Este rápido descongelamiento está descubriendo plantas conservadas cuando el glaciar avanzaba hace muchos miles de años. La data de estas plantas se ha calculado mediante carbono radiactivo y ha permitido a los científicos determinar la historia de esta capa de hielo.

Los resultados llevarán tiempo. El doctor Thompson asegura que las evidencias preliminares demuestran que la tierra probablemente atravesó un período en el que el

clima se salía de la media establecida y que coincidió con la época de la Revolución Francesa, que comenzó en 1798.

2.1.2 A NIVEL NACIONAL

- Colonia O., Judith E. Torres Castillo (2012) *Determinación del retroceso glaciar en la microcuenca de Llanganuco, a través del análisis multitemporal en el periodo 1987-2007.*

Concluye con lo siguiente:

Se estimó la superficie glaciar total en la microcuenca de Llanganuco a razón de 27.94, 26.42 y 24.07 Km² en el periodo de estudio. En ese sentido se determinó los índices de retroceso glaciar para los periodos 1987-1996 y 1996-2007. En cada periodo se estimó la superficie total reducida a razón de 1.523 Km² en 9 años y 2.345 Km² en 11 años.

La velocidad del retroceso glaciar (índice de retroceso glaciar) para los 19 glaciares en la microcuenca de Llanganuco indica que cada glaciar posee su propia dinámica y magnitud de cambio. Los glaciares con mayor tasa de cambio son: el Glaciar Broggi con -21.97%, el glaciar 12 con -3% y el glaciar 2 con -2.87%. De igual modo los glaciares con menor tasa de cambio son: el glaciar Cook con -0.54%, el glaciar 17 con -0.48% y el glaciar Kinzl con 0.38%. Las variables climáticas influyen en el retroceso glaciar de la microcuenca de Llanganuco. Estas influencias se confirmaron con la correlación estadística de Pearson (r) para ambas variables climáticas en los 20 años de análisis. Es decir, La correlación de la temperatura media anual y la superficie glaciar alcanzó a ser de -0.02 (correlación mínima).

Por otra parte, la correlación de la precipitación acumulada anual y la superficie glaciar es de 0.28 (correlación leve). La superficie de los glaciares en la microcuenca de Llanganuco fue proyectada para el 2037, obteniendo una superficie total de 18.27 Km², la cual equivale a un 65% de superficie glaciar con respecto al año 1987. Esto demuestra que el escenario futuro del retroceso glaciar para 30 años a partir del año 2007, perdería una superficie glaciar de 5.8 Km². Asimismo los probables glaciares que

desaparecerían son el glaciar 2 y el glaciar 12, ya que presentan las mayores tasas de cambio (-2.87% y -3.00%) en el periodo de estudio.

- Colonia O., Torres J., (2013) *Disponibilidad hídrica glaciar en la subcuenca Quillcay, teniendo en cuenta el retroceso glaciar y el cambio climático, 1970-2013-2050.*

En su conclusión dice lo siguiente:

En la subcuenca Quillcay se estimó la tasa de cambio de área glaciar con un promedio de -0,85% por año, reflejando un continuo retroceso, según la serie de tiempo de análisis (1970-2013). Durante el período de estudio el área glaciar disminuyó de 45,54 km² en 1970 a 32,36 km² en 2013, lo que significa una pérdida de área de ~29%; aunque con algunas diferencias locales, en cuanto al momento y la intensidad del retroceso glaciar.

Se estimó la superficie de lagunas en la subcuenca Quillcay entre 1970 y 2013, evidenciando un incremento de superficie de 1,034 km² (128%). Este valor es un indicador del acelerado retroceso glaciar, por las lagunas en contacto glaciar y la formación de nuevas lagunas. En la microcuencas de Cojup se registró el mayor aumento de superficie con un ~297% por la evolución de la laguna Palcacocha y la formación de una nueva laguna en el frente del glaciar Jatunmontepunku. Y la microcuenca Quillcayhuanca incrementó en un ~124% por el aumento de área de la laguna Tullparaju.

El volumen glaciar estimado en la subcuenca Quillcay al 2013 fue de 992x10⁶ m³ y comparando con el volumen de 1970 (1 656x10⁶ m³) la pérdida de volumen fue de ~40%, 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 subcuenca.

Considerando el ritmo y continuidad de la tasa de cambio promedio (-0.93% por año) de volumen glaciar del pasado (1970-2013) en la subcuenca Quillcay y

extrapolando su tendencia al futuro, el volumen al 2050 sería $655 \times 10^6 \text{ m}^3$ con una pérdida de $337 \times 10^6 \text{ m}^3$ (~34%), y una pérdida acumulada (estimada y extrapolada) de volumen glaciar de ~61% entre 1970 y 2050.

Los cambios notables en los glaciares se identificaron en las zonas bajas y su retroceso depende de su extensión y dinámica glaciar. En consecuencia, las microcuencas Churup y Cojup tienen la menor disponibilidad hídrica glaciar al 2013 con valores relativos de 5% y 53% respectivamente. Mientras las otras microcuencas superan el 60% de disponibilidad de agua almacenada.

La estimación de volumen glaciar está sujeta a grandes incertidumbres a escala local, pero es aceptable a escala regional, debido a que se simplificó el parámetro de espesor promedio del glaciar y la aproximación es sencilla y rápida para períodos de tiempo prolongado (décadas).

- Gómez W., Zamora N., Cabrel C., (2012). *Evaluación de la cobertura glaciar utilizando técnicas de teledetección espacial en la subcuenca del río Quellcayhuanca – río Santa.*

En su conclusión dice lo siguiente:

Se generó cartografía digital e información alfanumérica de Mapas topográfico, retroceso glaciar de la Subcuenca del río 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 nevado en este periodo es de $11,80 \text{ km}^2$, lo que representa una pérdida de $0.50 \text{ km}^2/\text{año}$.

En su recomendación indica lo siguiente:

Instalar estaciones climatológicas en la subcuenca de la quebrada Honda.

Instalar estaciones hidrométricas en la subcuenca quebrada Honda.

Instalación de una estación nivométrica.

- Medina, G., Mejía A., (2013). *Análisis multitemporal y multifractal de la desglaciación de la cordillera Parón en los andes de Perú.*

En su conclusión dice lo siguiente:

1. El volumen glaciar tuvo un comportamiento variable en el tiempo; la reducción promedio del volumen glaciar de la Cordillera Parón obtenido por SIG y Multifractales fue del 18% en el periodo 1987 al 2011.
2. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los volúmenes hallados con métodos SIG o multifractales.
3. El parámetro multifractal $\Delta\alpha$ es el que mejor revela la presencia de los eventos El Niño y La Niña.
4. El promedio de la dimensión entropía D1 fue de 1.44.

2.1.3 A NIVEL LOCAL

- Lizarzaburu, J., Diehl L., y Deza, J., (2012). *El retroceso glaciar en la alta montaña de los Andes Peruanos. Caso: Santuario Nacional de Ampay, Apurímac.*

En su estudio concluye que:, en los últimos años (1997 - 2011) ha retrocedido la superficie glaciar del Ampay 160 hectáreas, dejando a la vista sus morrenas “frescas”. No podemos determinar el volumen perdido por falta de información al respecto.

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

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

Por otro lado recomienda crear proyectos alternativos que permitiría mitigar los efectos sociales de la desglaciación sería el proyecto de reforestación análoga o con especies típicas del lugar, considerando los pisos altitudinales a los que pertenecen, lo

que permitiría una flora nativa en cada piso. Es así como llegamos a considerar la siguiente propuesta como una alternativa viable para la zona.

- Gonzales Ferro L. A. (2011) *Estudio multitemporal del nevado Ampay en el contexto del cambio climático: 1986 – 2011.*

En su estudio concluye, que 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.

En su trabajo recomienda: Realizar un levantamiento geomorfológico de los glaciares siguiendo el criterio de cuenca, destacando las siguientes unidades:

- Circos glaciares.
- Laderas con glaciares muy compactas.
- Nivel de disección.

Con estos datos se pueden definir las áreas con mayor posibilidad de subsistir al retroceso glacial.

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.

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.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 RETROCESO GLACIAR

2.2.1.1 Formación de un glaciar

La caída de nieve sobre una superficie glaciaria, es el primer paso en la génesis de la formación del hielo glaciario.

El tiempo de transformación de la nieve en hielo depende de la temperatura y la compactación generada por la presión a profundidad, siendo éste proceso mucho más rápido en regiones templadas a diferencia de regiones frías. (Paterson, 1994), la transformación de nieve a hielo en las zonas de aguanieve, está relacionada con la compactación del grano.

El cual es un factor importante en el periodo inicial ya que el derretimiento aumenta la tasa donde los granos se hacen redondos, por lo que el tamaño promedio se incrementa debido a que los granos pequeños tienden a derretirse antes que uno de mayor tamaño, uniéndose más rápidamente en la superficie de estos.

El derretimiento lubrica los granos acelerando la unión entre estos, permitiendo la compactación cerrada debido a la tensión superficial de una película de agua. (Paterson, 1994).

2.2.1.2 Descripción del nevado del Ampay

El nevado del Ampay es un macizo constituido de rocas sedimentarias carbonatadas, detríticas silíceas y lutíticas metaforizadas (pizarras y esquistos), pertenecientes a la formación Copacabana (Morocco, 1975). El conjunto de las capas se encuentran fuertemente afectadas por el plegamiento tectónico. En general, las estructuras que envuelven el Ampay conforman una especie de anticlinorium, donde las capas sobre la vertiente Sur muestran buzamientos orientados hacia la ciudad de Abancay, Se debe destacar que la zona de deslizamiento se desarrolla dentro de estas formaciones

arcillosas, es decir lutitas y pizarras carbonosas; ellas a su vez, se encuentran afectadas por una fuerte micro-fracturamiento (esquistosidad de fractura), que parecería textura en “papas fritas” de color negro. Estas capas constituyen una gran masa deleznable y fácil de ser erosionadas. Aparte de estas características mecánicas, esta masa rocosa es una esponja (la porosidad y permeabilidad es alta) que se embebe fácilmente de las aguas meteóricas.

Desde el punto de vista geomorfológico, la vertiente sur del Ampay comporta una serie de valles y quebradas subparalelas que recortan las formaciones sedimentarias, en esta sección las pendientes varían entre 30 y 40 %. Siguiendo hacia la zona urbana, dicha pendiente es menor y es cercano al 10 %, pero el relieve es relativamente plano. Bajo estas condiciones morfológicas los productos dinámicos de la erosión tienden a expandirse a manera de un cono de inyección, es de esta manera como el subsuelo de Abancay fue rellenado.

El curso del río Sahuanay presenta una morfología particular, desarrolla un valle amplio y angosto por tramos, ello es debido a la competencia litológica. A nivel de la Estación del Parque del Ampay, se destaca un conjunto de capas de areniscas y conglomerados (grupo Mitu), cuyo buzamiento es de 30° SE, estas reposan sobre otras capas muy incompetentes, constituidas por lutitas y pizarras carbonosas (parte inferior del grupo Copacabana). Esta disposición estructural, más las características microfracturadas de las pizarras carbonosas y ante una situación de saturación de agua, lo que resulta en general es la inestabilidad de las capas competentes superiores sobre las lutitas y pizarras que actúan como “capas de jabón”. El caso de Ccocha y Pumaranra (1997) puede explicarse de esta manera.

2.2.1.3 Retroceso de los glaciares en el Perú.

Los efectos del cambio climático y el calentamiento global son cada vez más notorios en un país como el Perú que está identificado como una de las zonas más vulnerables a este fenómeno.

Como país mega diverso, el cambio climático viene transformando el paisaje y el impacto, incide fuertemente en las zonas alto andinas y amazónicas en donde existen ecosistemas frágiles (ANA 2016).

Un claro ejemplo, es el alarmante retroceso de los glaciares, en la quincena de octubre (2016), la Autoridad Nacional del Agua (ANA), presentó el Inventario de Glaciares y Lagunas Glaciares en el marco del proceso de la COP20. En resultado es alarmante: en los últimos 40 años, los glaciares de las 19 cordilleras nevadas del Perú han sufrido la pérdida de su superficie en más de un 40%, con respecto a los resultados del inventario realizado en los años 70.

El informe, realizado en julio (2014) por la Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos (UGRH) de la ANA, detalla que el Perú cuenta con un total de 2,679 glaciares con una superficie de 1298,59 km², mientras que las cordilleras con mayor extensión son La Blanca (Andes del Norte), Vilcanota y Vilcabamba (Andes del centro) con 755, 374 y 355 glaciares, respectivamente.

El inventario tiene como finalidad proporcionar información técnico-científica oficial sobre la evolución de los glaciares influenciada por el cambio climático para poder tomar las medidas de prevención adecuadas ante desastres naturales y un aprovechamiento sostenible del recurso hídrico en el ámbito geográfico de las cordilleras nevadas.

Es urgente trabajar para frenar el retroceso glaciar y sus consecuencias: procesos de estrés hídricos, desertificación, baja productividad agrícola, pues con ello se estaría vulnerando la soberanía alimentaria de las comunidades alto andinas. (Boletín actualidad minera del Perú Nro. 185).

2.2.1.4 Área de los glaciares y el Cambio Climático.

Durante las últimas décadas, el Cambio Climático ha producido un significativo retroceso glaciar en las cordilleras del Perú (p. ej. Kaser et al., 1990; ANA, 2012). En la cordillera Vilcanota, el 33% de su área glaciar desapareció entre 1970 y 2010 (ANA, 2012); similar a lo ocurrido en la cordillera Blanca, donde el 27% de la superficie se perdió en el periodo 1970-2003 (ANA, 2012). Para la cordillera Central, la extensión glaciar disminuyó en un 56% entre los años 1970 y 2007 (ANA, 2012).

2.2.1.5 Estado de los glaciares en el tiempo.

Durante las últimas décadas, un significativo retroceso glaciar es observado en las cordilleras del Perú (p. ej. Kaser et al., 1990; Hastenrath y Ames, 1995; ANA, 2012). En la cordillera Vilcanota, el 33% de su área glaciar desapareció entre 1970 y 2010 (ANA, 2012); similar a lo ocurrido en la cordillera Blanca, donde el 27% de la superficie se perdió en el periodo 1970-2003 (ANA, 2012).

Para la cordillera Central, la extensión glaciar disminuyó en un 56% entre los años 1970 y 2007 (ANA, 2012). Los glaciares cumplen un rol importante en el ciclo hidrológico, al permitir el almacenamiento de la precipitación sólida durante la estación de lluvias y la liberación de agua durante la estación seca o de estiaje.

Además de la temporal disminución hídrica a largo plazo, el derretimiento glaciar puede originar futuras lagunas en lechos glaciares, con consecuentes y posibles peligros e impactos para las poblaciones aguas abajo (Colonia et al., 2017).

2.2.2 CAMBIO CLIMÁTICO

2.2.2.1 Cambio Climático a través del tiempo.

De acuerdo con la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (1992), se define al “cambio climático” como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables.

Para resaltar la existencia del cambio climático en el tiempo geológico y comprender en un contexto más amplio la dirección del cambio de clima en el futuro, puesto que la historia se repite a sí misma, entonces si se quiere predecir el futuro se debe conocer el pasado y esto aplica a la historia de la tierra y al sistema climático ocurridos en diferentes periodos:

Para llevar a cabo una comparativa en la evolución del clima en cada uno de los periodos se presenta el siguiente cuadro:

Tabla 3
Evolución del clima en cada uno de los periodos

Millones por año	Periodo	Época	Principales eventos
Era Cenozoica	Cuaternario	Pleistoceno	Clima fluctuante entre frío y templado. Retroceso de las Glaciaciones y levantamiento de la Sierra Nevada, dispersión del Homo sapiens y extinción de mamíferos grandes.
1 1/2 - 7	Terciario	Plioceno	Clima frío, levantamiento de Zonas montañosas, grandes Carnívoros, y aparición de los primeros Homínidos (Primates Humanoides)
7 - 26	Mioceno		Moderado, levantamiento de montañas rocosas, ballenas, monos, antropomorfos y mamíferos herbívoros. Expansión de las pasturas y retracción de los bosques.
26 - 38	Oligoceno		Tierras bajas y levantamiento de los Alpes. Grandes animales ramoneadores, aparecen los monos antropomorfos.
38 - 53	Eoceno		Clima templado, muchos lagos en el Norte de América, caballos primitivos y aves.
53 - 65	Paleoceno		Clima templado a frío, desaparición de mares continentales, Primeros Primates y carnívoros conocidos.
Era Mesozoica 65 - 136	Cretácico		Tierras bajas y extensas. Extinción masiva de los Dinosaurios, aparición de los marsupiales insectívoros y angiospermas.
136 - 195	Jurásico		Clima templado. Continentes bajos. Apogeo de los Dinosaurios, Reptiles Voladores, pequeños mamíferos, aparecen las Aves, Gimnospermas (Helchos).
195 - 225	Triásico		Continentes montañosos, Regiones áridas, erupciones volcánicas en los Continentes, Primeros Dinosaurios, aparecen los mamíferos, bosques de Helechos y Gimnospermas.

Millones por año	Periodo	Época	Principales eventos
Era Paleozoica 225 - 280	Pérmico		Glaciaciones en el Sur de América con climas fríos. Evolucionan los reptiles; origen de las Coníferas y posiblemente Angiospermas.
280 - 345	Carbonífero		Clima cálido, tierras bajas cubiertas por mares superficiales o pantanos carboníferos. Edad de los anfibios apareciendo los primeros reptiles, abundancia de insectos de elasmobranquios, bosques de helechos.
345 395	Devónico		El mar cubre la mayor parte de los continentes. Edad de los peces, aparición de anfibios, abunda los moluscos y peces pulmonares. Extensión de plantas vasculares primitivas.
395 - 440	Silúrico		Clima templado, continentes planos inundados, primeras plantas vasculares, invasión del medio terrestre por artrópodos. Progreso de peces y arrecifes. Abundan los invertebrados marinos. Modernos mantos de algas y hongos.
440 - 500	Ordovícico		Clima templado, mares someros y continentes bajos. Primeros peces primitivos predominan los invertebrados.
500 - 600	Cámbrico		Clima templado; frío y húmedo. Mares extensos que rebasan los continentes. Edad de los invertebrados marinos y algas.
Edad Precámbrica Más de 600			Clima seco frío a cálido. Enfriamiento del planeta formando la corteza. Zonas montañosas, mares someros y acumulación de O ₂ libre.

Fuente: Investigación universitaria multidisciplinaria, N° 10, diciembre 2011. Cambio Climático Global a través del tiempo geológico Silvia Rivera Olmos Universidad Simón Bolívar.

2.2.2.2 Climatología alto andina y de la región.

Climatológicamente, la región de los Andes tropicales se caracteriza por grandes variaciones espaciales y temporales de la temperatura y de la precipitación. El promedio de la precipitación anual puede variar desde tan solo 100 mm en el Altiplano Sur de Bolivia (Datos: SENAMHI) a más de 6.000 mm en la parte oriental y occidental de los Andes colombianos y ecuatorianos, con una gran variabilidad interanual (datos: INAMHI Ecuador, IDEAM Colombia). Como resultado, la región tropical de los Andes y su población son especialmente vulnerables a los cambios climáticos. En el mapa de la clasificación climática del Perú encontramos 27 climas diferentes (clasificación de Thornthwaite). En toda la región andina se pueden identificar hasta 28 zonas climáticas de las 32 del mundo (SENAMHI Perú). La variabilidad climática es mayor a nivel regional o local que al nivel hemisférico o global según Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño (CIIFEN, 2014).

Para obtener la mejor evaluación de las tendencias actuales de la temperatura del aire, la precipitación y de otras variables meteorológicas al nivel regional, es importante elaborar conjuntos de datos homogeneizados y si es posible- proporcionarlos en un portal de datos (Schwarb et al., 2011).

La escasez de datos en las regiones montañosas de los Andes requiere completarlos de una manera científica tanto en el eje del espacio como en el del tiempo. Los datos de satélites pueden servir como una posible fuente de datos para llenar vacíos. Por ejemplo, el producto del satélite TRMM-Multi-Satellite Precipitation Analysis (TMPA) ha resultado ser una fuente válida de datos. En referencia, (Scheel et al., 2011) muestran las posibilidades y las limitaciones del uso de estos datos en los Andes Centrales del Perú y de Bolivia. Estos, además, evidencian un aumento de las precipitaciones extremas en las regiones tropicales durante los últimos años, (Allen et al., 2010).

La precipitación en la región andina en general se consideraba muy fuertemente dependiente del ciclo ENSO (El Niño Oscilación del Sur, por sus siglas en inglés), por lo menos en algunas regiones de los Andes Centrales y cerca de la costa (Lagos et al., 2008). Durante los últimos años, sin embargo, incluso en las regiones "tradicionales" de El Niño en el Sur de Ecuador y Norte del Perú, la Niña se produjo tantas veces como

éste, hecho que culminó en un episodio de grandes inundaciones en 2008, durante un período de La Niña (Bendix et al., 2011). Además, en las últimas décadas "El Niño del Pacífico Central" (o "El Niño Modoki") se está volviendo cada vez más intenso. (Lee et al., 2010). El patrón de teleconexión de este "modificado" Niño difiere considerablemente de El Niño normal' y varía con cada episodio (Ashkok et al., 2007).

Sin embargo, las variaciones regionales del clima, y por ende de la precipitación, son también reflejo de las características topográficas, de los patrones de vegetación, así como de las condiciones de frontera ligeramente variables en el océano adyacente (Garreaud 2003).

El hielo de los glaciares de los Andes peruanos que tardó por lo menos 1.600 años en formarse se ha derretido en solo 25 años, según ha asegurado un grupo de científicos de la Universidad de Ohio (EE UU) este jueves. Este es el indicio más reciente de que el aumento de las temperaturas ha roto el equilibrio natural, según publica el diario el comercio.

La evidencia se ha hallado los márgenes del glaciar Quelccaya, localizado en el sureste de Perú. Este rápido descongelamiento está descubriendo plantas conservadas cuando el glaciar avanzaba hace muchos miles de años. La data de estas plantas se ha calculado mediante carbono radiactivo y ha permitido a los científicos determinar la historia de esta capa de hielo.

Thompson L., (1984), especialista en glaciares de la Universidad Estatal de Ohio cuyo equipo ha trabajado intermitentemente en el glaciar Quelccaya durante décadas, incluyó sus hallazgos en un informe publicado el jueves por la revista Science, el documento incluye el esperado análisis de marcadores químicos en los cilindros de hielo que el equipo ha obtenido con perforaciones profundas en el glaciar. Los resultados llevarán tiempo, Thompson asegura que las evidencias preliminares demuestran que la tierra probablemente atravesó un periodo en el que el clima se salía de la media establecida y que coincidió con la época de la Revolución Francesa, que comenzó en 1798.

2.2.2.3 El cambio climático y los recursos hídricos en la región alto andina.

El sector de los recursos hídricos es uno de los más vulnerables ante el cambio climático en la región andina. (Pardo W. 2007). El suministro de agua es proporcionado por la precipitación y el agua de deshielo de los glaciares. La precipitación es la fuente de escorrentía y alimenta a varios reservorios, centrales hidroeléctricas, sistemas urbanos de oferta hídrica y la agricultura. El comportamiento dinámico de los glaciares tropicales, lagos andinos y humedales montañosos contribuye a la estacionalidad de la escorrentía.

Funcionan como almacenamiento o zonas tampón durante períodos de lluvia y liberan agua a lo largo de períodos más extensos (Vergara et al., 2011). Especialmente durante los meses secos la población que no posee infraestructura de regulación de sus recursos en agua, depende del suministro de agua del deshielo glaciar (Olmos, 2011).

La región andina es considerada particularmente vulnerable al cambio climático. Nuevos patrones del clima debido al cambio climático conllevan cambios en los recursos hídricos. Las temperaturas incrementadas afectan a la tasa de evapotranspiración, el almacenamiento de agua, la humedad del suelo y los glaciares (Pouget et al., 2008). Especialmente con el crecimiento demográfico y el desarrollo económico, la demanda de agua aumentará en el futuro y más agua será usada para la agricultura, la industria y los hogares domésticos (Pardo et al., 2007). Los impactos del retroceso glacial pueden conllevar el deterioro de cuencas fluviales, agotamiento de las capacidades de recarga hídrica y cambios bióticos en el ecosistema, o que afecta a la capacidad de almacenamiento (Vergara et al., 2011). El rápido encogimiento de los glaciares amenaza al sustento de muchas personas y ecosistemas. Bolivia, Ecuador y Perú están entre las regiones más a riesgo del deshielo glacial (Francou et al., 2007). De 2006 a 2009, más del 50% de la energía eléctrica en el Perú ha sido producida mediante la energía hidroeléctrica que está dependiente de las cuencas hidrográficas de montaña (Vergara et al., 2011; Viviroli, et al., 2009). Los cambios climáticos tienen consecuencias sobre la regulación hídrica, las cantidades de agua y la generación hidroeléctrica. Los recursos hídricos actuales y futuros en relación con el retroceso glacial y la futura escasez de agua son un tema de actualidad en la región andina (Pouget et al., 2008; Buytaert et al., 2009).

2.2.2.4 El cambio climático y los glaciares andinos.

El cambio climático global tiene una gran influencia sobre los glaciares, como se observa en todas las regiones del mundo (IPCC, 2007; Francou, 2007). La mayoría de los glaciares tropicales se localiza en los Andes Centrales (más del 99%). En el Perú se encuentra más que el 71% de la superficie total (Kaser et al., 2002) y el mayor volumen glaciar entre los cuatro países de los Andes tropicales (Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia). Bolivia concentra el 20% de los glaciares tropicales (Kaser et al., 2002) mientras que Ecuador y Colombia cuentan con porcentajes menores. Aunque los glaciares tropicales tienen una dimensión relativamente modesta, los de los Andes son de gran interés.

Los glaciares son indicadores del cambio climático (Lemke et al., 2007). Esto es un aspecto especialmente importante considerando que en los Andes existen pocas estaciones meteorológicas encima de los 3000 msnm y en este sentido los glaciares brinda la única fuente (indirecta) de información climática de las regiones situados por encima de esta altitud.

Los glaciares tienen una gran importancia con respecto al recurso hídrico en muchas regiones de los Andes tropicales (Vergara et al., 2011). Son considerados como importantes suministradores de agua especialmente durante las épocas secas en los Andes y en regiones con precipitaciones escasas.

Los glaciares tropicales también pueden representar un peligro. Pueden ser causa directa o indirecta de desastres y por consecuencia se necesitan estudios que proveen una base científica sólida para una adecuada gestión de riesgos (Carey, 2005).

2.2.2.5 El cambio climático y procesos hidrogeomorfológicos y riesgos asociados en el distrito de Abancay.

La ciudad de Abancay está localizada en la cuenca alta del río Mariño que constituye la región Apurímac en pleno corazón de los Andes Peruanos. En este territorio, los efectos físicos asociados al cambio climático se han expresado, fundamentalmente, por un retroceso significativo del glaciar/nevado Ampay. Ésta circunstancia, junto con otros hechos relacionados con la tipología y el uso actual del suelo, ha dejado una nueva realidad en relación a los procesos geomorfológicos que pueden darse en el sector de

Ampay. Como consecuencia se han originado en el pasado reciente situaciones de riesgo para la población, mermando así su capacidad de desarrollo. Por otro lado, es esperable que los efectos nocivos asociados al cambio climático originados por el calentamiento global sean particularmente fuertes en regiones de alta montaña (IPCC, 2013). Además, los cambios en el régimen hídrico podrían originar cambios en el uso del suelo que pueden condicionar el desencadenamiento y evolución de procesos hidrogeomorfológicos. Ésta situación puede suponer un aumento en la vulnerabilidad de la población frente a procesos geomorfológicos.

Desde el punto de vista hidrogeomorfológico, en la región Apurímac existen dos procesos ecológicos que pueden suponer una amenaza para la población de Abancay, estos son los deslizamientos de laderas o movimientos en masa y las inundaciones o “huaycos”. Los factores desencadenantes de ambos están asociados a la meteorología (intensas precipitaciones), los cambios intensivos del uso del suelo en la zona y su tipología, la configuración geológica, susceptible a deslizamientos, así como a su actividad sísmica. Existen, a su vez, incertidumbres sobre cuáles pueden ser los impactos del Cambio Climático (CC) en esta zona y cómo afectará al desencadenamiento de estos procesos en el futuro.

Por otro lado, en los distritos de Tamburco y Abancay existe una posible tercera amenaza que es la desestabilización de lagos glaciares. Como resultado de la nueva fisionomía del terreno asociada al retroceso glaciar, en las laderas del nevado de Ampay, se han localizado una serie de lagunas que pueden suponer un potencial riesgo a la población. En la actualidad se han localizado un total de 8 lagunas, aunque la más importante, desde el punto de vista del potencial riesgo para la ciudad de Abancay, es la laguna Ushpacocha (Figura 10).



Figura 10: Localización de la Laguna Ushpacchocha en las laderas del nevado Ampay que drenan al valle de Abancay.

Estudios preliminares sugieren que una posible desestabilización de la laguna Ushpacchocha podría resultar una destrucción del 30% de la ciudad (Fernández et al., 2007). Por otro lado, a partir del reconocimiento rápido de la fisonomía del terreno, se evidencia la elevada susceptibilidad de la zona a los movimientos de laderas. Existe, a su vez, conocimiento sobre eventos en la misma quebrada en el pasado que causó pérdidas humanas y daños severos a las infraestructuras; ejemplos son la corriente de derrubios (debris flow) ocurrida en la ciudad en 1951. Procesos de reptación de suelo y de deslizamientos ocurridos en tiempos recientes en Coccha Pumaránra (1997) y que causaron cientos de muertos son también ejemplos sobre el potencial riesgo a la sociedad. Existe, por lo tanto, una necesidad de estudiar dichos procesos y sus incertidumbres, asociadas a los desencadenantes y su comportamiento en el futuro, así como su relación con la hidrología y usos del suelo, con el objeto de contribuir a la mitigación y adaptación de la población frente a la nueva realidad asociada a estos procesos.



Figura 11: Vista panorámica del deslizamiento Cocha Pumaranra ubicado en la margen derecha del río Colcaqui, afluente del río Mariño (extraído de Fernández et al., 2007).



Figura 12: Foto del huayco, <http://www.larepublica.pe>: “El presidente de desborde de un riachuelo y una laguna producto de las lluvias.” Sábado, 17 de marzo de 2012.

Desde el punto de vista de los procesos hidrogeomorfológicos, la zona de estudio ha sido objeto de estudio de los siguientes trabajos:

Inspección de riesgo geológico en el área de Ccocha y Pumaranra (Dávila y Zavala, 1997), Riesgos Geológicos del Perú Franjas N°2 y N°3 (INGEMMET, 2002 y 2003)

Mapa de Peligros de la ciudad de Abancay (Programa Ciudades sostenibles, 2007)

Informe de Evaluación y Estimación de riesgos Ambientales (Condori et al., 2010)

Reconocimiento geomorfológico, geológico y geográfico de Abancay (Ñupas y Amezquita, 1996)

En todos ellos, se precisa un mayor entendimiento de los fenómenos de las inundaciones o huaycos y de los movimientos en masa para prevenir desastres. En especial, se hace referencia a la necesidad de un estudio detallado de las posibilidades y condicionantes de que se produzca una desestabilización de la laguna Ushpaccocha.

2.2.2.6 El cambio climático y la temperatura.

El aumento de la temperatura depende en gran medida del escenario de emisión de gases, pues algunos escenarios duplican las tasas de calentamiento de otros (Boulanger et al., 2006). Si se asume el escenario de emisión (Bradley et al., 2006) la temperatura aumentará entre 4.5 a 5°C en los Andes tropicales para finales del siglo XXI. Otro estudio evalúa un incremento de 2.5 a 3°C en la temperatura de la región en caso se duplique la cantidad de dióxido de carbono atmosférico hacia el 2070 (Bradley et al., 2006). El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, 2012) también estima fuertes incrementos para el año 2030 y hacia finales del siglo XXI (SENAMHI, 2012). Comparado con el calentamiento mundial promedio, es probable un calentamiento amplificado en zonas de gran altitud, como los Andes Tropicales (Bradley et al., 2006).

El aumento de la temperatura hasta fines del siglo XXI se ve y verá reflejado en el continuo retroceso glaciar de los Andes Tropicales y, por ende, del Perú. En la actualidad, existe limitada investigación sobre el futuro de los glaciares en el país. Ello, en gran parte, debido a la carencia de data y mediciones a grandes altitudes, con lo cual no es posible estimar futuras tasas de retroceso local con complejos modelos. Una posible solución consiste en el uso de la altura de congelación como indicador de la extensión glaciar durante la estación húmeda (Schauwecker et al., 2017),

2.2.2.7 El cambio climático y la precipitación.

La mayoría de los modelos climáticos del IPCC (2013) estiman un aumento de precipitación durante la temporada húmeda y de disminución durante la temporada seca

en los Andes Tropicales (Vuille et al., 2008; Vera et al., 2006). Los presentes cambios serán amplificadores de la variabilidad anual de la precipitación, siendo de mayor magnitud aquellos relacionados a escenarios de emisión pesimistas. Por ejemplo, para la cuenca del río Urubamba, se estima un incremento de precipitación entre 10 a 24% durante la estación húmeda y una reducción de hasta un 50% para la estación seca (SENAMHI, 2012). El aumento de la variabilidad anual, hasta la mitad del siglo XXI, también se estima para los departamentos de Cusco y Apurímac (SENAMHI, 2012). Estos cambios tendrían consecuencias graves para el ciclo hidrológico de la región andina tropical, al presentarse una mayor disminución de la escorrentía durante la estación seca.

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **ArcGIS:** Programa informático producido y comercializado por ESRI, que agrupa varias aplicaciones para la captura, edición, análisis, tratamiento, diseño, publicación e impresión de información geográfica.
- **Climatología:** La Climatología es la disciplina que se centra en el estudio del clima y del tiempo, forma parte de la geografía, es decir, es una rama de esta ciencia, ya que desde siempre el tema del clima ha sido una ocupación y preocupación de la Geografía.
- **Clasificación de imágenes:** La clasificación de una imagen conlleva operaciones que identifican digitalmente y clasifican los píxeles de la imagen. Generalmente se lleva a cabo utilizando múltiples bandas, y en este proceso se asigna a cada píxel una clase particular basada en su radiancia. Los dos métodos generalmente empleados son la clasificación supervisada y no supervisada.
- **Glaciar:** Masa permanente de hielo sobre tierra originada por nieve comprimida; muestra evidencias del flujo pasado y presente (mediante deformación interna y/o deslizamiento de su base) y está constreñido por el estrés interno y por el

rozamiento de su base y de sus lados. Los glaciares se mantienen por la acumulación de nieve en grandes altitudes, compensada por la fusión en altitudes bajas y por la descarga vertida al mar. Una masa de hielo con el mismo origen que los glaciares, pero de tamaño continental se denomina manto de hielo. En aras de la simplicidad, en el presente Informe de Evaluación, toda masa de hielo distinta de los mantos de hielo se denomina glaciar. Véanse también Línea de equilibrio y Balance de masa (de glaciares o mantos de hielo).

- **Georreferenciación:** Teniendo en cuenta que algunas de las imágenes no tienen el nivel adecuado de georreferenciación, se corrigieron geoméricamente ajustando las coordenadas teniendo en cuenta los puntos de control.
- **Imagen de satélite:** Una imagen satelital es una representación visual de los datos reflejados por la superficie de la tierra que captura un sensor montado en un satélite artificial. Los datos son enviados a una estación terrena en donde se procesan y se convierten en imágenes, enriqueciendo nuestro conocimiento de las características de la Tierra en diferentes escalas espaciales.
- **Imágenes Landsat:** Los satélites Landsat han capturado imágenes de la tierra desde 1972, es un sensor multiespectral que capta tomado imágenes multiespectrales de mediana resolución, Landsat posee un archivo histórico incomparable en calidad, detalle, cobertura y duración, tiene imágenes de todo el mundo desde la década del 80 hasta la actualidad.
- **Imagen multiespectral:** Imagen que lleva asociados varios valores numéricos a cada píxel, tantos como bandas espectrales sea capaz de detectar el sensor. A priori, es el tipo de producto más útil ya que nos proporciona, en cierto modo, la firma espectral de los distintos elementos presentes en la imagen.
- **Landsat 8:** En la actualidad el programa se encuentra en su octava versión denominada: “Landsat Data Continuity Mission” (LDCM) es el octavo satélite de observación de la serie Landsat y continuará el legado de archivo de los anteriores

satélites, convirtiéndose de esta manera en el futuro de los satélites de observación de la tierra de mediana resolución con más historia.

- **Precipitación:** Se conoce como hidrometeoro a cualquier producto formado por la condensación del vapor atmosférico ya sea en el aire o en la superficie de la tierra.
- **Pluviometría:** Es la actividad encargada de medir las precipitaciones, sean estas en forma líquida o sólida. Se parte de la concepción de que la lluvia se reparte uniformemente sobre una superficie plana y se mide en espesor de lámina.
- **Reflectancia:** Se define como la proporción de energía incidente que es reflejada por una superficie. Por lo tanto, es una magnitud adimensional que puede tomar valores entre 0 y 1 y porcentajes entre 0 y 100%.
- **Resolución espacial:** Es una medida de la distancia angular o lineal más pequeña que puede captar un sensor remoto de la superficie de la Tierra, y viene representada por un píxel. El píxel es generalmente de forma cuadrada, por lo que la longitud medida sobre el terreno de un lado del píxel define la resolución espacial del sensor. La resolución espacial de un sensor se suele expresar en metros o metros/píxel.
- **Retroceso glaciar:** Se conoce como retroceso glaciar al ascenso de la línea inferior de las nieves permanentes de alta montaña cada vez a mayor altitud, hasta desaparecer por completo, en muchos casos, como consecuencia del deshielo o fusión glaciar. Entre las causas concurrentes en la fusión glaciar acelerada y el consecuente retroceso, adelgazamiento del espesor, disminución de la extensión y el volumen de la masa glaciar.
- **Sensores remotos:** Es el instrumento que se encuentra en la plataforma satelital capaz de captar la energía procedente de la cubierta terrestre. Existen dos tipos de sensores:

Sensores Pasivos. Están limitados a recopilar y almacenar la energía electromagnética emitida por las cubiertas terrestres, que son reflejadas por los rayos solares o provenientes de su propia temperatura. Estos sensores se clasifican en: sensores fotográficos (cámaras fotográficas), sensores óptico-electrónicos (exploradores de barrido y empuje, y las cámaras de vidicon), y los sensores de antena (radiómetros de micro-ondas).

Sensores Activos. Tienen la capacidad de emitir su propio haz de energía, el que luego de la reflexión sobre la superficie terrestre es recibido por el satélite. El sensor más conocido es el Radar (radiómetro activo de micro-ondas), el que puede trabajar en cualquier condición atmosférica. El otro sensor conocido es el Lidar.

- **Satélites de observación:** Los satélites de observación de la tierra son instrumentos que orbitan el planeta y registran la radiación electromagnética que emite o refleja la superficie terrestre. Su funcionamiento se basa en la llamada firma espectral, es decir en la forma peculiar de reflejar o emitir energía electromagnética de un determinado objeto o sustancia. Esta firma espectral depende de las características físicas y químicas que interaccionan con la energía electromagnética y varía según las longitudes de onda. A través de la firma espectral se pueden identificar diferentes tipos de suelos, cultivos, cuerpos de agua, y otras características de la superficie terrestre.
- **Teledetección:** La teledetección es la técnica de adquisición de datos de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales. La interacción electromagnética entre el terreno y el sensor, genera una serie de datos que son procesados posteriormente para obtener información interpretable de la Tierra.
- **Temperatura:** La Temperatura es una magnitud que mide el nivel térmico o el calor que un cuerpo posee. Toda sustancia en determinado estado de agregación (sólido, líquido o gas), está constituida por moléculas que se encuentran en continuo movimiento.

CAPÍTULO III

PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el presente trabajo se procedió al cálculo de las áreas de cobertura del nevado del Ampay, en diferentes épocas del año, la tasa de retroceso, del área glaciaria se determina mediante el análisis estadístico de los datos que muestra el satélite, la correlación entre el retroceso del glaciar y el cambio climático y realizar un análisis de T de student para evaluar la significancia entre las variables cuantitativas y finalmente evaluar el escenario futuro hipotético del nevado del Ampay.

En el análisis y discusión del proyecto de Investigación se determina que, según Maestro C., Roció J. (2004), realiza un análisis comparativo de los métodos de estimación de superficie Glaciaria, a partir de Imágenes Landsat, lo cual indica que existe data histórica de resolución espacial disponible es de 30 m., para la cual se refuerza la estimación de cubierta de nieve en el presente trabajo de Investigación, debido a que las imágenes Landsat poseen un archivo histórico desde los años 1975 hasta la actualidad.

Según el Dr. L. Thompson (2013), en Informe publicado por la revista Science New York Times News Service, sostiene que el aumento de Temperatura ha roto el equilibrio natural en el descongelamiento de los glaciares, haciendo una comparación de los datos extraídas de SENAMHI (fig. 13), no indica el incremento de la temperatura media entre (1980-2015).

Colonia, Torres (2012), determina el retroceso del glaciar Llanganuco, a través de imagen Landsat periodo 1987 – 2007, durante 20 años, ha perdido 1.523 Km², en 9 años y 2.345 km², en 11 años, proyecta la pérdida de 65% de superficie glaciaria al año

2037, realizando la comparación con el nevado del Ampay en el periodo 1980 -2015 habrá perdido un 41.689%, al 2040 habrá desaparecido el glaciar, por otro lado Gonzales F. (2011), en el Estudio Multitemporal del Nevado del Ampay en el contexto de Cambio Climático 1986 – 2011, determina la pérdida de 108 Ha., que representa el 56%, por otro lado en este trabajo de Investigación desarrollado, la pérdida de área de glaciar es de 96.858 Ha., que representa el 41.689% en el periodo 1980 – 2015.

3.1. ANÁLISIS DE TABLAS Y GRÁFICOS

3.1.1. Resultados de la variable cambio climático

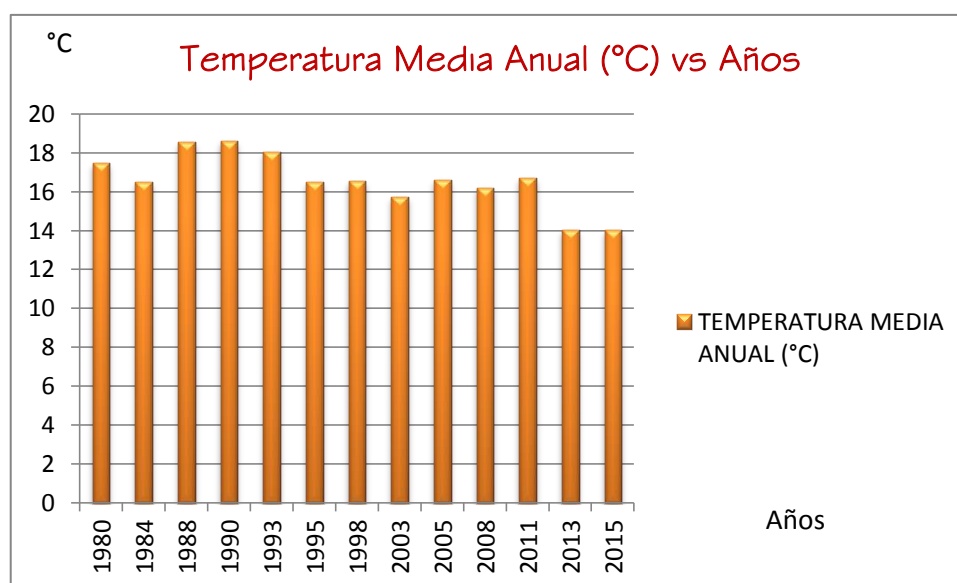


Figura 13: Representa la temperatura media anual en diagrama de barras correspondientes a los años (1980 – 2015), los datos son tomados de SENAMHI de la estaciones de Tamburco y Abancay.

Según el informe del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (IPCC, 2007), destaca que el promedio de la temperatura global durante los últimos 10 años (1995-2005) aumentó en un 0,74°C, pero analizando los datos tomados de SENAMHI de la estaciones de Tamburco y Abancay, no resalta el aumento, se visualiza un decremento de la temperatura.

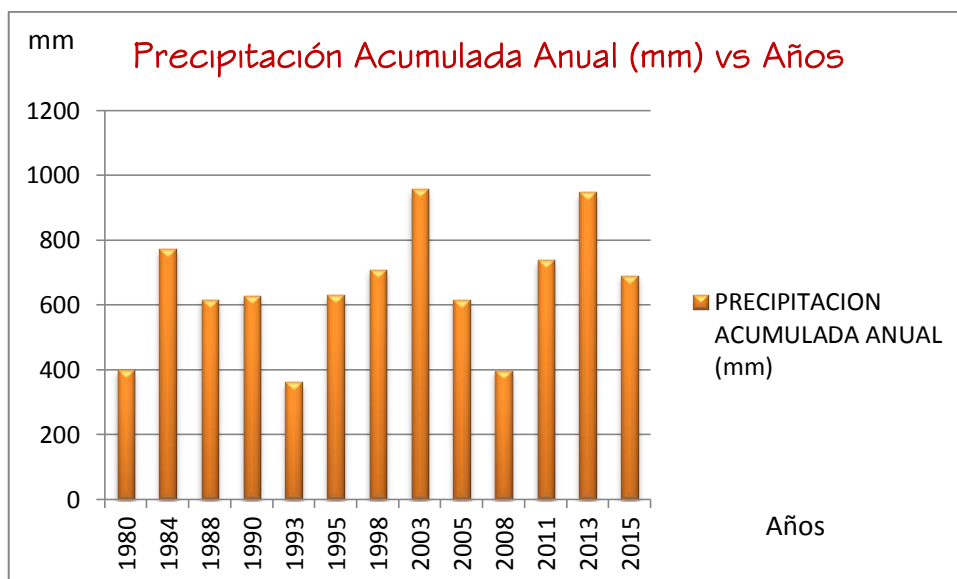


Figura 14: Representa la precipitación acumulada anual en diagrama de barras correspondientes a los años (1980 – 2015), en el grafico se puede visualizar que la precipitación acumulada anual es variado según los años, los datos son tomados de SENAMHI de la estaciones de Tamburco y Abancay.

Tabla 4

Estadística Descriptiva entre superficie glaciaria y temperatura media anual periodo 1980-2015.

Variable	Observaciones	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
SUPERFICIE GLACIAR EN (Ha)	13	69.248	525.793	185.201	121.951
TEMP MEDIA ANUAL °C	13	14.010	18.610	16.582	1.445

Fuente: Imágenes de satélite Landsat y datos de SENAMHI.

Los resultados de la estadística descriptiva de desviación típica de 1.445 de la temperatura media es un valor pequeño, por lo tanto la media es un índice representativo de toda la distribución, indica que el dato es más confiable.

Tabla 5

Matriz de correlaciones entre temperatura media anual y superficie glaciaria periodo 1980-2015.

	TEMP MEDIA ANUAL °C	SUPERFICIE GLACIAR EN (Ha)
TEMP MEDIA ANUAL °C	1	0.417
SUPERFICIE GLACIAR EN (Ha)	0.417	1

Fuente: Imágenes de satélite Landsat y datos de SENAMHI.

Analizando la Tabla 5, la variable de superficie glaciar con la variable de temperatura media anual tiene una relación de 0.417 que es una correlación positiva media, según Colonia y Torres (2012), determinó la correlación de la temperatura media anual y la superficie glaciar de -0.02 (correlación mínima).

Tabla 6
Parámetros del modelo Área Glaciar en el periodo 1980-2015.

Fuente	Valor	Error estándar	t	Sig > t	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)
Intercepción	-398.122	384.760	-1.035	0.323	1244.973	448.729
TEMP MEDIA ANUAL °C	35.177	23.122	1.521	0.156	-15.714	86.069

Fuente: Imágenes de satélite Landsat y datos de SENAMHI.

En el análisis del parámetro del modelo de la superficie glaciar podemos determinar cuanta variación tendrá la desglaciación del nevado del Ampay ($b=35.177$) al momento de tener un incremento de la temperatura media anual.

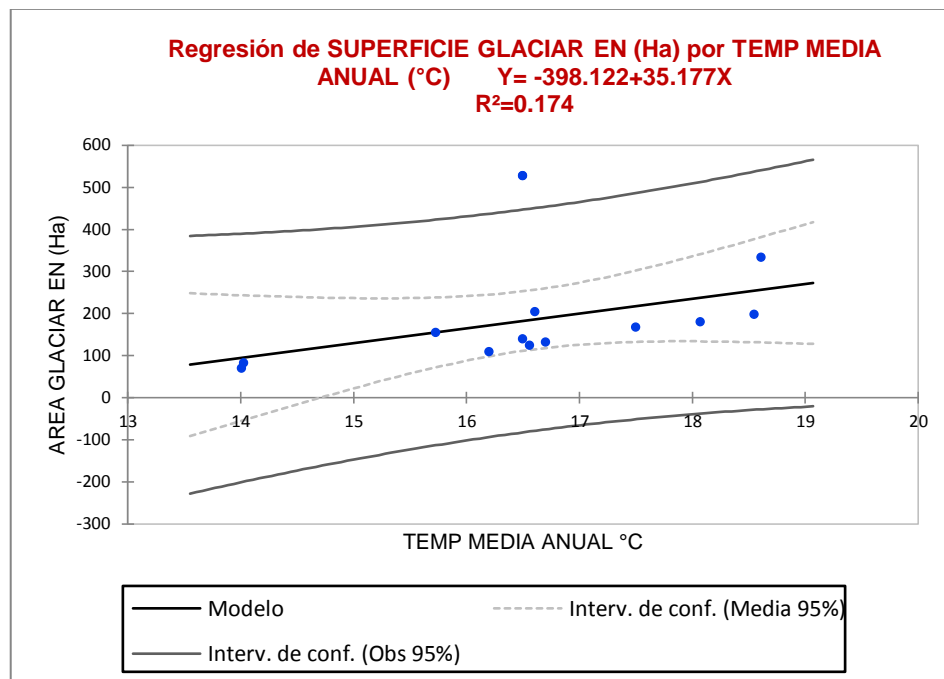


Figura 15. Representa la regresión lineal de la superficie glaciar con respecto a la temperatura media anual donde la ecuación nos muestra una tendencia positiva (+), con un coeficiente de correlación cuadrática $R^2 = 0.1738$, lo que indica de que la variable explicativa (temperatura media anual) representa un 17.38% que es el porcentaje de variabilidad con la variable dependiente (superficie glaciar).

INTERPRETACIÓN DE LA SUPERFICIE DEL GLACIAR

Dado el valor p asociado al estadístico descriptiva, calculado en la Tabla 4, y dado el nivel de significación es 0.56,> del 5%, la información aportada por las variables explicativas no es significativamente mejor que la que podría aportar únicamente es la media. El hecho de que las variables no aporten información significativa al modelo puede interpretarse de diversos modos: o bien las variables no contribuyen a la explicación del modelo, o bien faltan algunas covariables que podrían explicar la variabilidad.

Tabla 7
Estadística descriptiva entre superficie glaciar y precipitación acumulada periodo 1980-2015.

Variable	Observaciones	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
SUPERFICIE GLACIAR EN (Ha)	13	69.248	525.793	185.201	121.951
PECIPI ACUMULA (mm)	13	362.000	958.000	651.846	187.996

Fuente: Imágenes de satélite Landsat y datos de SENAMHI.

Los resultados de la estadística descriptiva de desviación típica de 187.996 de la precipitación acumuladas es un valor alto, por lo tanto la media es un índice representativo de toda la distribución, indica que el dato es poco confiable.

Tabla 8
Matriz de correlaciones entre precipitación acumulada y superficie glaciar.

	PECIPI ACUMULA (mm)	SUPERFICIE GLACIAR EN (Ha)
PECIPI ACUMULA (mm)	1	0.041
SUPERFICIE GLACIAR EN (Ha)	0.041	1

Fuente: Imágenes de satélite Landsat y datos de SENAMHI.

Interpretando la Tabla 8, la variable de superficie glaciar con la variable de precipitación acumulada tiene una relación de 0.041 que es una correlación mínima, según Colonia y Torres (2012), determinó la correlación de la precipitación acumulada y la superficie glaciar de 0.28 (correlación leve).

Tabla 9

Parámetros del modelo de la superficie del glaciar periodo 1980-2015.

Fuente	Valor	Error estándar	t	Sig > t	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)
Intercepción	168.024	132.188	1.271	0.230	-122.920	458.968
PECIPI ACUMULA (mm)	0.026	0.195	0.135	0.895	-0.404	0.456

Fuente: Imágenes de satélite Landsat y datos de SENAMHI.

En el análisis del parámetro del modelo de la superficie glaciar expresa la variación tendrá la desglaciación del nevado del Ampay ($b=0.026$) al momento de tener un incremento de precipitación acumulada.

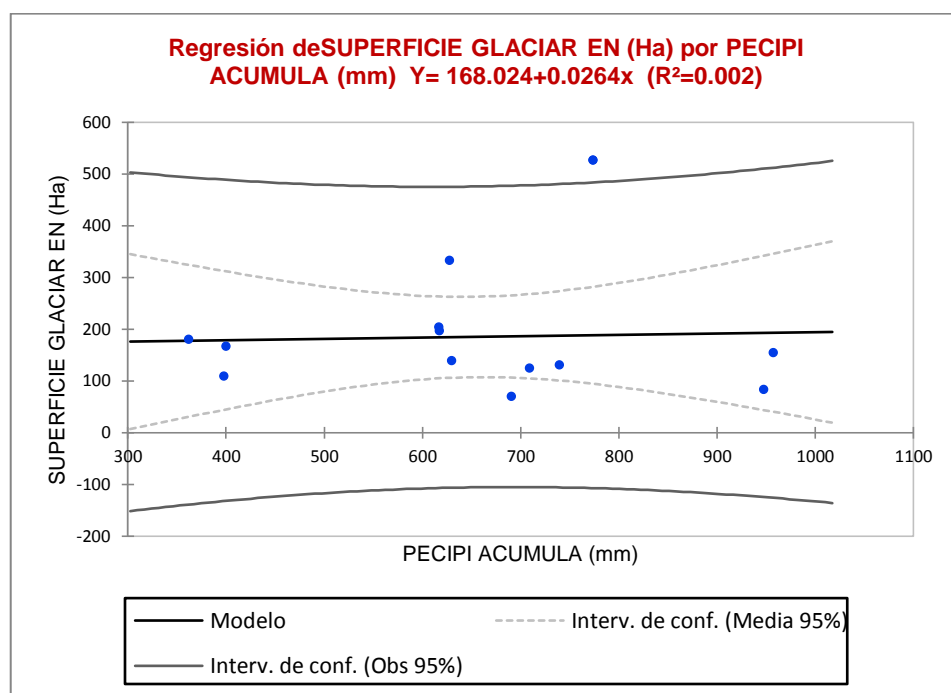


Figura 16. Representa la regresión lineal de la superficie glaciar con respecto a la precipitación acumulada donde la ecuación nos muestra una tendencia positiva (+), con un coeficiente de correlación cuadrática $R^2 = 0.002$, lo que indica de que la variable explicativa (precipitación acumulada) representa un 0.20% que es el porcentaje de variabilidad con la variable dependiente (superficie glaciar).

INTERPRETACIÓN DE LA SUPERFICIE DEL GLACIAR

Dado el valor p asociado al estadístico descriptivo, calculado en la Tabla 7, y dado el nivel de significación es 0.895, > del 5%, la información aportada por las variables

explicativas no es significativamente mejor que la que podría aportar únicamente es la media. El hecho de que las variables no aporten información significativa al modelo puede interpretarse de diversos modos: o bien las variables no contribuyen a la explicación del modelo, o bien faltan algunas covariables.

3.1.2. Resultados de la variable desglaciación del nevado

Tabla 10

Áreas de la cobertura glaciar del periodo 1980 – 2015.

Año	Satélite	Sensor	Path/Row	Área (Ha.)	Variación área (Ha.)
1980	Landsat 4	MSS	04/69	166.106	0
1984	Landsat 5	TM	04/69	525.793	-359.687
1988	Landsat 5	TM	04/69	196.098	329.695
1990	Landsat 5	TM	04/69	331.985	-135.887
1993	Landsat 5	TM	04/69	179.337	152.648
1995	Landsat 5	TM	04/69	137.900	41.437
1998	Landsat 5	TM	04/69	123.82	14.08
2003	Landsat 5	TM	04/69	153.937	-30.117
2005	Landsat 5	TM	04/69	203.254	-49.317
2008	Landsat 5	TM	04/69	107.918	95.336
2011	Landsat 5	TM	04/69	130.214	-22.296
2013	Landsat 8	OLÍ	04/69	82.004	48.210
2015	Landsat 8	OLÍ	04/69	69.248	12.756

Fuente: Imágenes de satélite Landsat.

Para determinar el retroceso glaciar se realizó el mapeo de la cobertura glaciar mediante la aplicación del índice normalizado de nieve (NDSI) con las imágenes satelitales Landsat 4, 5, y 8 respectivamente, se determinó la superficie del glaciar por un periodo de 35 años, que se presenta en el (Anexo 4) representado por extractos cartográficos que corresponden al periodo (1980- 2015).

El glaciar del Ampay muestra una pérdida de superficie de 96 Ha, que representa el 41.689 % (35 años), durante el periodo en estudio, por otro lado Gonzales F. (2011), en su estudio concluye, que el retroceso glaciar del nevado del Ampay es eminente con una pérdida de 108 ha., que representa el 56% desde el año 1986 al 2011.

En este glaciar se pueden distinguir que en el primer periodo entre 1980 - 1990 hay una tasa de incremento anual muy marcado de 199.863 % según Tabla 10, en el periodo de 1995 - 2003 se muestra una tasa de retroceso de -46.369 % de nevado, y el periodo entre 2003 - 2015 se obtuvo como resultado una pérdida de -44.984%. A pesar de que existen diferencias entre los tres periodos, esas diferencias no son significativas desde un punto de vista estadístico.

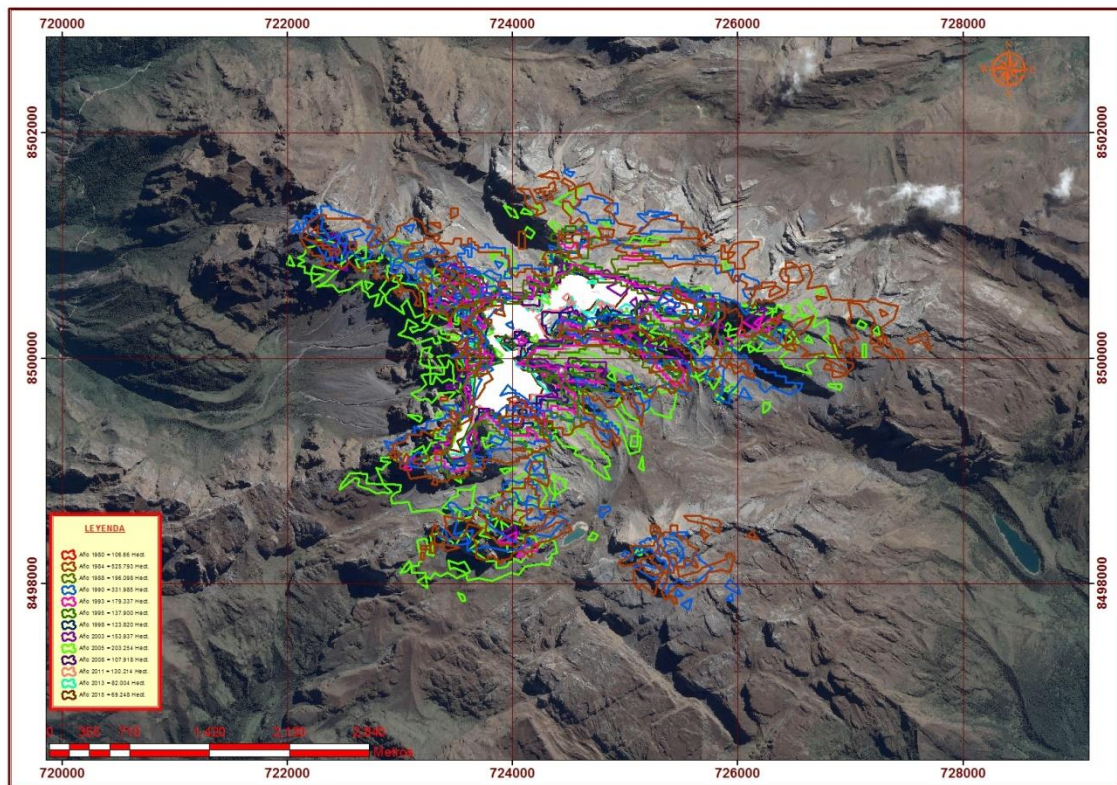


Figura 17. Evolución de retroceso del glaciar de Ampay entre los años 1980 – 2015.

Análisis multitemporal de cambio de la cobertura glaciar.

Para el análisis multitemporal se calculó la superficie (Hect.) para cada glaciar en el periodo (1980- 2015) de estudio, correspondiente a los mapas de cobertura obtenida de los extractos de la figura 19. A estos datos se les aplicó la siguiente fórmula (Bocco et al., 2001).

$$A_1 = A_2 \left((1 + r)^{1/t} - 1 \right) \quad (4)$$

Dónde:

A_2 y A_1 : son las áreas de cobertura de nieve en el tiempo final (t_2) e inicial (t_1)

r = Tasa de cambio anual.

t: Temperatura en diferentes épocas del año, que se obtiene por medio de la comparación del área cubierta de nieve en las diferentes épocas del año. La fórmula empleada para el presente estudio (Ec. 4) resulta en una tasa porcentual anual, usada frecuentemente para cálculos de tasa de cambio anual (Bocco et al., 2001).

De la Ecuación (4) despejamos r y se multiplica por 100 para obtener la tasa de retroceso en porcentaje.

$$r = \left[\left(\frac{A_2}{A_1} \right)^{1/t_2-t_1} - 1 \right] \quad (5)$$

A partir del área de cobertura de glaciar determinado, se determinó la tasa de retroceso según los años y referente al año 1980, tal como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 11

Áreas de la cobertura glaciar del periodo 1980 – 2015 y tasa de retroceso.

Año	Área glaciar en (ha.)	Variación de área según años (ha.)	tasa de cambio anual (%)	Tasa de retroceso referente al año 1980 (%)	
				retroceso	incremento
1980	166.106	0	0	--	--
1984	525.793	-359.687	33.385		316.541
1988	196.098	329.695	-21.852		118.060
1990	331.985	-135.887	30.114		199..863
1993	179.337	152.648	-18.558		107.965
1995	137.9	41.437	-12.311	83.019	
1998	123.82	14.08	-3.526	74.541	
2003	153.937	-30.117	4.45	92.543	
2005	203.254	-49.317	14.907		122.364
2008	107.918	95.336	-19.025	64.969	
2011	130.214	-22.296	6.46	78.392	
2013	82.004	48.21	-20.642	49.368	
2015	69.248	12.756	-8.106	41.689	

Fuente: Imágenes de satélite Landsat.

En la Tabla 11, se muestra la tasa de cambio anual según los años y la tasa de retroceso referente al año 1980, en el periodo 1984 al 1993 hubo incremento de la superficie del glaciar, posteriormente hasta el 2015 retroceso en un 41.689%., Por otra parte Autoridad Nacional del Agua (2016), presentó el Inventario de Glaciares el resultado es alarmante en los últimos 40 años, los glaciares de las 19 cordilleras

nevadas del Perú han sufrido la pérdida de su superficie en más de un 40%, con lo que corrobora con el estudio.

Para el análisis de la correlación lineal de la variable de desglaciación de la superficie del nevado en función a los periodos (1980-2015), se calculó los gráficos de diagramas y la correlación con respecto al tiempo tal como se muestra en la figura 19, donde resulta una ecuación lineal con tendencia negativa y la ecuación cuadrática.

$$\text{Area glaciár} = 13656 - 6.740(\text{Años}) \quad (6)$$

$$R^2 = 0.3993 \quad (7)$$

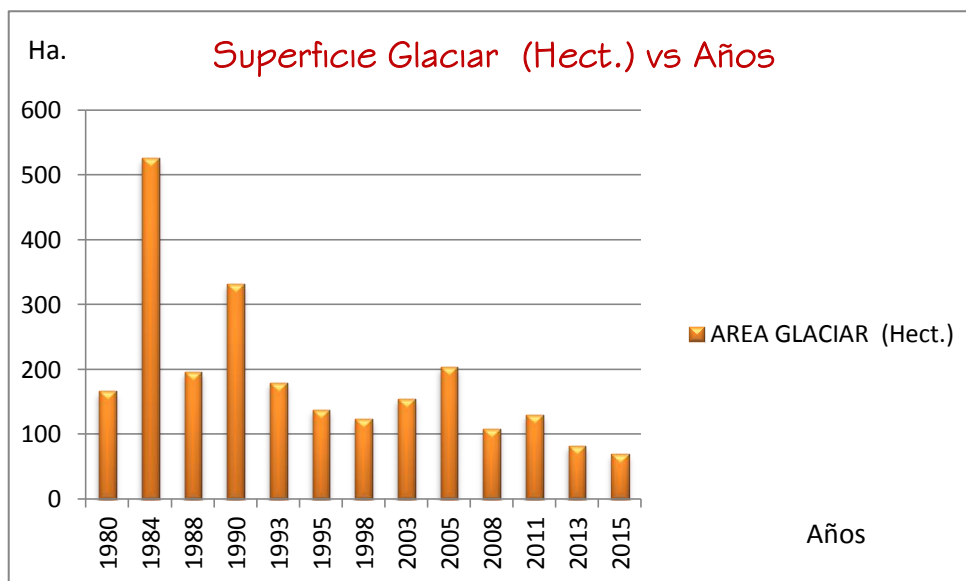


Figura 18. Representa el área de la cubierta del glaciár en diagrama de barras correspondientes a los años (1980 – 2015), se muestra que el año 1984 hubo incremento del área del glaciár y los años siguientes descenso.

Se puede ver claramente el nivel de retroceso, también se visualiza que en los años 1984, 1990 y 2005 hubo incremento de cobertura glaciár debido al cambio climático en esos años, por otra parte (Francou et al., 2007), indica el rápido encogimiento de los glaciares amenaza al sustento de muchas personas y ecosistemas. Bolivia, Ecuador y Perú están entre las regiones más a riesgo del deshielo glaciár.

Tabla 12

Estadístico descriptivo entre superficie glaciar y los años periodo 1980-2015.

Variable	Observaciones	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
SUPERFICIE GLACIAR EN (Ha)	13	69.248	525.793	185.201	121.951
AÑOS	13	1980.000	2015.000	1998.692	11.434

Fuente: Imágenes de satélite Landsat y datos de SENAMHI.

Los resultados de la estadística descriptiva de desviación típica de 11.434 de los periodos 1980 -2015, es un valor pequeño, por lo tanto la media es un índice representativo de toda la distribución, indica que el dato es confiable.

Tabla 13

Matriz de correlaciones entre los años y superficie glaciar periodo 1980-2015.

	AÑOS	SUPERFICIE GLACIAR EN (Ha)
AÑOS	1	-0.632
SUPERFICIE GLACIAR EN (Ha)	-0.632	1

Fuente: Imágenes de satélite Landsat.

Interpretando la Tabla 13, la variable de superficie glaciar con respecto a los años (1980-2015) tiene una relación de -0.632 que es una correlación negativa media, que indica que a medida pasan los años hay un retroceso.

Tabla 14

Parámetros del modelo de la superficie del glaciar periodo 1980-2015.

Fuente	Valor	Error estándar	t	Sig > t	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)
Intercepción	13656.208	4981.706	2.741	0.019	2691.548	24620.868
AÑOS	-6.740	2.492	-2.704	0.021	-12.226	-1.254

Fuente: Imágenes de satélite Landsat.

En el análisis del parámetro del modelo de la superficie glaciaria con respecto a los años, podemos determinar que ($b=-6.748$), indica la variación que tendrá la desglaciación del nevado del Ampay al momento de tener un incremento de los años.

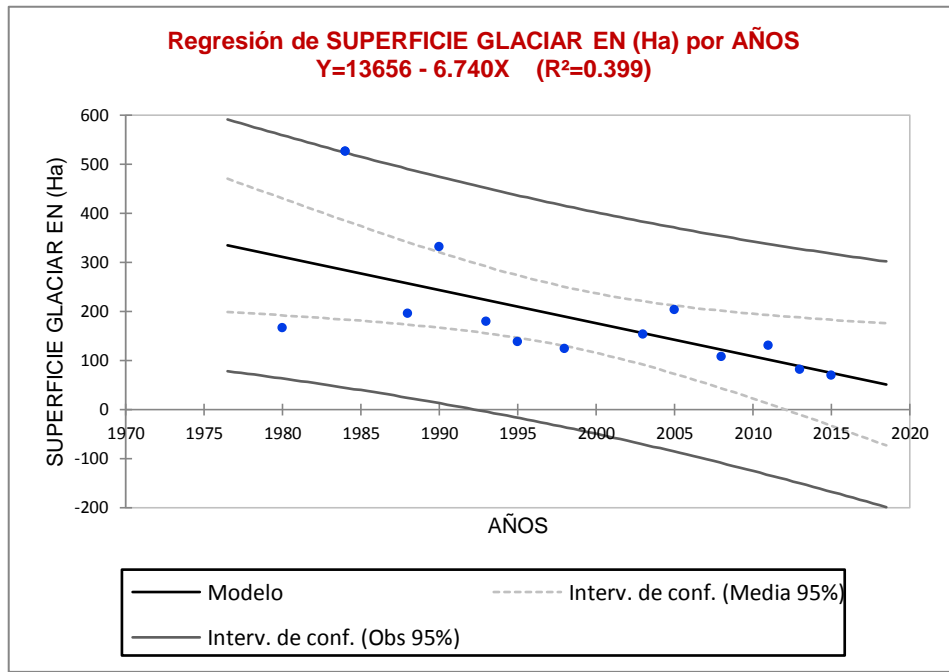


Figura 19. Correlaciones entre la superficie del glaciar con respecto al tiempo, donde la ecuación nos muestra una tendencia negativa (-), donde la superficie glaciaria disminuye y los años aumentan, con un coeficiente de correlación cuadrática R^2 , la variable explicativa explica el 40% de la variabilidad de la variable dependiente superficie glaciaria en (ha).

INTERPRETACIÓN DE LA SUPERFICIE DEL GLACIAR:

Dado el valor p asociado al estadístico F calculado en la Tabla 14, y dado el nivel de significación es 0.021, < del 5%, la información aportada por las variables explicativas es significativamente mejor que la que podría aportar únicamente la media.

3.1.3. De la correlación entre desglaciación del glaciar y cambio climático

Para la prueba de hipótesis del estudio de correlación se utilizó r de Pearson este método de correlación, se utilizó para determinar la “relación” entre las variables climáticas (temperatura y precipitación) y la cobertura glaciaria (área), por lo tanto con este método lo que se busca es determinar si existe o no una relación directamente entre las variables, los resultados se muestran a continuación:

Tabla 15
Correlación según Pearson área glaciar con respecto a los años.

		Años	Área glaciar en (Ha.)
Años	Correlación de Pearson	1	-0,632*
	Sig. (bilateral)		0,021
	N	13	13
Área glaciar en (Ha.)	Correlación de Pearson	-0,632*	1
	Sig. (bilateral)	0,021	
	N	13	13

*. La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).
Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 15 nos muestra que existe correlación entre los años y el área glaciar ya que la significación es 0.021 por lo tanto es menor de 0.05, la correlación de Pearson ($r = -0.632$), señala que se trata de una correlación negativa considerable, lo que indica que a medida que los años aumenta el área glaciar disminuye.

Tabla 16
Correlación según Pearson área glaciar con la temperatura media anual.

		Área glaciar en (Ha.)	Temperatura media anual (°C)
Área glaciar en (Ha.)	Correlación de Pearson	1	0,417
	Sig. (bilateral)		0,156
	N	13	13
Temperatura media anual (°C)	Correlación de Pearson	0,417	1
	Sig. (bilateral)	0,156	
	N	13	13

Fuente: Imágenes de satélite Landsat y datos de SENAMHI..

La Tabla 16 nos muestra la correlación entre el área glaciar y la temperatura de $r = 0.417$ lo indica que existe una correlación positiva media, la significancia es mayor a 0.05 (Sig = 0.156), A medida que aumenta la temperatura no crece o decrece el área glaciar.

Tabla 17

Correlación según Pearson área glaciar con la precipitación acumulada anual.

		Área glaciar en (Ha.)	Precipitación acumulada anual (mm)
Área glaciar en (Ha.)	Correlación de Pearson	1	0,041
	Sig. (bilateral)		0,895
	N	13	13
Precipitación acumulada anual (mm)	Correlación de Pearson	0,041	1
	Sig. (bilateral)	0,895	
	N	13	13

Fuente: Imágenes de satélite Landsat y datos de SENAMHI.

La Tabla 17 nos muestra la correlación entre el área glaciar y la precipitación acumulada anual, donde podemos indicar la correlación de Pearson ($r= 0.041$) lo indica que existe una correlación positiva muy leve, no hay correlación significativa ya que la significación es mayor de 0.05 (Sig = 0.895), A medida que aumenta la precipitación no crece o decrece el área glaciar, por lo tanto se debe buscar otra variable.

La correlación de Pearson ha permitido afirmar que existe un nivel de asociación entre la disminución de la superficie glaciar con respecto a los años donde podemos afirmar la correlación de Pearson ($r= 0.632$) y una significancia (Sig= 0.021), señala que se trata de una correlación negativa considerable, lo que indica que a medida que los años aumenta el área glaciar disminuye, por otra parte, la correlación de Pearson entre la superficie del glaciar y la variabilidad de la temperatura resulta una correlación de $r= 0.417$ y Sig= 0.156, la correlación de Pearson entre la superficie del glaciar y la precipitación acumulada con una correlación de $r= 0.041$ y Sig= 0.845, lo que indica que no hay correlación significativa entre estos indicadores. Por consiguiente, la superficie glaciar disminuye con la variabilidad de los años.

Para probar la significación de coeficiente de correlación se emplea la t de student que está dado por la siguiente ecuación:

$$t = \frac{r\sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (8)$$

Análisis de prueba T Student

Determinar la probabilidad de la correlación de los datos entre la variación del área en función de la variación climática.

Analizar si existe la relación entre las dos variables cuantitativas, haciendo uso del coeficiente de correlación de Student (t), tendremos dos hipótesis posibles:

Ho: No existe correlación entre el área del glaciar con respecto al cambio climático (nula).

Ha: Existe relación entre el área del glaciar con respecto al cambio climático (alterna).

La investigación que se realizó tiene una significancia de sig bilateral llamado como p-valor, para rechazar o afirmar la hipótesis.

Si p-valor es $< 0,05$ entonces rechazo la hipótesis nula, en favor de la hipótesis alterna porque p-valor $\neq 0.00$ y se asume que las dos variables están relacionadas.

Tabla 18

Estadística de muestras relacionadas temperatura media anual y precipitación acumulada anual.

Variable	Observaciones	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
TEMP. MEDIA ANUAL °C	13	14.010	18.610	16.582	1.445
PECIP. ACUMULA (mm)	13	362.000	958.000	651.846	187.996

Fuente: Datos de SENAMHI.

Tabla 19

Prueba de significancia para dos muestras relacionado.

Diferencia	-635.264
t (Valor observado)	-12.132
t (Valor crítico)	2.179
GL	12
Valor-p (bilateral)	< 0.0001
Alfa	0.05

Fuente: Elaboración propia.

Prueba t para dos muestras relacionadas / Prueba bilateral:

Intervalo de confianza para la diferencia entre las medias al 95%:

La Tabla 19 muestra el valor-p (bilateral) de 0.0001 menor que $\alpha=0.05$, por lo tanto acepto la hipótesis alterna y rechazo la hipótesis nula con un nivel de significancia del 95%. Por consiguiente se afirma que existe correlación entre área del glaciar y el cambio climático, que es el propósito de la presente investigación.

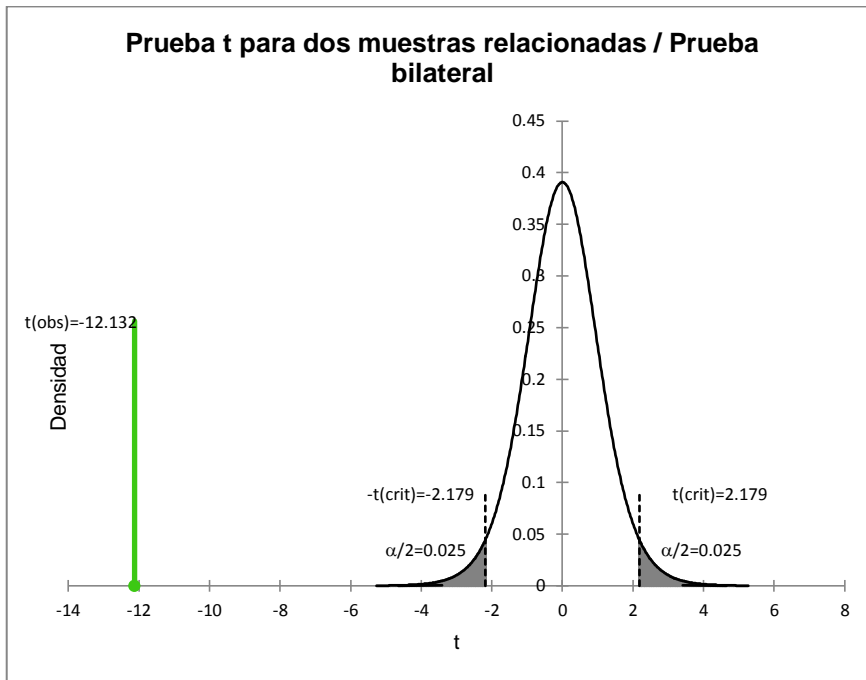


Figura 20. Prueba de t de Student de las muestras relacionadas de temperatura media anual y la precipitación acumulada.

INTERPRETACIÓN DE LA PRUEBA.

H₀: La diferencia entre las medias es igual a 0.

H_a: La diferencia entre las medias es diferente de 0.

Puesto que el valor-p computado es menor que el nivel de significación $\alpha=0.05$, se debe rechazar la hipótesis nula H₀, y aceptar la hipótesis alternativa H_a

3.1.4. Efectos del cambio climático en el tiempo

Para realizar un escenario futuro, se usó las superficies estimadas en el periodo de estudio (35 años), considerando al año 1980 como inicial y al año 2015 como final.

La superficie glaciar estimada nos permitió calcular la superficie del glaciar Ampay en el tiempo, que probablemente perderá su cubierta de nieve, se utilizó el siguiente modelo matemático propuesto (Alva, 2005).

$$P_X = P_0 + \left(\frac{P_1 - P_0}{n} \right) * t \quad (8)$$

Dónde:

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

P_0 : Cantidad de hectáreas para el primer año

P_1 : Cantidad de hectáreas para el último año

n: Número de años entre P_0 y P_1 .

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

Tabla 20
Escenario futuro del glaciar (2018 – 2050).

Año	Área glaciar (ha.)	Regresión glaciar en (ha.)
2018	60.946	
2020	55.411	5.535
2023	47.109	8.302
2025	41.574	5.535
2028	33.272	8.302
2030	27.737	5.535
3035	13.901	13.836
2040	0.064	13.837
2045	-13.773	13.837
2050	-27.61	13.837

Fuente: Extractos cartográficos del anexo 4.

De la Tabla 20 podemos interpretar que el glaciar en el año 2040 estaría desapareciendo su cubierta de nieve, tal como manifiestan (Kaser et al., 1990; ANA, 2012), que durante las últimas décadas, el Cambio Climático ha producido un significativo retroceso glaciar en las cordilleras del Perú, que en un futuro no muy lejano estarían desapareciendo los glaciares.

3.2. CONCLUSIONES

1. Se determinó la medida que permite conocer la Teledetección en la desglaciación del nevado del Ampay debido al Cambio Climático en el periodo 1980-2015.
2. Para determinar la situación del Cambio Climático en la desglaciación del nevado del Ampay, se ha considerado los datos meteorológicos de las estaciones de Tamburco y Abancay, la correlación de Pearson ha permitido afirmar que existe un nivel de asociación entre la disminución de la superficie glaciar con respecto a los años donde podemos afirmar la correlación de Pearson ($r= 0.632$) y una significancia ($Sig= 0.021$), señala que se trata de una correlación negativa considerable, lo que indica que a medida que los años aumenta, el área glaciar disminuye, por otra parte, la correlación de Pearson entre la superficie del glaciar y la variabilidad de la temperatura resulta una correlación de $r= 0.417$ y $Sig= 0.156$, la correlación de Pearson entre la superficie del glaciar y la precipitación acumulada con una correlación de $r= 0.041$ y $Sig= 0.845$, lo que indica que no hay correlación significativa entre estos indicadores. Por consiguiente, la superficie glaciar disminuye con la variabilidad de los años.
3. La pérdida del área del nevado del Ampay debido al Cambio Climático, representa una superficie de 96.858 Ha., el porcentaje de desglaciación del nevado del Ampay es muy significativo, que los cálculos determinaron el 41.689% de desglaciación en el periodo 1980 – 2015, por lo tanto el 58.311% desde el año 2015 está sujeto a los procesos de desglaciación de manera irregular.
4. Los efectos que produce el Cambio Climático en el tiempo, se muestra en la Tabla 20, para el año 2040 habrá desaparecido el nevado del Ampay, tendríamos una superficie de cubierta de 0.064 Ha., y los siguientes años el escenario sería catastrófico no habría glaciar y desaparecería completamente.

3.3. RECOMENDACIONES

1. A los países, principalmente a los causantes del cambio climático deben controlar el grado de contaminación atmosférica, mínimamente cumpliendo los acuerdos del Protocolo y otros tratados de las diferentes cumbres.
2. Es necesario instalar una estación meteorológica automática en el glaciar del Ampay, que permitirá registrar las condiciones atmosféricas que caracterizan a este glaciar, registrando y almacenando cada hora los valores de la temperatura, la precipitación, la humedad del aire, la velocidad y dirección del viento, los componentes del balance de radiación solar y la cantidad de nieve, tomar medidas de prevención, acciones de sensibilización y educación medioambiental dentro de la población para evitar los cambios acelerados del clima.
3. Teniendo referencia la pérdida del área de desglaciación del nevado del Ampay, se recomienda Implementar una estación de monitoreo con equipos de radar y Sistemas Aéreos no Tripulados (DRONES) para estudiar el comportamiento del glaciar, mediciones periódicas de superficie del glaciar, balance de masa, la longitud del frente y la línea de equilibrio del glaciar
4. A la sociedad en conjunto auto-reflexionar y concientizarnos sobre la importancia y protección de los glaciares de las cordilleras en los Andes del Perú y del mundo, puesto que los glaciares están en retroceso, tomar medidas adecuadas de adaptación frente a los impactos del cambio climático.

3.4. FUENTES DE INFORMACIÓN

Autoridad Nacional del Agua (ANA 2016) Gobierno Peruano “Política y estrategia Nacional de recursos hídricos” Lima-Perú.

Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2012).Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas. Autoridad Nacional del Agua: Lima.

Autoridad Nacional del Agua (ANA 2014) Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos” Huaraz-Perú.

Alberth, T. H. (2002). Evaluation of remote sensing techniques for ice-area classification applied to the tropical Quelccaya ice cap, Peru. *Polar Geography*, 26, n. 3, p. 210-226.

Allen, C. D., and D. D. Breshears (2010), A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests, *For. Ecol. Manage.*, 259(4), 660–684, doi: 10.1016/j .foreco.2009.09.001.

Alonso, C. y Moreno, V. (1969). “Análisis multitemporal de imágenes LANDSAT TM en la cartografía de las masas de hielo y nieve aplicada a la modelización hidrológica”. *Revista de Teledetección* núm 7. Diciembre, 1996.

Alva Huayaney Miguel, (2005), “Aplicación de la teledetección para el análisis multitemporal de la regresión glaciar en la Cordillera Blanca, provincia de Huaraz, distritos Huaraz e Independencia, periodos: 1989 –1998 – 2005”, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Fac.CCSS, EAP de Geografía, Lima, Perú, 11 Págs.

Ashok, K., S.K. Behera, S.A. Rao, H. Weng and T. Yamagata (2007). El Niño Modoki and its possible teleconnection. *Journal of Geophysical Research* 112: C11007. DOI: 10.1029/2006JC003798.

- Arias, F. (2006). El proyecto de investigación: Introducción a la investigación científica (5ta ed.). Caracas, Venezuela: Editorial Episteme, C.A.
- Bendix, J., K. Trache, E. Palacios, R. Rollenbeck, D. Goettlicher, T. Nauss, and A. Bendix (2011). El Niño meets La Niña – anomalous rainfall patterns in the “traditional” El Niño region of southern Ecuador. *Erdkunde* 65: 151–167.
- Boletín actualidad minera del Perú Nro. 185. El retroceso de los glaciares en el Perú. Disponible en: <http://www.cooperacion.org.pe/actualidad-minera-del-Peru-185>.
- Boletín Antártico Chileno BACH 27 N2 Boletín Antártico Chileno 2008. COMNAP MAP Bases Antárticas 2008. Actualizado 27 de jun del 2018.
- Bocco G.; Masera O. y Mendoza M. (2001). La dinámica del cambio de uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Boletín del Instituto de Geografía. UNAM. N°.* 44. Págs. 18 -38.
- Boulanger, J.-P., Martinez, F. & Segura E. (2006). Research for mountain area development: climatic fluctuations in the mountains of the Americas and their significance. *Ambio*, 29, 233–259.
- Bradley, R. S, Keimig, F. T. & Diaz H. F. (2006). Projected temperature changes along the American cordillera and the planned GCOS network. *Geophysical Research Letters*, 31, L16210.
- Buytaert, W., R. Célleri, and L. Timbe (2009). Predicting climate change impacts on water resources in the tropical Andes: Effects of GCM uncertainty. *Geophysical Research Letters* 36:

- Carey, M. (2005). Living and Dying with Glaciers: People's Historical Vulnerability to Avalanches and Outburst Floods in Peru. *Global and Planetary Change* 47 (2): 122–134.
- CIIFEN (2014). Variabilidad Climática y extremos. (En línea). Disponible en: http://www.ciifen.org/index.php?option=com_content&view=article&id=573%3Avariabilidad-climatica-y-extremos&catid=98%3Acontenido-1&Itemid=131&lang=es
- Chancos Pillaca J. (1995). Geografía General del Perú. Nuevos Enfoques. Editorial Universitaria de la Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle. Chosica.
- Chevallier P, Pouyaud B, Suarez W and Condom T (2010) Climate change threats to environment in the tropical Andes: glaciers and water resources. *Reg. Environ. Change*, 11, Suppl. 1, 179–187
- Church, Monselesan, Gregory and Ben Marzeion: Evaluating the ability of process based models to project sea-level change. *Environ. Res. Lett.* 8 (2013) 014051 (8pp). doi:10.1088/1748-9326/8/1/014051
- Condori, H, Espinoza, J. Ulfe, R. (2010). Informe de Evaluación y Estimación de riesgos Ambientales. Disponible en: <http://www.slideshare.net/herlicondoriflores/informe-final-eval-riesgo-pucapuca-fonavi-otros>.
- Colonia Ortiz, D. F., Torres Castillo J. E. (2012). Determinación del retroceso glaciar en la microcuenca Llanganuco, a través del análisis multitemporal en el periodo 1987 – 2007.
- Colonia Ortiz, Judith E. Torres Castillo (2013). Disponibilidad hídrica glaciar en la subcuenca Quillcay, teniendo en cuenta el retroceso glaciar y el cambio climático, 1970-2013-2050.

- Colonia, D., Torres, J., Haeberli, W., Schauweckers, S., Braendle, E., Giraldez, C. and Cochachin, A., (2017). Compiling an Inventory of Glacier-Bed Overdeepenings and Potential New Lakes in De- Glaciating Areas of the Peruvian Andes: Approach, First Results and Perspectives for Adaptation to Climate Change. *Water*, 9(5), 336.
- Collins, M., R. Knutti, J. Arblaster, J.-L. Dufresne, T. Fichefet, P. Friedlingstein, X. Gao, W.J. Gutowski, T. Johns, G. Krinner, M. Shongwe, C. Tebaldi, A.J. Weaver, and M. Wehner, (2013).
- Coumou D, Robinson A and Rahmstorf S (2013) Global increase i record-breaking.
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC, 1992).Art. 1.
- Dávila y Zavala, 1997), Riesgos Geológicos del Perú Franjas N°2 y N°3 (INGEMMET, 2002 y 2003)
- Dozier, J. (1989) “Spectral signature of alpine snow cover from the Landsat Thematic Mapper”. *Remote sensing of environment* núm. 28, pág 9 - 22.
- Fernández, C., Benavente, R., Loayza, C, Acurio, H. (2007). Mapa de Peligros de la ciudad de Abancay. Municipalidad provincial de Abancay, 300 pp.
- Francou, B. et C. Vincent (2007). *Les glaciers à l'épreuve du climat*. IRD Editions. Garcia, M., D. Raes and S.E. Jacobsen (2003). Evapotranspiration analysis and irrigation requirements of quinoa (*Chenopodium quinoa*) in the Bolivian highlands. *Agricultural Water Management* 60: 119–134. doi:10.1016/S0378-3774(02)00162-2

- Garreaud, R., Vuille, M. and Clement, A. C. (2003). The climate of the Altiplano: observed current conditions and mechanisms of past changes. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 194 (1-3): 5-22.
- Gómez W., Zamora N., Cabrel C., (2012). Evaluación de la cobertura glaciár utilizando técnicas de teledetección espacial en la subcuenca del río Quellcayhuanca – río Santa.
- Gómez Marcelo M., (2006). “Introducción a la Metodología de la Investigación Científica”, Córdoba 1º ed.
- Gonzales Ferro L. A. (2011). Estudio multitemporal del nevado Ampay en el contexto del cambio climático: 1986 –2011. Instituto de Investigación Universidad y Región (IIUR, 2011).
- Gyanesh Chander, Markham Brian L. y Helder Dennis L. , 2009, Remote sensing of environment: summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors, [S.L.], Elsevier, 11 págs.
- Hans K. (1950). Cordillera Blanca, (Peru) Hardcover – 1950 by (Author), Erwin Scheider (Author)
- Hastenrath, S., & Ames, A. (1995). Recession of Yamanarey Glacier in Cordillera Blanca, Peru, during the 20th century. *Journal of Glaciology*, 41(137), 191–196.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2006). Metodología de la investigación: Roberto Hernández Sampieri, Carlos Fernández Collado y Pilar Baptista Lucio (4a. ed. --.). México D.F.: McGraw-Hill.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación: Roberto Hernández Sampieri, Carlos Fernández Collado y Pilar Baptista Lucio (6a. ed. --.). México D.F.: McGraw-Hill.

Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, (IPCC, 2007), Informe de síntesis, disponible en [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment%20report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf), [Accesado: el 03 de septiembre de 2009].

Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC 2002), disponible en: <https://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/climate-changes-biodiversity-sp.pdf>.

Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2013). Climate Change 2013 The Physical Science Basis Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change

Instituto de Investigación Universidad y Región (IIUR, 2012). Estudio Multitemporal del nevado Ampay en el contexto del Cambio Climático: 1986 – 2011.

Instituto de Investigación Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM). Glaciares en extinción diagnóstico de la situación actual del nevado Ampay, Cordillera Vilcabamba departamento de Apurímac Informe Técnico N° 20, Marzo 2016.

Kaser, G., Ames, A., & Zamora, M. (1990). Glacier fluctuations and climate in the Cordillera Blanca, Peru. *Annals of Glaciology*, 14, 136–140.

Kaser, G. and H. Osmaston (2002). *Tropical Glaciers*. Cambridge University Press.

- Kozhikkodan, B. V., Wang, S. C., Souza S. F., Bremer, U. F., & Cardia, S. J. (2017). Monitoreo de glaciares e interacciones glaciario-clima en los Andes tropicales.
- Lagos, P., Y. Silva, E. Nickl and K. Mosquera (2008). El Niño related precipitation variability in Perú. *Advances in Geosciences* 14: 231-237.
- Lemke, P., J. Ren, R.B. Alley, I. Allison, J. Carrasco, G. Flato, Y. Fujii, G. Kaser, P. Mote, R.H. Thomas and T. Zhang (2007). Observations: Changes in Snow, Ice and Frozen Ground. *Climate Change 2007: the physical science basis; summary for policymakers, technical summary and frequently asked questions. Part of the Working Group I contribution to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*: 337–383.
- Lee, T. and M.J. McPhaden (2010). Increasing intensity of El Niño in the central-equatorial Pacific, *Geophysical Research Letters* 37. doi: 10.1029/2010GL044007.
- Lizarzaburu J. Diehl L. y Deza J. (2012). El retroceso glaciario en la alta montaña de los Andes Peruanos. Caso: Santuario Nacional de Ampay, Apurímac.
- Lonnie G. Thompson (2013). Informe publicado el jueves por la revista *Science* New York Times News Service.
- Maestro Cano., Recio, J. (2004). Análisis comparativo de distintos métodos de estimación de la superficie glaciario en el Pirineo axial aragonés a partir de imágenes Landsat. *GeoFocus* núm. 4, pág. 79 - 92.
- Medina, G., Mejía A., (2013). Análisis multitemporal y multifractal de la desglaciación de la cordillera Parón en los andes de Perú.

- Miller, G., (2007). *Ciencia ambiental: Desarrollo sostenible, un enfoque integral*, 8va edición, Editores Internacional Thomson, México.
- Ministerio del Ambiente (MINAN 2014). *Montañas Glaciares y Aguas*, Revista Informática.
- Morocco, R. (1975). *Geología de los cuadrángulos Andahuaylas, Abancay y Cotabambas*. Lima, Edt. Instituto de Geología y Minería, 51 pp.
- Ñupas, H., A. Amezcuita (1996). *Reconocimiento geomorfológico, geológico y geográfico de Abancay y su hinterland*. Informe Científico. Universidad de los Andes.
- Paterson, W. S. B. (1994). *The physics of glaciers*. 3rd edition. Oxford, etc., Pergamon, 480 pp. ISBN 0-08037945 1. Hardback. £70; 0-08037944 3, Flexieover. £25.
- Pardo, I. A., M. G. Cárdenas y M.A. Effen (2007). *El Cambio Climático en Bolivia (Análisis, Síntesis de Impactos y Adaptación)*. Ministerio de Planificación del Desarrollo. Quality, SRL, La Paz - Bolivia 69.
- Peñaherrera del Águila C., (1969). *Geografía general del Perú , Aspectos físicos* . Lima: Ed. Ausonia.
- Pouget, J.-C., R. Calvez, P. Le Goulven, P. Lloret and M. Villacis (2008). *Challenges of water resources planning in the Andes - The case of Quito in Ecuador*. XIII Congreso Mundial del Agua, Septiembre de 2008. Montpellier, Francia.
- Olmos G.A., C.A.A. (2011). *Gestion des ressources hydriques des villes de La Paz et d'El Alto (Bolivie): modélisation, apports glaciaires et analyse des variables*. Faculté des Sciences, Laboratoire de Glaciologie. Bruxelles, Université Libre de Bruxelles. Thèse de doctorat.

- Onwuegbuzie, A.J., & Leech, N.L. (2004). Post hoc power: a concept whose time has come. *Understanding Statistics*, 3, 201-230.
- Rivera O., Silvia (2011). Cambio climático global a través del tiempo geológico Universidad Simón Bolívar.
- Sánchez H., Reyes C. (2006). Metodología y diseños en investigación científica. Edit. Visión Universitaria. Lima – Perú. pp.222.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). (2012). Escenarios de Cambio Climático para las Regiones Cusco y Apurímac 2030 y 2050.
- Schwarb, M., D. Acuña, T. Konzelmann, M. Rohrer, N. Salzmann, B. Serpa Lopez and E. Silvestre (2011). A data portal for regional climatic trend analysis in a Peruvian High Andes region. *Advances in Science & Research* 6: 219-226.
- Schauwecker, S., Rohrer, M., Huggel, C., Endries, J., Montoya, N., Neukom, R., Perry, B., Salzmann, N., Schwarb, M., & Suarez, W. (2017). The freezing level in the tropical Andes, Peru: An indicator for present and future glacier extents. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 122(10), 5172-5189.
- Scheel, M., M. Rohrer, C. Huggel, D. Santos, E. Silvestre and G.J. Huffman (2011). Evaluation of TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA) performance in the Central Andes region and its dependency on spatial and temporal resolution. *Hydrology and Earth System Sciences* 15: 2649–2663.
- Singh, P., Haritashya, U.K., Kumar, N., Singh, Y., 2006. Hydrological characteristics of the Gangotri Glacier, central Himalayas, India. *J. Hydrol.* 327 (3–4), 55–67.

- Tagestad, J.D. (2000). Radiometric standardization of adjacent Landsat Thematic Mapper images for multi-scene mosaics. (Tesis de Maestría). Utah State University, Logan, Utah.
- Tarazona Coronel Yonatan.(2012). Aplicación de la Teledetección para el análisis Multitemporal del retroceso glaciar en el Nevado Pastoruri.
- Thompson, L.G., E. Mosley-Thompson and B.M. Arno. (1984). El Niño/Southern Oscillation events recorded in the stratigraphy of the tropical Quelccaya Ice Cap. *Science*, 226(4670), 50–52.
- Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos (UGRH 2014) de la Autoridad Nacional del Agua (ANA).
- Vergara, W., A. Deeb, I. Leino, A. Kitch and M. Escobar (2011). Assessment of the Impacts of Climate Change on Mountain Hydrology. Development of a Methodology through a Case Study in the Andes of Peru. Washington, DC, The World Bank.
- Vera, C., Silvestri, G., Liebmann, B., & Gonzales, P. (2006). Climate change scenarios for seasonal precipitation in South America from IPCC-AR4 models. *Geophysical Research letters*, 33(13), L13707.
- Viviroli, D., M. Zappa, J. Gurtz and R. Weingartner (2009). An introduction to the hydrological modelling system PREVAH and its pre- and post-processing-tools. *Environmental Modelling & Software* 24(10): 1209-1222.
- Vuille, M., Francou, B., Wagnon, P., Juen, I., Kaser, G., Mark, B., & Bradley, R. (2008), Climate change and tropical Andean glaciers: Past, present and future. *Earth Science Reviews*, 89(3-4), 79-96.

ANEXOS 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS Y VARIABLES	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES						
<p><u>Problema principal</u></p> <p>1.- ¿En qué medida la Teledetección permite conocer la desglaciación del nevado del Ampay debido al Cambio Climático, en el periodo 1980 -2015?</p> <p><u>Problema secundario</u></p> <p>1. -¿Cuál es la situación del Cambio Climático</p>	<p><u>Objetivo general</u></p> <p>1. - Determinar la medida que permite conocer la Teledetección en la desglaciación del nevado del Ampay debido al Cambio Climático, en el periodo 1980 – 2015</p> <p><u>Objetivo específico</u></p> <p>1.- Determinar la situación del Cambio</p>	<p><u>Hipótesis general</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • La Teledetección permite conocer la desglaciación del nevado del Ampay debido al Cambio Climático, en el periodo 1980 – 2015. <p>Variable Independiente</p> <p>Cambio climático</p> <p>Variable Independiente</p> <p>Desglaciación del nevado</p> <p><u>Hipótesis secundaria</u></p>	<p><u>Variable Independiente :</u></p> <p>Cambio climático.</p> <table border="1" data-bbox="1581 662 2051 1112"> <thead> <tr> <th data-bbox="1581 662 1807 775">DIMENSIONES</th> <th data-bbox="1807 662 2051 775">INDICADOR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="1581 775 1807 943">Variación de la temperatura</td> <td data-bbox="1807 775 2051 943">Temperatura media anual en (°C.)</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1581 943 1807 1112">Variación de la precipitación</td> <td data-bbox="1807 943 2051 1112">Precipitaciones acumuladas en (mm)</td> </tr> </tbody> </table>	DIMENSIONES	INDICADOR	Variación de la temperatura	Temperatura media anual en (°C.)	Variación de la precipitación	Precipitaciones acumuladas en (mm)
DIMENSIONES	INDICADOR								
Variación de la temperatura	Temperatura media anual en (°C.)								
Variación de la precipitación	Precipitaciones acumuladas en (mm)								

<p>en el nevado del Ampay en el periodo 1980 - 2015?</p> <p>2. - ¿Cuál es la situación de la desglaciación del Ampay en el periodo 1980 - 2015?</p> <p>3. -¿De qué manera se relaciona el Cambio Climático en el área del nevado del Ampay en el periodo 1980 - 2015?</p> <p>4.- ¿Qué efectos produce la influencia del Cambio Climático</p>	<p>Climático en el nevado del Ampay en el periodo 1980 - 2015..</p> <p>2. - Analizar la situación de la desglaciación del nevado del Ampay en el periodo 1980 – 2015.</p> <p>3.- Establecer la relación del Cambio Climático en el área del nevado del Ampay en el periodo 1980 – 2015?</p> <p>4.- Determinar los efectos que produce el Cambio Climático en el</p>	<p>H3.- El cambio Climático influye significativamente en el área de desglaciación del nevado Ampay en el período 1980 - 2015.</p> <p>H4.- El Cambio Climático produce efectos en el tiempo en la desglaciación del nevado del Ampay.</p>	<p><u>Variable Dependiente :</u></p> <p>Desglaciación del nevado</p> <table border="1" data-bbox="1579 770 2051 1241"> <thead> <tr> <th>DIMENSIONES</th> <th>INDICADOR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>. Área (Extensión del nevado del Ampay)</td> <td>Superficie del Nevado Ampay (Ha)</td> </tr> <tr> <td>Tiempo (Proyección)</td> <td>Fusión glaciación de la masa de</td> </tr> </tbody> </table>	DIMENSIONES	INDICADOR	. Área (Extensión del nevado del Ampay)	Superficie del Nevado Ampay (Ha)	Tiempo (Proyección)	Fusión glaciación de la masa de
DIMENSIONES	INDICADOR								
. Área (Extensión del nevado del Ampay)	Superficie del Nevado Ampay (Ha)								
Tiempo (Proyección)	Fusión glaciación de la masa de								

en el tiempo, en el
nevado del Ampay?

tiempo, en el nevado del
Ampay.

del escenario
futuro del
nevado)

hielo (Ha)

POBLACIÓN Y MUESTRA	MÉTODO Y DISEÑO	TÉCNICAS E INSTRUMENTACIÓN	TRATAMIENTO ESTADÍSTICO
<p><u>Población</u> La población está constituida por los glaciares andinos de la cordillera Vilcabamba.</p> <p><u>Muestra</u> Superficie del nevado del Ampay en los diferentes periodos de estudio.</p>	<p><u>Método</u> El método de investigación es inductivo de enfoque cuantitativo analítico.</p> <p>El método utilizado en la investigación es una de las metodologías más ampliamente usadas en la determinación de la cubierta nival, propuesta por (Dozier, J. 1989).</p> <p><u>Diseño</u> • El diseño de investigación es no experimental de</p>	<p><u>Técnicas</u></p> <p>Fuentes de información. La fuente de información fue obtenida, de las páginas de internet, estudios similares y la descarga de imágenes de satélite.</p> <p>Medición. •Primeramente se realiza una clasificación no supervisada de las imágenes de las bandas 4,5 y 8, que sirve para la obtención de un primer resultado.</p> <p>Para la determinación de la evolución de la cobertura glaciar se utiliza el diseño del método del NDSI (Índice de Nieve de</p>	<p>*Para el cálculo de confiabilidad: se aplicó la técnica de coeficiente de correlación de r de Pearson.</p> $r = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}}$ <p>*Para el análisis de datos: Para determinar el área de cubierta glaciar se utilizó el software ArcGIS, la extensión mapa de álgebras utilizando la ecuación:</p> $NDSI = \left(\frac{canal\ 2 - canal\ 5}{canal\ 2 + canal\ 5} \right)$

	<p>enfoque cuantitativo de nivel correlacional.</p>	<p>Diferencia Normalizada), propuesto por (Dozier, 1989, Cea López, C., &Pons Fernández, X. 2007.</p> <p><u>Instrumentos</u></p> <p>Para la validación de los instrumentos, fueron sometidos a un proceso de confiabilidad y valides utilizando la técnica de coeficiente de correlación de r de Pearson para afirmar que existe un nivel de asociación entre las variables Cambio Climático y la desglaciación del nevado.</p> <p>•Para probar la significación de correlación se empleó T studen para analizar si existe relación entre las dos variables, en el programa SPSS para procesar los datos.</p>	<p>Para la tasa de cambio de retroceso glaciario en % se aplicó la ecuación de (Bocco et.al, 2001).</p> $A_1 = A_2 \left((1 + r)^{1/t} - 1 \right)$ <p>*Para la prueba de Hipótesis: Para analizar la significación entre las dos variables se realizó la prueba de t de Student.</p> $t = \frac{r\sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r^2}}$
--	---	---	--

2. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

REGISTROS. Datos obtenidos de registro de la estación de Abancay de tipo convencional – meteorológica los datos de precipitación total mensual en (mm) años 1980 – 2015 y temperatura media anual en (°C) años 1980 – 2015

PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL EN (mm) ESTACIÓN ABANCAY													
Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ACUMULADA (mm)
1980	100.9	91.4	75.4	2.5	0.9	0.0	14.3	0.0		49.7	40.9	24.3	400.3
1981	142.1	144.2	77.0	49.5	3.4	0.5	5.1	18.0	29.1	57.1	76.0	132.4	734.4
1982	138.1												138.1
1983	104.2	145.6											249.8
1984	112.4	159.2	78.2	50.6	5.2		6.2	20.0	30.2	60.4	80.2	171.4	774.0
1985								20.5	29.3	74.6	60.8	168.8	354.0
1986								17.3	17.6		45.8	25.6	106.3
1987	90.9	60.9	39.9	17.1	15.9	12.2	16.3	6.2	0.0	39.8	62.3	83.0	444.5
1988	148.5	151.5	102.6	81.7		3.4	3.1	0.0	2.0	32.1		92.7	617.6
1989						7.9	0.0	12.7	1.4	46.2	37.5	49.7	155.4
1990	135.4	37.8	79.7	45.8	15.2	28.2	3.6	15.9	7.6	62.1	87.0	109.8	628.1
1991	51.4	48.8	94.4	0.9	14.5	8.7	0.0	0.0	8.7	45.4	32.0	16.6	321.4
1992	15.2	80.1	37.1	18.9	0.0	31.2	0.0	47.9	0.0	43.6	24.2	49.9	348.1
1993	126.6	92.3	77.9	49.2	5.0	0.0	11.0						362.0
1996	275.6	247.5	114.7	64.0	4.5	2.0	6.0	28.1	23.0	66.7	51.8	62.5	946.4
1997	226.0		180.4	56.6	21.2	2.7	0.0	35.0	25.6	25.4	85.2	86.9	745.0
1998	171.9	102.1	157.8	22.0	9.1	3.0	0.0	1.0	9.0	92.0	52.1	89.6	709.6
1999	203.3	291.6	162.0	77.9	12.2	9.3	3.4	0.0	71.1	80.6	73.6	132.8	1117.8
2000	213.5	299.2	115.3	49.9	7.1	18.9	19.5	28.8	16.9	92.9	51.2	196.1	1109.3
2001	256.2	180.0	193.8	37.7	51.4	1.1	29.5	24.6	10.6	32.6	33.1	102.6	953.2

2002	125.6	202.3	133.9	76.0	22.8	11.0	58.0	16.3	63.2	81.8		130.1	921.0
2003	208.2	182.9	199.6	20.5	6.7	0.0	1.6	35.8	35.7	94.9	35.5	136.6	958.0
2004	138.7	217.2	81.7		10.5	22.2	37.0	17.9	34.9	23.3	40.4	145.3	769.1
2005	78.7	150.6		57.1		0.0	16.3		24.8	83.4	69.2	137.0	617.1
2006	210.3	143.0	87.9	42.0	0.0	13.3	0.0	0.0	4.0		129.3	136.4	766.2
2007	153.1	125.5	177.0	17.8	16.5		17.9		1.3	69.4	46.1	200.0	824.6
2008	154.1	109.8	101.9		22			10.3					398.1
2009	180.2	340.2	97.5										617.9
2010	210.5	220.3	140.4										571.2
2011	134.2	215.6	89		12	23.4	39.5	18.5	36.3	22.1	49.5	99.9	740.0
2012	180.2	245	89.6	45.3						60			620.1
2013	171.6	322.9		24.4	11.9	16.4	10.3	62.4	13.0	71.0	55.2	188.9	948.0
2014	271.1	206.0	126.4	67.1	24.2	3.2	5.4	5.6	37.1	78.9	42.5	138.8	1006.3
2015	211.2	235.5	155.8	74.9	12.7	1.1							691.2

Fuente: SENAMHI Precipitación total mensual en (mm) años 1980 - 2015

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL EN (°C) ESTACIÓN ABANCAY													
Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TEMP. MEDIA ANUAL (°C)
1980	17.5												17.5
1981				15.5	16.1	17.4	14.0	15.1	17.8	18.1	17.8	12.8	16.1
1982	11.4												11.4
1983				15.6	16.4	16.8	16.5	15.4	18.6	19.5	18.6	19.5	17.4
1984	16.5												16.5
1985	18.6			15.4	18.4	17.4	16.6	17.4					17.3
1986								18.0	18.6		20.7	20.2	19.4
1987	20.0	19.0	19.0	19.1	17.7	17.4	17.1	18.2	18.8	19.9	19.4	20.6	18.9

1988	18.8	18.9	18.3	18.3		17.4	17.0	18.8	19.0	19.7		19.3	18.5
1989						17.0	17.1	18.0	19.0	19.1	20.2	20.0	18.6
1990	19.0	20.3	19.6	19.4	18.4	16.0	17.3	17.8	19.4	19.2	18.7	18.3	18.6
1991	19.2	18.8	18.2	18.1	19.1	17.8	16.9	17.8	19.0	20.1	19.7	19.9	18.7
1992	19.4	19.6	19.3	20.3	19.8	17.4	17.3	17.8	19.3	19.8	19.9	20.2	19.2
1993	18.8	18.4	18.0	18.2	18.0	17.9	17.2						18.1
1995	15.2	17.2	17.2	17.8	17.2	18.0	13.2						16.5
1996	15.3	15.0	15.8	15.5	14.9	14.1	13.7	14.1	16.2	16.7	16.9	16.1	15.3
1997	15.3		15.4	15.1	14.9	14.8	14.8	14.1	16.0	17.5	17.1	17.2	15.6
1998	16.8	17.2	17.3	17.3	16.7	14.8	15.1	15.7	16.9	17.0	17.5	16.7	16.6
1999	16.2	15.2	14.6	14.8	15.1	14.8	13.5	14.8	15.9	15.3	17.1	15.8	15.2
2000	14.8	14.4	14.7	14.9	15.3	14.1	13.9	14.6	16.4	15.5	17.9	16.3	15.2
2001	14.4	14.9	14.8	15.0	15.0	13.8	14.3	14.5	16.0	16.8	17.7	17.2	15.4
2002	16.5	15.3	15.5	15.3	15.2	14.9	13.3	14.5	15.3	16.3		16.8	15.4
2003	16.5	16.0	15.0	15.3	15.1	14.8	14.0	14.6	15.5	17.2	18.1	16.7	15.7
2004	16.3	15.9	15.9		15.9	14.0	13.5	13.5	15.0	16.7	18.0	16.4	15.5
2005	17.5	17.0	16.8	16.7	16.7	15.7	14.6	15.8	16.5	17.3	17.8	17.0	16.6
2006	15.8	16.3	16.0	16.3	15.8	15.4	14.6	15.5	16.5		15.9	16.9	15.9
2007	16.7	16.7	16.2	15.6	16.2	15.3	14.4						15.9
2008	16.4	16.8	16.8	15.8	16.6	15.8	15.2						16.2
2009	16.4	16.6	16.4	15.9	16.4	16.2	14.8						16.1
2010	16.6	16.8	15.6	15.8	15.7	15.8	14.6						15.8
2011	16.5	16.8	16.6	16.8	16.8			16.8				16.9	16.7
2012	15.2	15.8	15.6	15.4	14.4	14.6	14.4						15.1
2013	14.7	14.3		14.5	13.7	12.1	11.8	13.0	14.4	14.6	16.2	15.0	14.0
2014	14.7	14.9	14.5	14.3	13.5	13.3	12.2	12.8	13.9	15.0	16.4	15.5	14.2
2015	14.2	14.6	14.4	13.8	14.0	13.1							14.0

Fuente: SENAMHI Temperatura media anual en (°C) años 1980 – 2015

SENSORES. Se ha utilizado sensores de satélite Landsat para obtener imágenes de satélite de los periodos de 1980 al 2015.

Año	Satélite	Path/Row	Sensor	Tipo	Resolución (m)	Fecha de toma	Página descarga
1980	Landsat 4	04/69	MSS	GeoTIFF	80	06-07-1980	http://www.dgi.inpe.br/CDSR/
1984	Landsat 5	04/69	TM	GeoTIFF	30	30-08-1984	http://www.dgi.inpe.br/CDSR/
1988	Landsat 5	04/69	TM	GeoTIFF	30	08-09-1988	http://www.dgi.inpe.br/CDSR/
1990	Landsat 5	04/69	TM	GeoTIFF	30	14-07-1990	http://www.dgi.inpe.br/CDSR/
1993	Landsat 5	04/69	TM	GeoTIFF	30	07-05-1993	http://www.dgi.inpe.br/CDSR/
1995	Landsat 5	04/69	TM	GeoTIFF	30	26-06-1995	http://www.dgi.inpe.br/CDSR/
1998	Landsat 5	04/69	TM	GeoTIFF	30	15-06-1998	http://www.dgi.inpe.br/CDSR/
2003	Landsat 5	04/69	TM	GeoTIFF	30	19-08-2003	http://www.dgi.inpe.br/CDSR/
2005	Landsat 5	04/69	TM	GeoTIFF	30	18-04-2005	http://www.dgi.inpe.br/CDSR/
2008	Landsat 5	04/69	TM	GeoTIFF	30	31-07-2008	http://www.dgi.inpe.br/CDSR/
2011	Landsat 5	04/69	TM	GeoTIFF	30	08-09-2011	http://www.dgi.inpe.br/CDSR/
2013	Landsat 8	04/69	OLÍ	GeoTIFF	30	17-08-2013	http://earthexplorer.usgs.gov/
2015	Landsat 8	04/69	OLÍ	GeoTIFF	30	16-08-2015	http://earthexplorer.usgs.gov/

3. MEDICIÓN. Para la medición de área y perímetro del glaciar de diferentes épocas del año se procedió de la siguiente forma:

- Corrección atmosférica, radiométrica y geometría de las imágenes de landsat 4, landsat 5 y landsat 8.
- Procesamiento y técnicas de clasificación de imágenes
- Análisis e interpretación del procesamiento.
- Combinación y clasificación no supervisada.
- Cálculo del índice de nieve de diferencia normalizada (NDSI)

PROGRAMAS PARA LA MEDICIÓN DE VARIABLES.

ArcGIS

Global Mapper

SasPlanet

QGIS

Software estadístico: IBM SPSS, Minitab, XLSTAT.

4. EXTRACTOS CARTOGRÁFICOS DE LA SUPERFICIE DEL NEVADO

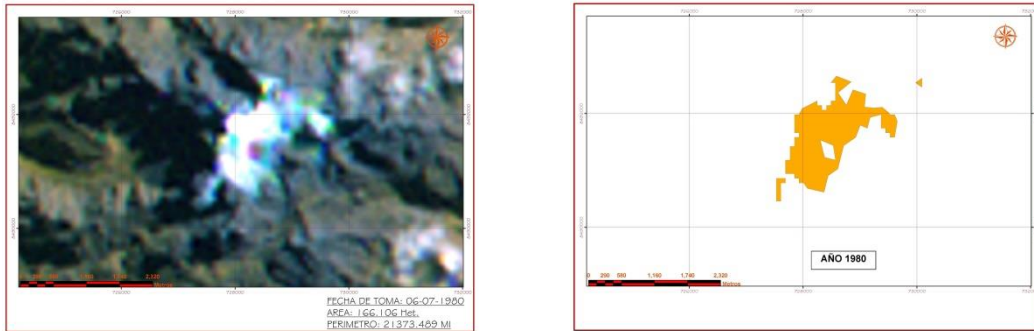


Figura 1. Composición de bandas RGB de imagen Landsat y extracto cartográfico de la superficie glaciar periodo 1980.

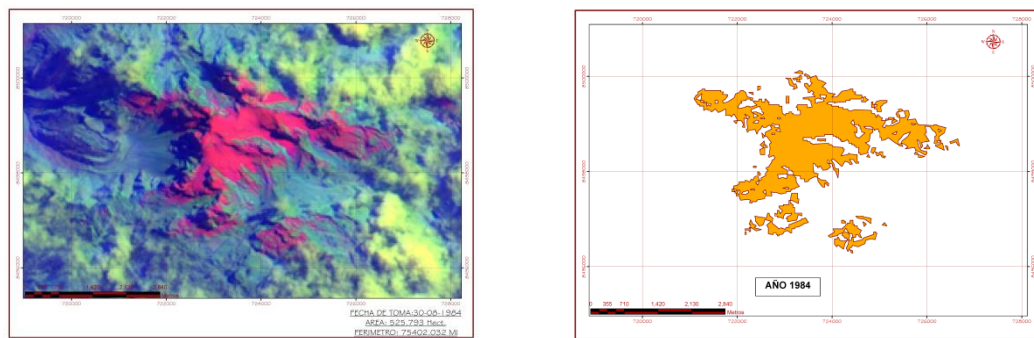


Figura 2. Composición de bandas RGB de imagen Landsat y extracto cartográfico de la superficie glaciar periodo 1984.

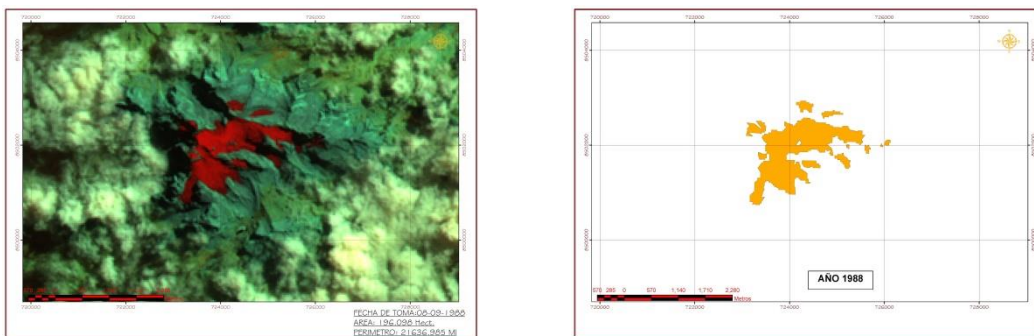


Figura 3. Composición de bandas RGB de imagen Landsat y extracto cartográfico de la superficie glaciar periodo 1988.

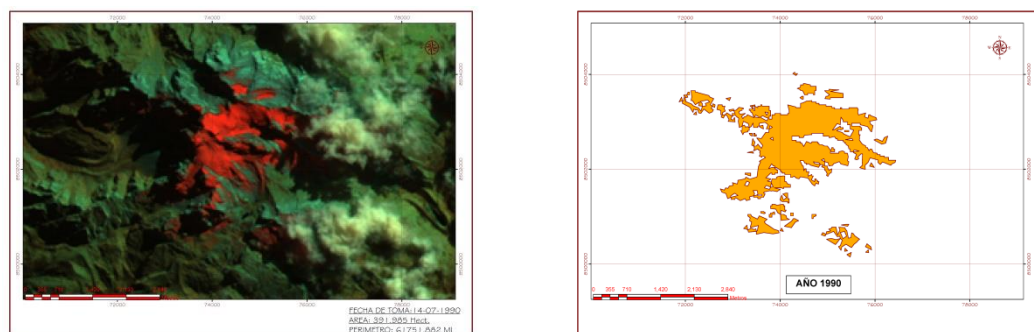


Figura 4. Composición de bandas RGB de imagen Landsat y extracto cartográfico de la superficie glaciar periodo 1990.

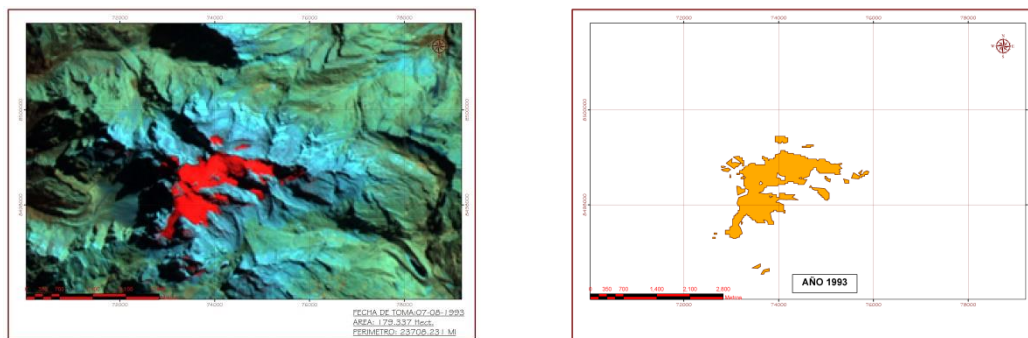


Figura 5. Composición de bandas RGB de imagen Landsat y extracto cartográfico de la superficie glaciar periodo 1993.

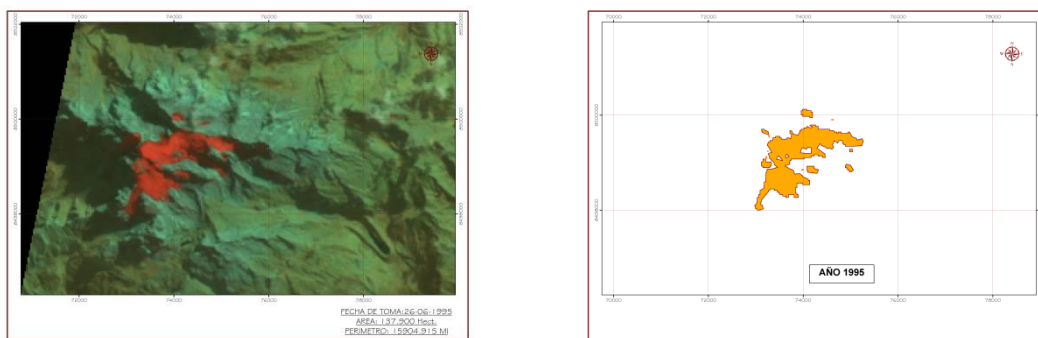


Figura 6. Composición de bandas RGB de imagen Landsat y extracto cartográfico de la superficie glaciar periodo 1995.

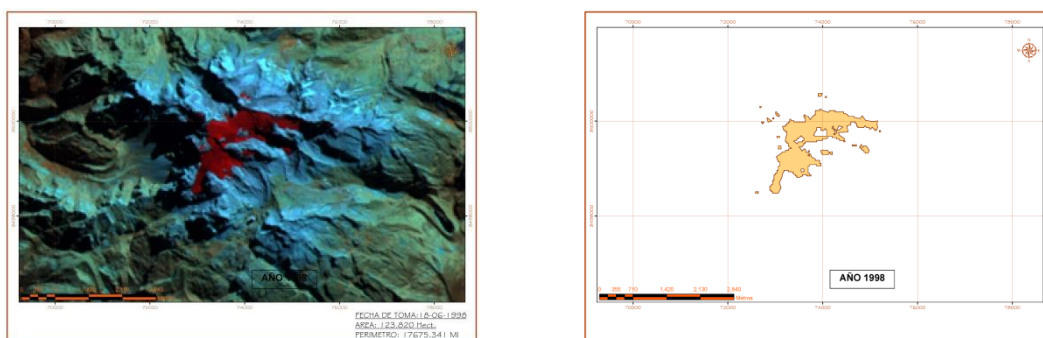


Figura 7. Composición de bandas RGB de imagen Landsat y extracto cartográfico de la superficie glaciar periodo 1998.

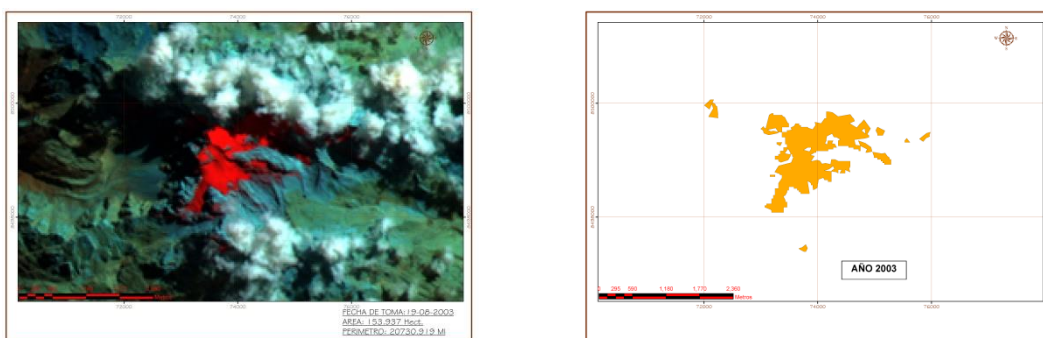


Figura 8. Composición de bandas RGB de imagen Landsat y extracto cartográfico de la superficie glaciar periodo 2003.

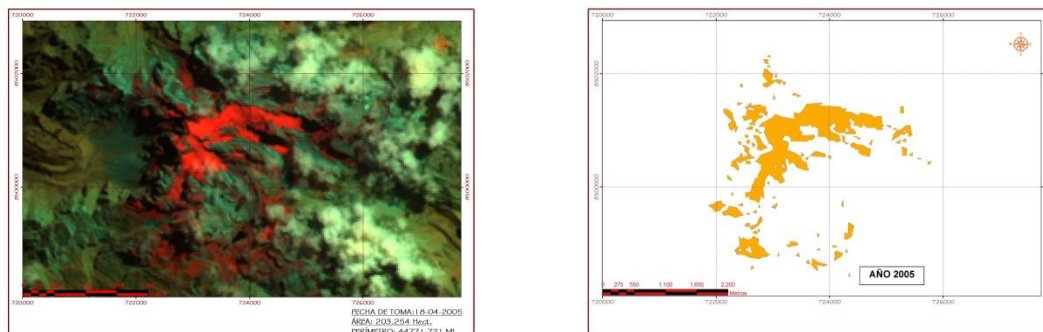


Figura 9. Composición de bandas RGB de imagen Landsat y extracto cartográfico de la superficie glaciar periodo 2005.

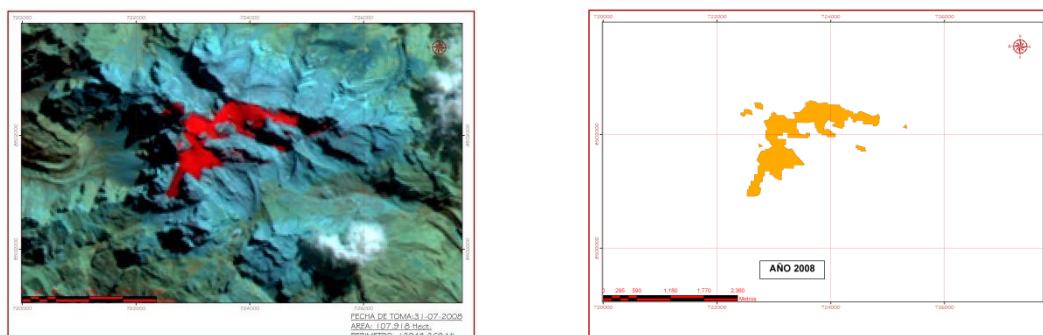


Figura 10. Composición de bandas RGB de imagen Landsat y extracto cartográfico de la superficie glaciar periodo 2008.

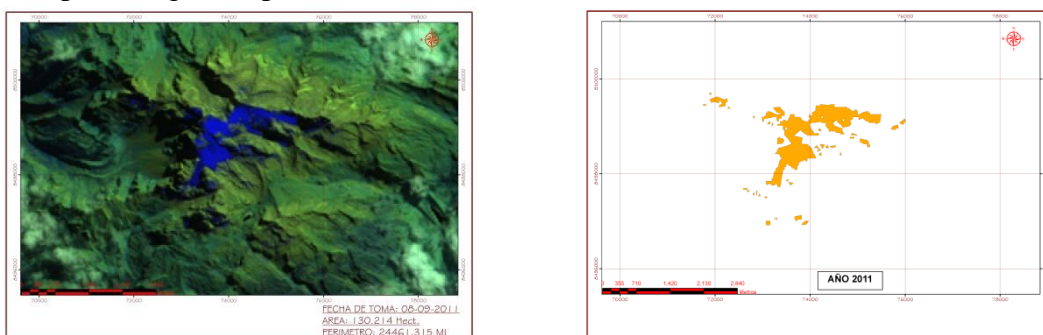


Figura 11. Composición de bandas RGB de imagen Landsat y extracto cartográfico de la superficie glaciar periodo 2011.

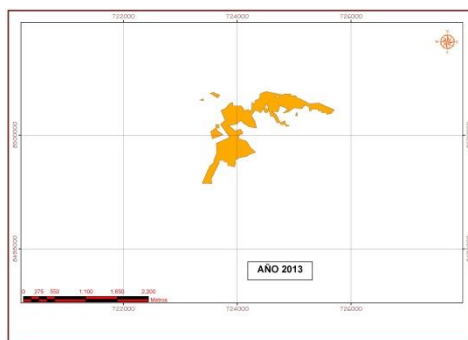
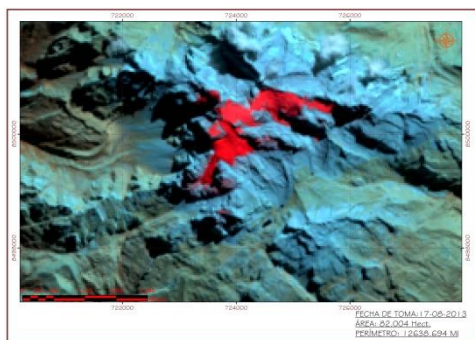


Figura 12. Composición de bandas RGB de imagen Landsat y extracto cartográfico de la superficie glaciar periodo 2013.

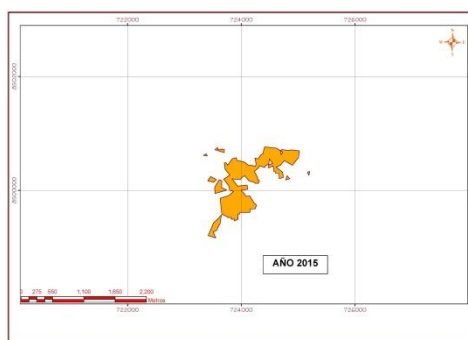
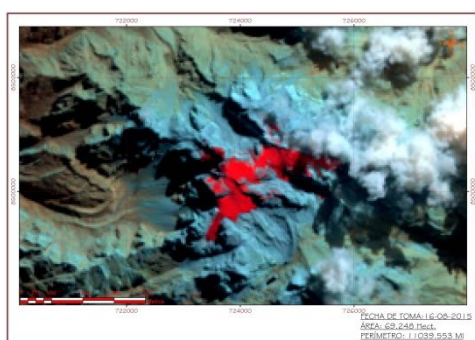
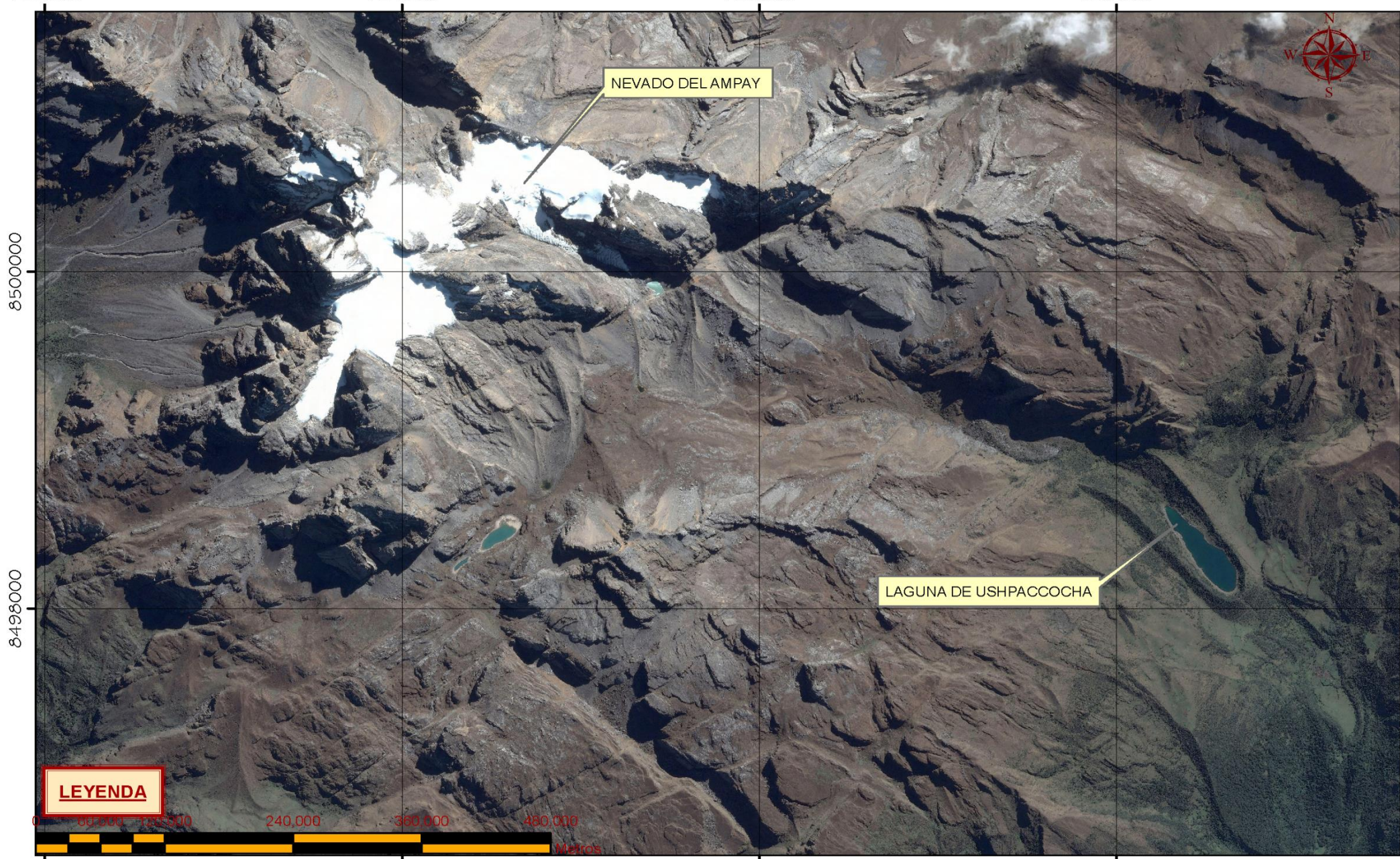


Figura 13. Composición de bandas RGB de imagen Landsat y extracto cartográfico de la superficie glaciar periodo 2015.

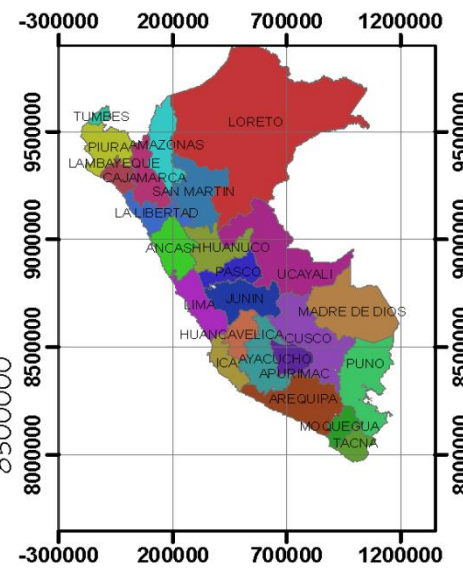
722000 724000 726000 728000



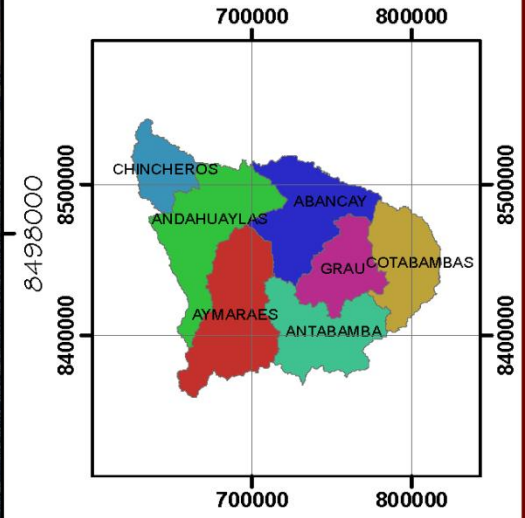
LEYENDA



722000 724000 726000 728000



MAPA POLITICO DEL PERU
ESC: 1:28,000,000



MAPA POLITICO DEPARTAMENTAL
ESC: 1:4,000,000

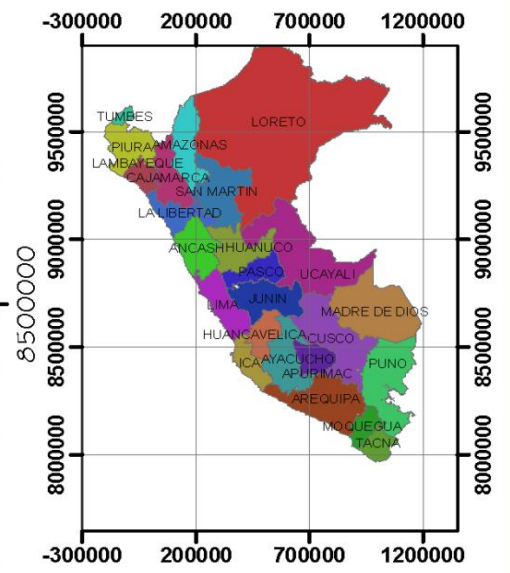
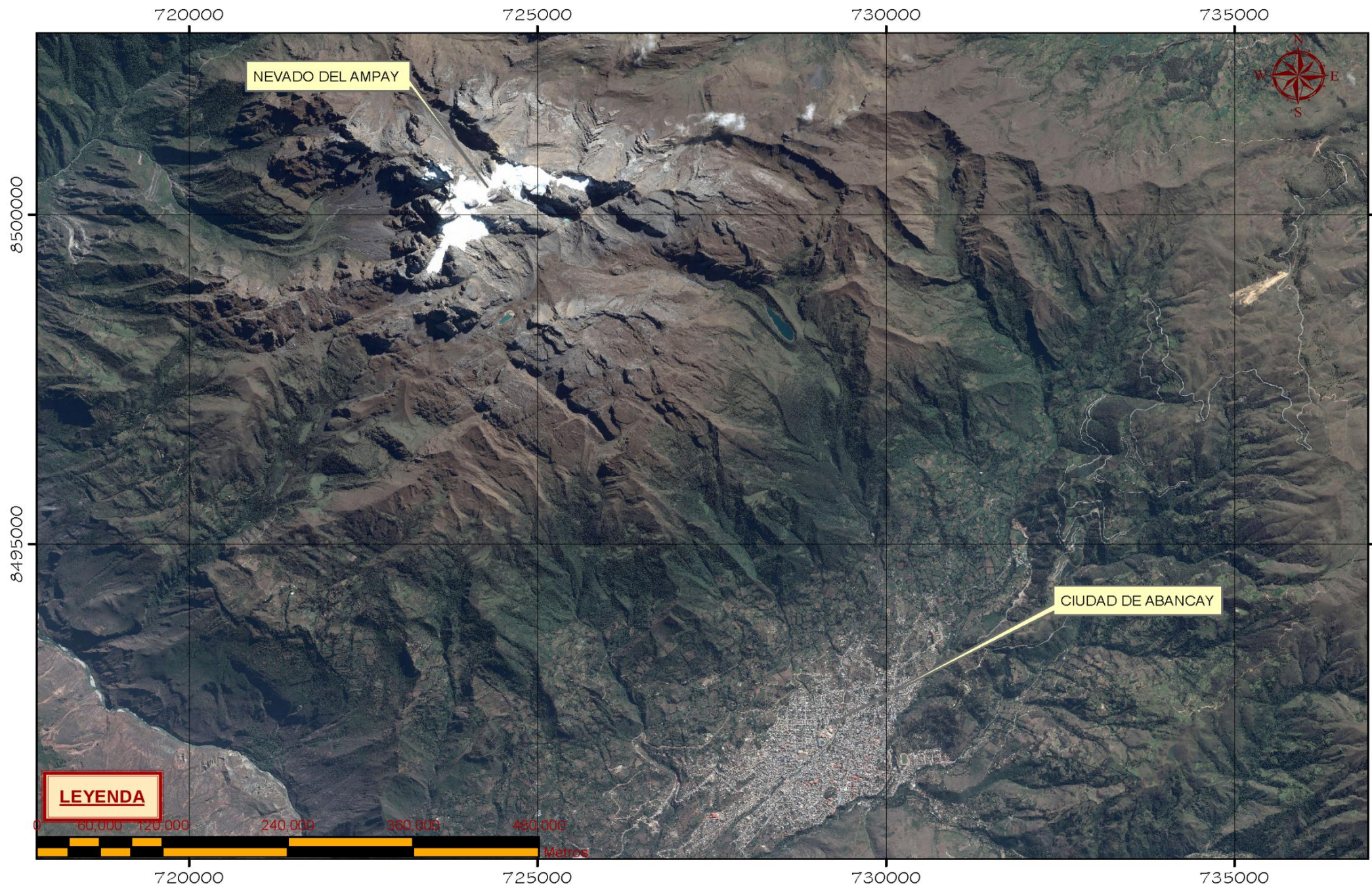


UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
VICERRECTORADO ACADÉMICO ESCUELA
DE POSGRADO
MAESTRIA EN MINERIA Y MEDIO AMBIENTE

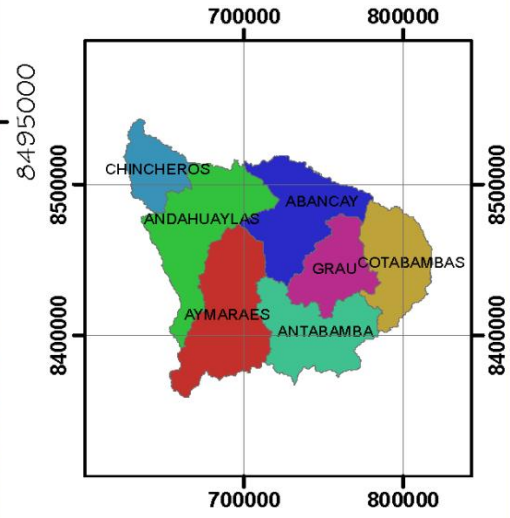
APLICACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN EN LA
DESGLACIACION DEL NEVADO DEL AMPAY
RELACIONADO AL CAMBIO CLIMÁTICO
ENTRE 1980 - 2015.

PLANO DE LOCALIZACIÓN DEL NEVADO DEL
AMPAY Y LA LAGUNA DE USHPACCOCHA

CAD GIS Ing° Walquer Huacani Calsin	FECHA: JULIO -2019	ESC: 1:24,000	LAMINA: 01
	UBICACION: DISTRITO: TAMBURCO PROVINCIA: AABANCAY REGION: APURIMAC	COORDENADAS UTM DATUM: WGS-84 ZONA: 18 - SUR	



MAPA POLITICO DEL PERU
ESC: 1:28,000,000



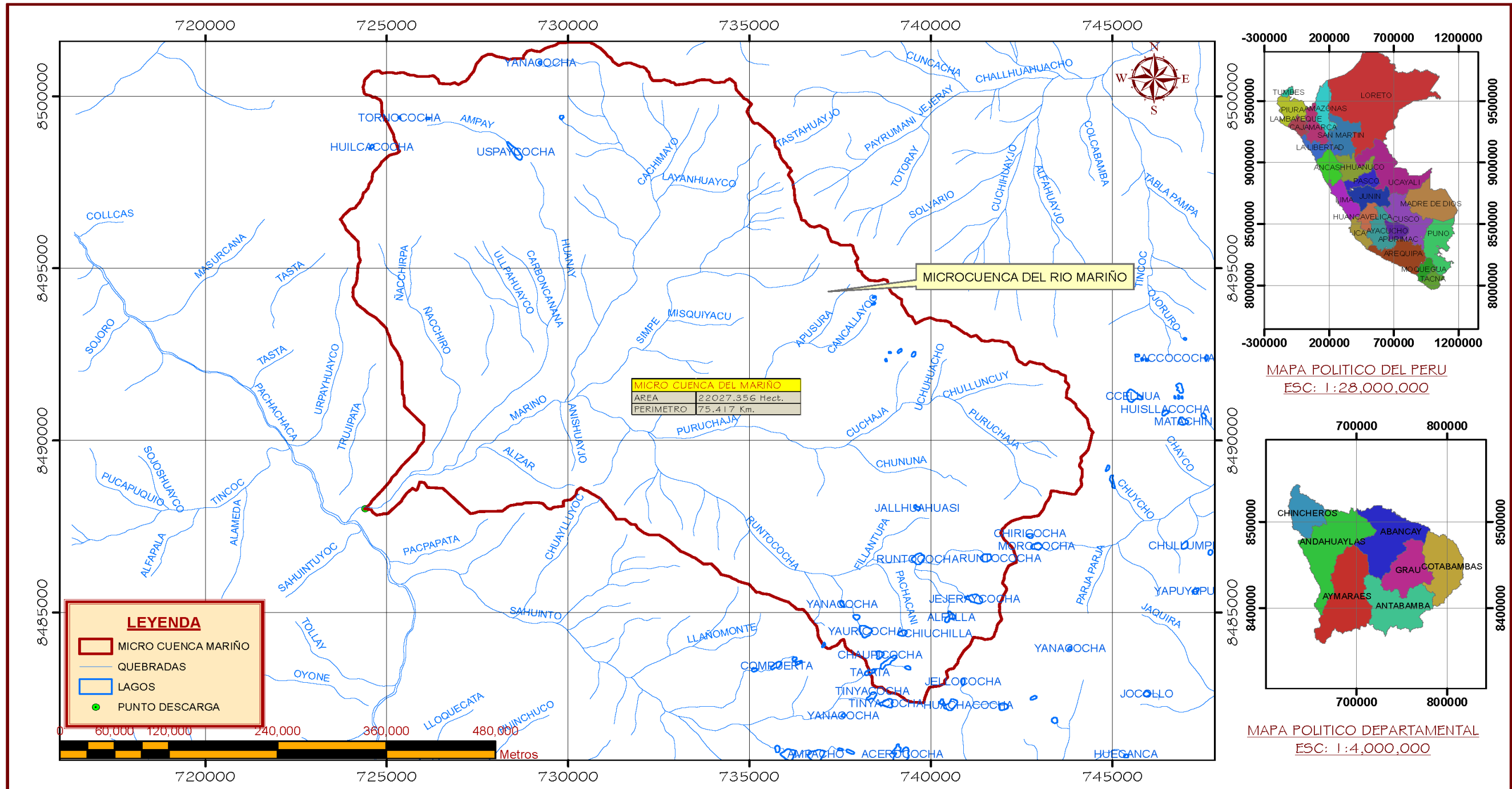
MAPA POLITICO DEPARTAMENTAL
ESC: 1:4,000,000



UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
VICERRECTORADO ACADÉMICO ESCUELA
DE POSGRADO
MAESTRIA EN MINERIA Y MEDIO AMBIENTE

APLICACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN EN LA
DESGLACIACION DEL NEVADO DEL AMPAY
RELACIONADO AL CAMBIO CLIMÁTICO
ENTRE 1980 - 2015.

PLANO DE LOCALIZACIÓN DEL NEVADO DEL AMPAY SOBRE LA IMAGEN		
CAD GIS Ing° Walquer Huacani Calsin	FECHA: JULIO -2019	ESC: 1:60,000
	UBICACION: DISTRITO: TAMBURCO PROVINCIA: AABANCAY REGION: APURIMAC	COORDENADAS UTM DATUM: WGS-84 ZONA: 18 - SUR
FUENTE DE INFORMACION IMAGENES DE GOOGLE MAP Y IKONOS.		

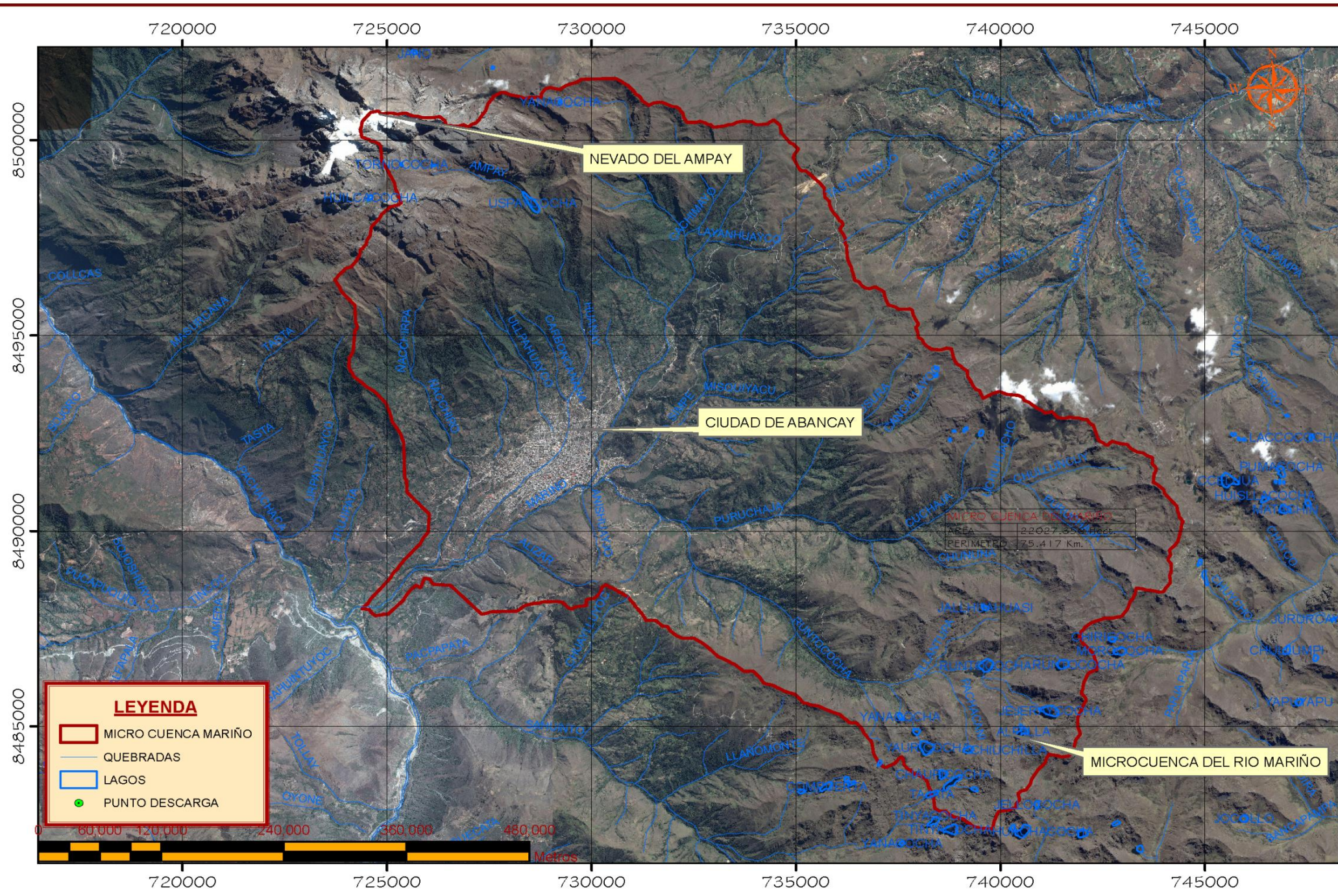


UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
VICERRECTORADO ACADÉMICO ESCUELA
DE POSGRADO
MAESTRIA EN MINERIA Y MEDIO AMBIENTE

APLICACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN EN LA
DESGLACIACION DEL NEVADO DEL AMPAY
RELACIONADO AL CAMBIO CLIMÁTICO
ENTRE 1980 - 2015.

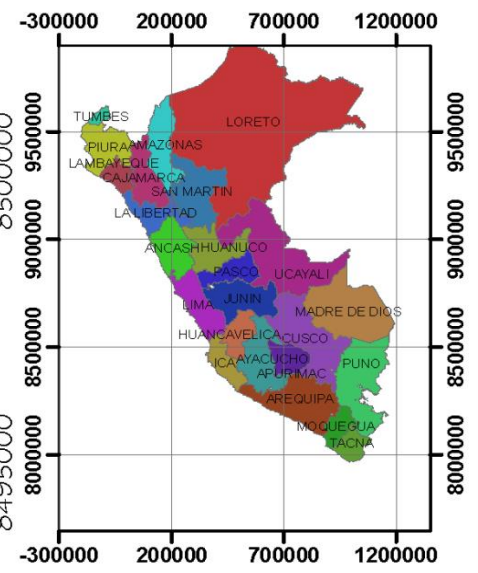
PLANO DE LOCALIZACIÓN DE LA
MICROCUENCA DEL RIO MARIÑO

CAD GIS Ing° Walquer Huacani Calsin	FECHA: JULIO -2019	ESC: 1:100,000	LAMINA: 03
	UBICACION: DISTRITO: TAMBURCO PROVINCIA: ABAJCAY REGION: APURIMAC	COORDENADAS UTM DATUM: WGS-84 ZONA: 18 - SUR	

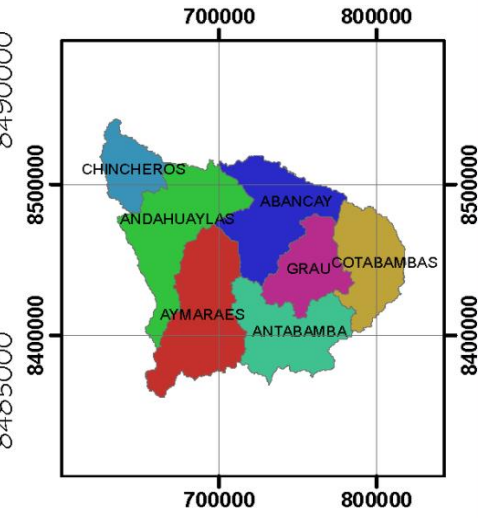


LEYENDA

- MICRO CUENCA MARIÑO
- QUEBRADAS
- LAGOS
- PUNTO DESCARGA



MAPA POLITICO DEL PERU
ESC: 1:28.000.000



MAPA POLITICO DEPARTAMENTAL
ESC: 1:4.000.000

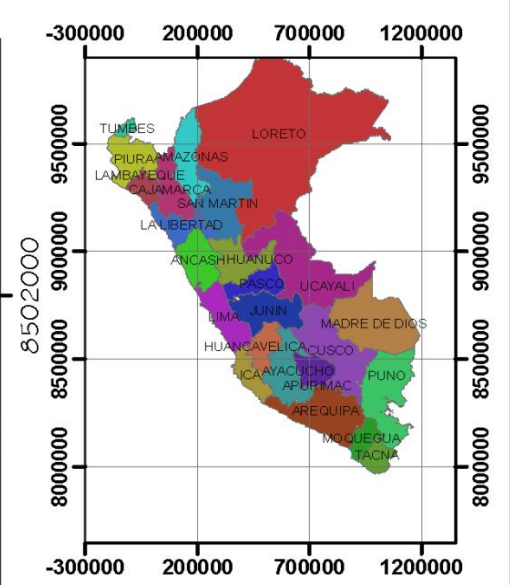
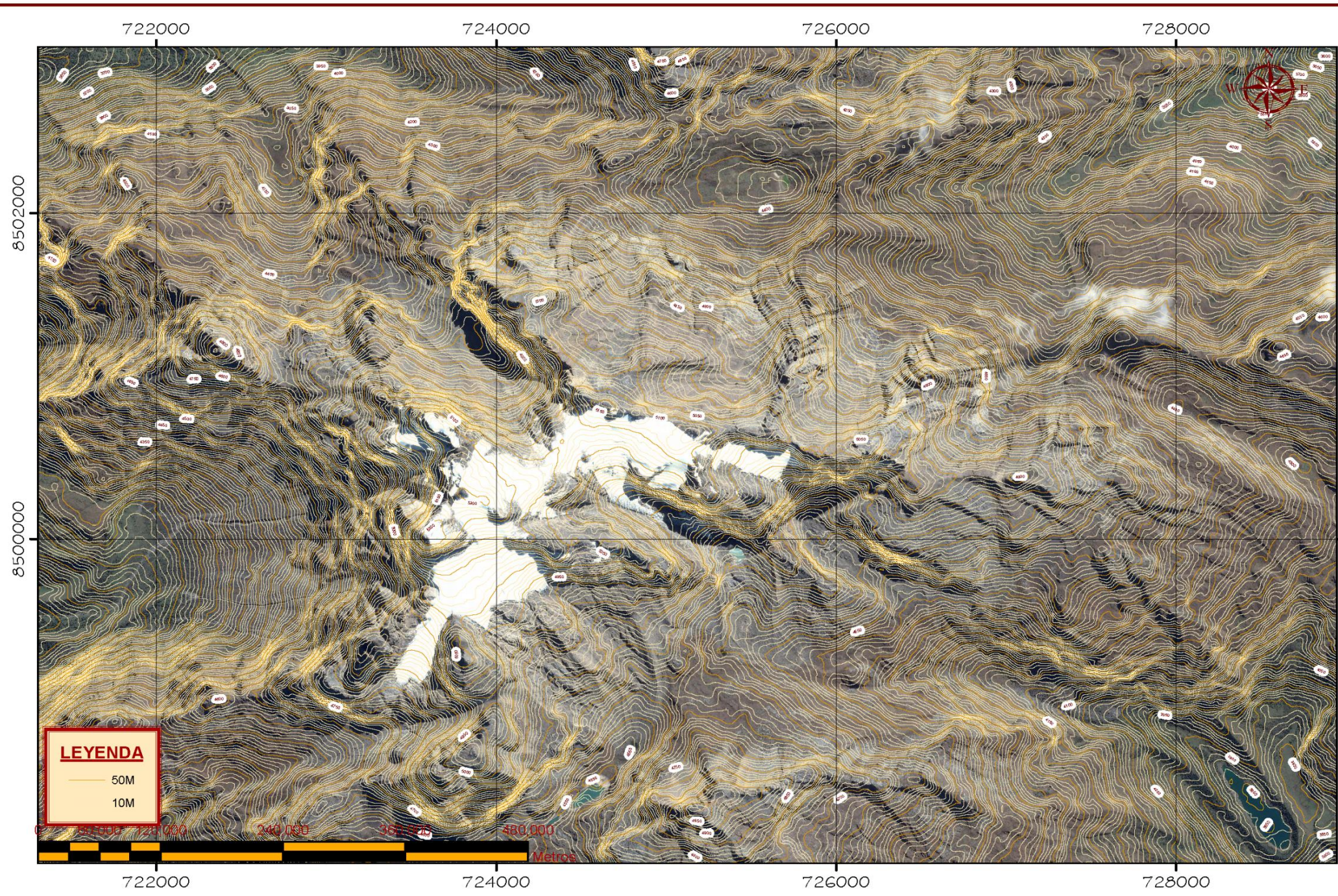


UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
VICERRECTORADO ACADÉMICO ESCUELA
DE POSGRADO
MAESTRIA EN MINERIA Y MEDIO AMBIENTE

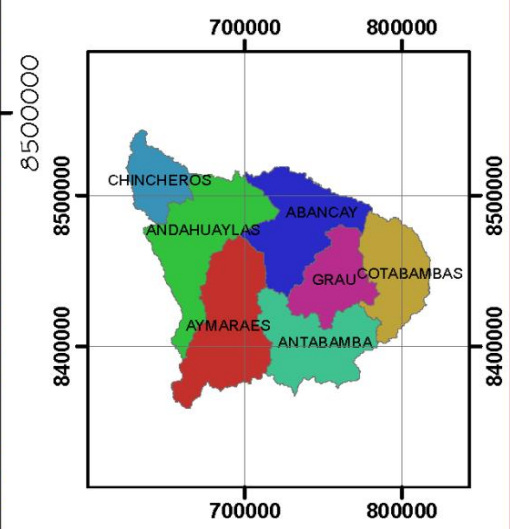
APLICACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN EN LA
DESGLACIACION DEL NEVADO DEL AMPAY
RELACIONADO AL CAMBIO CLIMÁTICO
ENTRE 1980 - 2015.

**PLANO DEL NEVADO DEL AMPAY SOBRE LA
MICROCUENCA DEL RIO MARIÑO**

CAD GIS Ing° Walquer Huacani Calsin	FECHA: JULIO -2019	ESC: 1:100,000	LAMINA: 04
	UBICACION: DISTRITO: TAMBURCO PROVINCIA: ABANCAY REGION: APURIMAC	COORDENADAS UTM DATUM: WGS-84 ZONA: 18 - SUR	



MAPA POLITICO DEL PERU
ESC: 1:28,000,000



MAPA POLITICO DEPARTAMENTAL
ESC: 1:4,000,000



UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
VICERRECTORADO ACADÉMICO ESCUELA
DE POSGRADO
MAESTRIA EN MINERIA Y MEDIO AMBIENTE

APLICACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN EN LA
DESGLACIACION DEL NEVADO DEL AMPAY
RELACIONADO AL CAMBIO CLIMÁTICO
ENTRE 1980 - 2015.

PLANO TOPOGRAFICO DEL NEVADO DEL
AMPAY SOBRE LA IMAGEN

CAD GIS Ing° Walquer Huacani Calsin	FECHA: JULIO -2019	ESC: 1:24,000	LAMINA:
	UBICACION: DISTRITO: TAMBURCO PROVINCIA: AABANCAY REGION: APURIMAC	COORDENADAS UTM DATUM: WGS-84 ZONA: 18 - SUR	05

FUENTE: DE INFORMACION
IMAGENES DE GOOGLE MAP
Y KONOS