



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL

Dinámica de la cobertura glaciar del nevado Huascarán y de las lagunas  
glaciares adyacentes entre 1990 y el 2017 mediante la teledetección

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Ambiental

AUTOR

Alexander Dioses Cardenas

ASESOR

Mg. Rita J. Cabello Torres

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Gestión de riesgos y adaptación al cambio climático

LIMA - PERU

Año 2017 - II

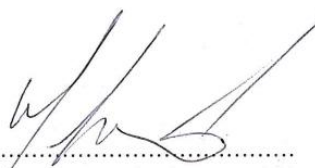
El Jurado encargado de evaluar la tesis presentada por don (a) Dioses Cardenas Alexander cuyo título es: **Dinámica de la cobertura glaciar del nevado Huascarán y de las lagunas glaciares adyacentes entre 1990 y el 2017 mediante la teledetección**

Reunido en la fecha, escuchó la sustentación y la resolución de preguntas por el estudiante, otorgándole el calificativo de: 18(número) dieciocho (letras).

Lima, San Juan de Lurigancho 09 de diciembre del 2019

  
 .....  
 Mg. Fernando Antonio  
 Semaque Auccahuasi

PRESIDENTE

  
 .....  
 Mg. Marco Antonio Herrera  
 Diaz

SECRETARIO

  
 .....  
 Mg. Rita Cabello Torres

VOCAL

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante de la Dirección / Vicerrectorado de Investigación y Calidad	Aprobó	Rectorado
---------	----------------------------	--------	------------------------------------------------------------------------------	--------	-----------

**Dedicatoria.**

Dedico esta tesis a Dios, que siempre es y será incondicional conmigo, a mi Padre Pedro Pascual Dioses Atoche quien siempre ha sido mi inspiración a mejor persona, quien me dio la vida, educación, apoyo y consejos, a mi Madre Norma Cardenas Seancas quien desde el cielo cuida de mí. A mis compañeros de estudio, a mis maestros y amigos, quienes sin su ayuda nunca hubiera podido hacer llegar hasta este punto. A todos ellos se los agradezco desde el fondo de mi alma.

### **Agradecimiento**

Agradecer a Dios por darme cada día más fuerza para seguir adelante. Agradecer a mi madre Norma Cardenas Seancas y mi padre Pedro Pascual Dioses Atoche, porque sin ellos no hubiera conseguido llegar a mis objetivos.

Agradecer a todos los docentes por sus enseñanzas, consejos, experiencias y los ánimos de seguir investigando y proponer soluciones.

A la Universidad César Vallejo, por abrirme sus puertas y que durante cinco años me ha dado la oportunidad de estudiar en esta casa de estudio, la carrera de Ingeniería Ambiental, con todo el apoyo necesario con el que me alentó a hacer de mí mismo un profesional.

Agradecer a al Ing. Kevin Sánchez, Ing. Marco Herrera y a la Mg. Rita J. Cabello Torres docentes de la Universidad César Vallejo, por brindarme su apoyo, paciencia y conocimientos también agradezco a mis amistades que formaron parte de mi vida universitaria.

#### DECLARACION DE AUTENTICIDAD

Yo Alexander Dioses Cardenas con DNI N° 72035890 a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Ambiental, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Lima, diciembre del 2017



-----  
**Alexander Dioses Cardenas**

**DNI: 72035890**

## **PRESENTACIÓN**

Señores miembros del Jurado:

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo presento ante ustedes la Tesis titulada "La teledetección y su relación con la dinámica de la cobertura glaciar del nevado Huascarán y de las lagunas glaciares adyacentes entre 1990 y el 2017", la misma que someto a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título Profesional de "Ingeniero Ambiental"

**Autor: Dioses Cardenas Alexander**

**San Juan de Lurigancho, Perú. Diciembre del 2017**

## ÍNDICE

Dedicatoria .....	i
Agradecimiento .....	ii
Declaración de Autenticidad.....	iii
Presentación .....	iv
RESUMEN .....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
I. INTRODUCCIÓN.....	15
1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA .....	17
1.2. TRABAJOS PREVIOS.....	18
1.3 TEORÍAS RELACIONADAS AL TEMA .....	22
1.4. FORMULACIÓN AL PROBLEMA .....	36
1.5. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO .....	37
1.6. HIPÓTESIS .....	38
1.7. OBJETIVO.....	39
II. METODO.....	40
2.1 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	40
2.2. PLOBACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	42
2.4. TECNICAS E INSTRUMENTOS DE MEDICION DE DATOS, VALIDEZ Y CONFIABILIDAD.....	45
2.5 MÉTODOS DE ANÁLISIS DE DATOS.....	49
2.6 ASPECTOS ÉTICOS .....	61
III. RESULTADOS .....	62
IV. DISCUSIONES .....	81
V. CONCLUSIONES .....	83
VI. RECOMENDACIONES .....	85
VII. REFERENCIAS .....	86
7.1 Referencias Bibliográficas.....	86
VIII. ANEXOS.....	90

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Chuvieco E. “Fundamentos de la teledetección” Componente de un sistema de Teledetección .....	22
Figura 2. Espectro electromagnético .....	23
Figura 3. Combinación de bandas 4, 3, 2. Landsat 7 .....	25
Figura 4. Combinación de bandas 1, 4, 5. Landsat 7 .....	25
Figura 5. Combinación de bandas 5, 3, 1. Landsat 7 .....	25
Figura 6. Combinación de bandas 4, 5, 1. Landsat 7 .....	26
Figura 7. Niveles digitales (ND) de una sección del nevado Huascarán del año 2000 .....	26
Figura 8. Esquema general del procedimiento de corrección geométrica previo a la detección de cambios.....	27
Figura 9. NDSI del nevado Huascarán 2017, mediante el software ERDAS IMAGINE 2014 .....	29
Figura 10. NDVI del nevado Huascarán 2017, mediante el software ERDAS IMAGINE 2014 .....	30
Figura 11. Absorción de la luz en la vegetación .....	31
Figura 12. Tipos de lagunas glaciares según su posición en el glaciar. Laguna marginal a la izquierda y laguna proglaciar a la derecha. ....	32
Figura 13. Nevado Huascarán, Ancash-Perú.....	42
Figura 14. Imagen satelital Landsat 7 del 06-30-1990 combinación de bandas RGB (4, 3,2).....	44
Figura 15. Imagen satelital Landsat 7 del 06-30-2000 combinación de bandas RGB (4, 3,2).....	44
Figura 16. Imagen satelital Landsat 8 del 04-16-2010 combinación de bandas RGB (4, 3,2).....	44
Figura 17. Imagen satelital Landsat 8 del 04-16-2017 combinación de bandas RGB (4, 3,2).....	44
Figura 18. Cálculo de NDSI (Índice De Nieve De Diferencia Normalizada) para el Nevado Huascarán .....	52
Figura 19. Clasificación no supervisada al resultado del NDSI del Nevado Huascarán .....	53
Figura 20. Conversión de la clasificación a vector del nevado Huascarán .....	53
Figura 21. Cálculo de NDWI (Índice de Agua De Diferencia Normalizada) de las lagunas adyacentes al nevado Huascarán .....	54
Figura 22. Clasificación no supervisada al resultado del NDWI de las lagunas adyacentes al nevado Huascarán .....	55
Figura 23. Conversión de la clasificación a vector de las lagunas adyacentes al nevado Huascarán .....	55
Figura 24. Estimación de la temperatura de superficie distribuidas por toda el Nevado Huascarán, mediante el software Arc map 10.3 .....	56
Figura 25: Modelo de Fracción vegetal mediante ERDAS 14 .....	57
Figura 26: Modelo de Emisividad de superficie mediante ERDAS 14 .....	58



Figura 27. Modelo de Radiancia del sensor mediante ERDAS 14 .....	58
Figura 28. Modelo de Emisividad de superficie mediante ERDAS 14 .....	59
Figura 29. Modelo de temperatura de brillo del satélite mediante ERDAS 14 .....	60
Figura 30. Modelo de temperatura de superficie (Celsius °C) mediante ERDAS 14 .....	60
Figura 31. Mapa de la evolucion del nevado Huascarán de 1990 .....	63
Figura 32 Mapa de la evolucion del nevado Huascarán del 2000 .....	64
Figura 33. Mapa de la evolucion del nevado Huascarán del 2010 .....	65
Figura 34. Mapa de la evolucion del nevado Huascarán del 2017 .....	66
Figura 35. Evolución de la cobertura hídrica de las lagunas adyacentes al Nevado Huascarán.....	72
Figura 36. Evolución de la cobertura hídrica de las lagunas adyacentes al Nevado Huascarán.....	73
Figura 37. Evolución de la cobertura hídrica de las lagunas adyacentes al Nevado Huascarán.....	74
Figura 38. Evolución de la cobertura hídrica de las lagunas adyacentes al Nevado Huascarán.....	75
Figura 39. Cambios de la temperatura de superficie de 1990 en el Nevado Huascarán.....	77
Figura 40. Cambios de la temperatura de superficie de 1990 en el Nevado Huascarán.....	78
Figura 41. Cambios de la temperatura de superficie de 1990 en el Nevado Huascarán.....	79
Figura 42. Cambios de la temperatura de superficie de 1990 en el Nevado Huascarán.....	80

## **INDICE DE CUADROS**

Cuadro 1. Información geográfica .....	40
Cuadro 2. Operacionalización de variables .....	41
Cuadro 3. Información técnica resumida – Landsat 5 .....	50
Cuadro 4. Información técnica resumida – Landsat 7 .....	50
Cuadro 5. Información técnica resumida – Landsat 7 .....	51
Cuadro 6. Gráfica de regresión de la cobertura glaciar del nevado Huascarán .....	67
Cuadro 7. Interpolación con polinomios de LaGrange .....	67
Cuadro 8. Predicción de futuras áreas y desaparición del nevado Huascarán .....	69
Cuadro 9. Lagunas glaciares inventariadas por el ANA de 1990 – 2017 .....	70
Cuadro 10. Lagunas glaciares inventariadas por el ANA de 1990 – 2017 .....	71
Cuadro 11. Grafica de tendencia de cobertura glaciar vs temperaturas promedio	76

## **INDICE DE GRAFICOS**

Grafico 1. Diagrama del cálculo de la dinámica de la cobertura glaciaria del Nevado Huascarán y análisis del volumen de las lagunas glaciares.....	46
Grafico 2. Diagrama del “Cálculo y estimación de la temperatura de superficie del Nevado Huascarán .....	47

## **INDICE DE ANEXOS**

Anexo 1. Matriz de Consistencia .....	90
Anexo 2. Matriz De Operacionalización De Variables .....	91
Anexo 3. Ficha de recolección de datos .....	92
Anexo 4. Funciones de la Autoridad Nacional - Ley de Recursos Hídricos 2933893	
Anexo 5. SUBCAPÍTULO II, Artículo 21º, sección 5. Del Jefe de la Autoridad Nacional - Ley de Recursos Hídricos 29338 .....	94
Anexo 6. CAPITULO IV, Artículo 25º.- Ejercicio de las funciones de los gobiernos regionales y gobiernos locales - Ley de Recursos Hídricos 29338 .....	95
Anexo 7. CAPÍTULO IV. Extinción de los Derechos de Uso de Agua - Artículo N° 89 Prevención ante efectos de cambio climático- Ley de Recursos Hídricos 29338 .....	96
Anexo 8. Inventario de glaciares 2014 .....	97
Anexo 9. Validación de instrumento de investigación realizada por los expertos en la materia.....	98
Anexo 10. Acta de Aprobación de Originalidad y Pantallazo de Turnitin .....	101
Anexo 11. Autorización de Publicación de Tesis .....	103
Anexo 12. Autorización de la Versión Final del Trabajo de Investigación, .....	104



## RESUMEN

El Nevado Huascarán forma parte del Parque Nacional Huascarán de 3040000 ha localizada en el Departamento de Ancash en Perú, nominado así en 1975 Por la UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) incluye la cordillera blanca tropical más grande que hay en la tierra. Debido a que en las últimas décadas se ha observado un abrupto y acelerado retroceso glaciar por efectos del cambio climático, se ha empleado modelos matemáticos basados en los índices espectrales, como el NDSI (Normalized Difference Snow Index) y NDWI (Normalized Difference Water Index) con el objetivo de identificar las fluctuaciones de la cobertura glaciar y de las lagunas glaciares adyacentes al nevado durante el periodo de 1990 al 2017. La metodología comprendió 03 etapas, referidas a la selección de imágenes satelitales extraídas de la base de datos del Servicio Geológico de los Estados Unidos (Earth Explorer) capturadas mediante sensores Thematic Mapper TM, Enhanced Thematic Mapper (ETM+), Operational Land Imager (OLI) pertenecientes al satélite Landsat versiones 5, 7 y 8 para las estaciones de otoño de los años 1990, 2000, 2010 y 2017. Se calculó los índices de NDSI y NDWI mediante el software ERDAS versión 14 y los errores relacionados con las sombras tuvieron que ser corregidos mediante el software ArcMap 10.3, debido a que el cálculo de NDSI las consideraba como cobertura diferente a la del glaciar.

Los resultados indicaron una pérdida de 12.858 km<sup>2</sup>, de cobertura glaciar equivalente al 12.68% en el nevado, asociados con una variación de la temperatura en 1990 entre -20°C – 30°C; 2000 entre -19°C – 40°C, 2010 entre -16°C – 37°C y 2017 entre -12°C – 31°C.

En consecuencia, del proceso se identificaron 03 nuevos cuerpos de agua aun no inventariados por el Gobierno que sumaron un área de 202,162m<sup>2</sup>., mientras que las lagunas antiguas Llanganuco Chinancocha, Llanganuco Orconcocha Azulcocha, Yanayacu, Socoyacu y Uchco suman un área de 1,333,573m<sup>2</sup>.

**PALABRAS CLAVES:** cobertura glaciar, análisis multitemporal, niveles digitales, índices espectrales, temperatura de superficie.

## **ABSTRACT**

The snowy Huascarán is part of the Huascarán National Park of 30,400,000 located in the Department of Ancash in Peru, nominated in 1975 for UNESCO (United Nations Organization for Education, Science and Culture) includes the more tropical white mountain ranges great that there is in the earth. Due to the fact that an accident has been observed in recent decades and the glacial retreat has accelerated due to the effects of climate change, the mathematical model based on the spectral indexes, such as the NDSI (Normalized Difference Snow Index), has been used. NDWI (Normalized Water Difference Index) with the objective of identifying the fluctuations of the glacier cover and of the glacial lagoons adjacent to the snow peak during the period from 1990 to 2017. The methodology includes 3 stages, referred to the selection of extracted satellite images of the database of the United States Geological Survey (Earth Explorer) captured by Thematic Mapper TM sensors, Enhanced Thematic Mapper (ETM +), Operational Land Imager (OLI) belonging to the Landsat satellite versions 5, 7 and 8 for the stations of the 1990s, 2000s, 2010s and 2017s. The NDSI and NDWI indices were calculated using the ERDAS software version 14 and the errors related to two with the shadows had to be corrected by means of the software ArcMap 10.3, because the calculation of NDSI considered them as different coverages from the glacier.

The results indicated a loss of 12,858 km<sup>2</sup>, of glacial coverage equivalent to 12.68% in the snow, associated with a variation of the temperature in 1990 between -20°C - 30°C; 2000 between -19°C - 40°C, 2010 between -16°C - 37°C and 2017 between -12°C - 31°C.

As a result, the process was identified with 3 new bodies of water not yet inventoried by the Government that added an area of 202,162m<sup>2</sup>., While the old lagoons Llanganuco Chinancocha, Llanganuco Orconcocha Azulcocha, Yanayacu, Socoyacu and Uchco total an area of 1,333 .573 m<sup>2</sup>.

**KEY WORDS:** glacial coverage, multitemporal analysis, digital levels, spectral indices, surface temperature.

## I. INTRODUCCIÓN

La cordillera de los Andes es responsable de aproximadamente el 70% de todos los glaciares tropicales (Vuille, M. *et. al.* 2014, p. 79–96) y representan un sistema vital de dotación de agua para el desarrollo de la población (ANA, 2014. Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas Del Perú), especialmente en periodos de sequía porque proveen de agua dulce a las cuencas y actúan como reguladores de las lluvias estacionales (Vuille, M. *et. al.* 2014, p. 79). El Nevado Huascarán es uno de los 14 glaciares que sobresale en esta zona de estudio con una altitud promedio de 5338 msnm (ANA, 2014), sin embargo sus fluctuaciones en la cobertura glaciaria han evidenciado la influencia del cambio climático sobre la dinámica del nevado (Georges, C. 2010, p. 100-107) existe un alto nivel de confianza entre el retroceso glaciario sudamericano y el aumento de temperatura, expresado en el deshielo en las cumbres nevadas que afectan la distribución del agua en las partes bajas (IPCC, 2014). Esta situación, representa un riesgo de desbordes si las lagunas superan su capacidad como reservorios naturales lo cual ha sido informado en los últimos 50 años en distintas partes del mundo (Ives, J. Pradeep, B. y Mool, K. 2010. p. 1-56). Según Schauwecker, S. *et. al.* (2008) en el Perú, entre las décadas del 70 hacia 1997 se informó de una reducción del 20% de cobertura glaciaria y el incremento de las crecidas en las lagunas glaciares con arrastre de lodos e inundaciones repentinas en las localidades adyacentes, desequilibrando el ciclo normal local de la cobertura glaciaria y del ciclo del agua (p. 85–97).

Según Morales B. y Martel, A. (2017), en el Perú, entre los años 1966 y 2016 se ha producido en la sección norte de los glaciares donde se inserta el nevado Huascarán una disminución de 34.16 Km<sup>2</sup> de cobertura glaciaria que viene arriesgando la provisión de agua empleada en la generación de energía y en los cultivos agrícolas del país (p.14).

Es importante vigilar la dinámica de esta cobertura para afrontar sus cambios y prevenir sus impactos de manera que su adaptación represente una oportunidad en contraste con los impactos naturales que se esperan, situación descrita especialmente para comunidades nativas (Kodirekkal, R. 2017, p.1 – 14).

Durante los últimos años la teledetección ha cobrado especial importancia en el seguimiento de la dinámica de glaciares a lo largo del tiempo y del espacio



permitiendo comprender la influencia del cambio climático especialmente sobre aquellos distribuidos en zonas remotas (Mal S. y Schickhoff U. 2016, p. 58).

Los impactos por retroceso fueron observados también en las montañas asiáticas y fueron medidas por satélite Landsat en los últimos 40 años con una pérdida promedio de 30% de cobertura de hielo (Qiao L., Shiyin L. y Wanqin, N. 2015, p. 335–344) Las herramientas SIG y los sensores remotos vienen facilitado el seguimiento del comportamiento glacial a nivel mundial (Baojuan, S., Yetang W. y Zhongqin L. 2017, p. 213).

Para Anil V. y S. Pratibha (2017) es posible cuantificar la pérdida de longitud, superficie y material de las montañas usando técnicas de teledetección (En esta investigación se utilizaron imágenes del satélite Landsat, para calcular los índices NDSI y NDWI con la finalidad de cuantificar la dinámica de la cobertura glacial del nevado Huascarán y de las lagunas glaciares adyacentes entre los años 1990 y 2017 (p. 213).

## 1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA

Los glaciares se forman en condiciones climáticas específicas y se derriten de la misma manera; estas condiciones se desarrollan de forma natural con el paso de los años y las interacciones en el medio ambiente, pero investigaciones recientes sobre el calentamiento global nos dan una pista del porqué del retroceso glaciar, en una forma tan abrupta y alarmante. National Geographic (2010), una organización internacional sobre educación y ciencia, menciona en el 2010 que “Los glaciares se están perdiendo de una forma exagerada y alarmante, esto ocasiona que los océanos incrementen su nivel, por otro lado, las selvas están siendo azotadas por intensas olas de calor y la flora y fauna lucha en el intento de apartarse a los nuevos tiempos. No sé puede negar que el hombre es uno de los principales autores del cambio climático, desde hace algunas décadas, uno de los problemas que más repercuten en el medio ambiente son los gases de efecto invernadero lo que causa un aumento significativo de la temperatura en los últimos 65.000 años” (p. 1-56).

Según el Ministerio de agricultura y riego (2009) el Perú cuenta con una gran cifra 255 glaciares; que no solo sirven para impulsar el turismo descentralizado, sino que también almacena uno de los recursos más importantes para el hombre que es el agua. Durante la estación de verano los glaciares aportan al escurrimiento superficial de estas aguas, que datan desde tiempo precolombinos que la utilizaban para técnicas de irrigación (p.1).

Este tipo de situaciones nos hace reflexionar en los yacimientos de aguas dulces, los cuales nacen en las cumbres de las montañas y son indispensables para la supervivencia de los seres vivos, del cual nace la interrogante ¿cómo la aplicación de la teledetección permite cuantificar la dinámica cobertura glaciar del nevado Huascarán y de las lagunas glaciares adyacentes desde 1990 al 2017?; en los últimos años la tecnología ha ido creciendo y expandiéndose en diferentes campos de la ciencia, y con la ayuda de la misma hoy en día se puede hacer el estudio de los glaciares mediante el empleo de la teledetección el cual permite realizar estudios como el cálculo de retroceso glaciar, la dinámica de lagunas glaciares entre otros; apoyándose en el manejo de algún software que permitan el estudio de estos, sin estar presente el área de estudio.

## **1.2. TRABAJOS PREVIOS.**

### **1.2.1 Antecedentes Nacionales**

Huayaney, M. (2008) en sus tesis "*Aplicación de la Teledetección para el análisis multitemporal de la regresión glaciar en la Cordillera Blanca*", tuvo como objetivo principal o general realizar un estudio a través del tiempo para hallar la pérdida de cobertura glaciar de toda la Cordillera Blanca, que se encuentra ubicado en el distrito de Huaraz en el departamento de Ancash, los periodos de análisis que establece el autor son 1989, 1998 y 2005; para lograr este objetivo el autor optó por el empleo de imágenes satelitales ya que le permitió obtener información sobre la cobertura glaciar para los años de análisis, por conclusiones Huayaney, M. da que la metodología de emplear imágenes satelitales, permitió hallar las variaciones en cuanto a cobertura glaciar, extensión de las lenguas glaciares distribuidas en toda la Cordillera Blanca desde el primero año de análisis hasta el 2005. También explica que estas variaciones en cuanto a la cobertura glaciar puede ser producto del calentamiento global, fenómeno del niño y de la niña.

Tarazona, Y. (2012) estudiante de Ingeniería Geográfica-Mención en Geomática y Ordenamiento Territorial, en su trabajo de investigación titulada "*Aplicación de la Teledetección como una herramienta para el análisis Multitemporal del retroceso glaciar en el Nevado Pastoruri debido al Cambio Climático*", tuvo como objetivo de investigación determinar la pérdida glaciar entre los periodos comprendidos 1988-1999, 1999-2011. Así como también una predicción para el año 2050 del área glaciar perdida. Para su estudio y análisis utilizó la Teledetección o sensores remotos el que menciona que permiten obtener información indirecta aplicando la técnica de los últimos tiempos que es la teledetección, que permitió estudiar el área de desglaciación del nevado, así como la longitud de retroceso. Tarazona, Y. en sus conclusiones menciona que la mejor evidencia ha sido comprobada y que confirma que en la actualidad existen mayores niveles de agua que discurren aguas abajo, producto de la pérdida de masa glaciar del nevado Pastoruri, que para años futuros podría ocasionar interferencias en los servicios básicos, infraestructura y demás, así como también alterando el hábitat de la flora y fauna del lugar. Además, el retroceso glaciar del nevado Pastoruri probablemente ocasionará situaciones de riesgo producto de avalanchas. De otro lado las lagunas glaciares serán más

comunes a largo plazo, obligando a modificar las prácticas y técnicas agrícolas en asentamientos humanos.

Arévalo, A. (2015) en su tesis para titulada “*Análisis multitemporal de glaciares y lagunas glaciares en la Cordillera Blanca e identificación de potenciales amenazas GLOFs*” busco identificar los cambios en cuanto al área en lagunas glaciares y glaciares representa una potencial situación de riesgo por eventos de avenidas repentinas por desbordamiento de lagunas glaciares, para las localidades que se encuentran ubicadas aguas abajo y puedan estar en vulnerabilidad, los periodos de análisis fueron 2004, 2009 y 2014, empleando una metodológica basada en procesamientos de imágenes satelitales que permitan hallar los cambios lagunares y la dinámica de glaciares, mediante herramientas de teledetección y GIS. Para la conclusión de su investigación presento que existe una inclinación al aumento de las superficies y número de lagunas distribuidas por la Cordillera Blanca debido derretimiento abrupto de los glaciares, generado por el cambio climático. En el periodo de análisis (2004-2014), la superficie sufrió una reducción de 515.4 km<sup>2</sup> a 484.4 km<sup>2</sup>, lo que representa un 6% del total, esto confirmar la tendencia general de reducción de los glaciares a nivel global.

Gómez, W. y Zamora, N. (2008) de la Facultad De Ingeniería Geográfica, Ambiental Y Ecoturismo de la UNFV, realizaron un trabajo de investigación titulado “*Evaluación de la cobertura glaciar utilizando técnicas de teledetección espacial en la subcuenca del rio Quellcayhuanca – Rio Santa*”; que tuvo por como principal objetivo determinar el área de retroceso glaciar con la aplicación de técnicas de información geográfica como la teledetección, también mediante técnicas de hidrométricas, con el propósito de hallar la influencia en el rendimiento hídrico de la subcuenca del rio Quellcayhuanca, con una metodología basada en la teledetección y procesamiento de imágenes satelitales; para sus conclusiones del estudio menciono que el retroceso glaciar ha influido en las últimas décadas en los caudales, mediante el comportamiento de los cauces en la subcuenca del rio Quellcayhuanca, ubicado en la cuenca del rio Santa, departamento de Ancash.

Colonia, D. y Torres, J. (2007) en su trabajo de tesis titulado “*Determinación del retroceso glaciar en la microcuenca de Llanganuco, a través del análisis multitemporal en el periodo 1987- 2007*”, el estudio determinó la pérdida de cobertura glaciar en la microcuenca de la laguna de Llanganuco, empleando imágenes satelitales del satélite Landsat 5, además la aplicación de esta herramienta de información geográfica resulta perfecta, para extraer información sobre la dinámica de los glaciares en un periodo de 20 años que empieza en 1987 hasta el 2007, para las conclusiones se determinó el área de retroceso glaciar para los años de estudio que son de 1987-1996 y 1996-2007. Se estimó una pérdida de 1.523 Km<sup>2</sup> en 9 años y 2.345 Km<sup>2</sup> en 11 años, respectivamente.

### **1.2.2 Antecedentes Internacionales**

Páez, B. y García, A. (2016) en su trabajo de investigación de titulado “*Análisis multitemporal del retroceso glaciar en la sierra nevada de Santa Marta – Colombia- para los periodos 1986, 1996, 2007 y 2014*”, tuvo como objetivo la Evaluación del retroceso del glaciar de la Sierra Nevada de Santa Marta en diferentes intervalos de tiempo, mediante imágenes satelitales Landsat, para hallar la tasa de pérdida de nieve del glaciar mediante series de tiempo, mediante técnicas de teledetección las cuales facilitan el análisis, y la obtención información sobre los periodos de análisis, lo que ayuda a la investigación a lograr una mejor comprensión sobre los procesos o interacciones sobre la tierra y nos da una mejor visión global sobre los elementos que se encuentran en ella, ya que a través de los tratamientos informáticos permite la extracción de mucha información sin necesidad de acudir al área de estudio.(Alva, Meléndez, 2009). Destaco 2 de sus conclusiones que presenta Páez, B. y García, A. Primero que al observar el retroceso glaciar se hicieron evidentes los efectos del calentamiento global, el cual influyo en el clima del planeta provocando aumentos en la temperatura del ambiente, el cual se evidencio en el retroceso del glaciar de la Sierra Nevada de Santa Marta que en los últimos 7 años se ha acelerado y segunda la pérdida del glaciar de la Sierra Nevada de Santa Marta, provoca que la reserva de agua presente en el glaciar disminuya afectando a las comunidades de la región.

Copé De Los Mozos, R. título su proyecto de investigación de postgrado en Tecnologías de Información Geográfica *“Cálculo del retroceso glaciar en Isla Livingston y de su línea de costa para actualización de cartografía”* menciona que debido al retroceso glaciar; la cartográfica vigente debe ser actualizada en periodos razonables mediante la aplicación de la teledetección, ya que permitió obtener una visión panorámica de toda la superficie terrestre, y a través del análisis multitemporal se pueden obtener variaciones ocurridas en determinadas zonas de la tierra, además, pueden servir como complemento a trabajos en el terreno y en situaciones de inaccesibilidad del terreno; debido a que es imposible realizar trabajos en campo en la zona delimitada, se realizó una estimación a través de la teledetección de los cambios en la línea de costa de Isla Livingston, y se demostró que mediante la interpretación y procesamiento de las imágenes satelitales, que al menos esta zona al norte de la Península Antártica, ha sufrido un marcado retroceso, que repercute en variaciones notables de la línea de costa.

Ruiz, S. *et. al.* (2016) Presentó su trabajo de investigación para obtener el título de ingeniero geomático, el cual tituló *“Un análisis comparativo del retroceso glaciar en los Andes Tropicales usando teledetección”* en el cual tuvo como objetivo, analizar el comportamiento de los glaciares de los Andes Tropicales en un clima cambiante; para esto se empleó imágenes satelitales multiespectrales de diversas fuentes en conjunto con datos meteorológicos. Se calculó los cambios en la línea de nieve máxima anual para el período de 1985 - 2015, y también los cambios decenales en el área entre 1975 y 2015. Adicionalmente, se analizó la tasa de retroceso de los glaciares durante la ocurrencia de El Niño -Oscilación del Sur y la Oscilación Decenal del Pacífico. Se observó que los glaciares tanto de los trópicos interiores como de los trópicos exteriores se sometieron a retroceso durante todo el período de estudio, con énfasis entre 1975 y 1997, lapso coincidente con el período de calentamiento del Pacífico. Se observó variaciones excepcionales en la altitud de la línea de nieve cuando se produce un evento de El Niño durante la fase cálida de la Oscilación decenal del Pacífico.

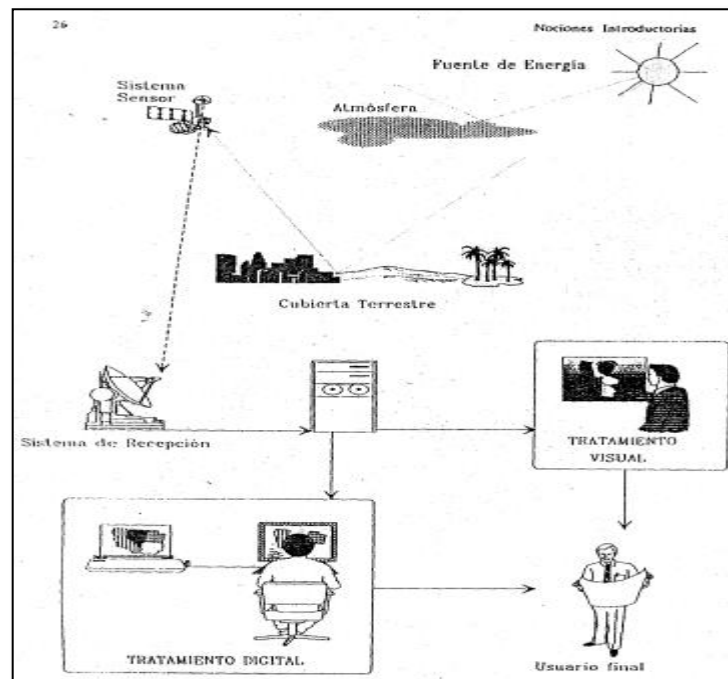
## 1.3 TEORÍAS RELACIONADAS AL TEMA

### 1.3.1 Marco Teórico

#### 1.3.1.1 Fundamentos la observación remota

Anteriormente se definió la teledetección como una herramienta que permite la obtención de información de un área determinada que se encuentra situada en alguna parte de la superficie terrestre. Para que esta interacción se pueda dar, por lo menos debe existir una interacción entre los elementos a estudiar y el sensor de un satélite cual sea. Nuestros sentidos nos permiten observar objetos solo si son capaces de decodificarlos, esto será posible si estos objetos encuentran dentro del rango del espectro visible, de lo contrario no sería posible percibirlos, por ejemplo, como cuando nos encontramos en una habitación sin iluminación. (Chuvienco, E. 2010, p.45).

*Figura 1. Chuvienco E. "Fundamentos de la teledetección" Componente de un sistema de Teledetección*



*Fuente: Chuvienco E. "Fundamentos de la teledetección"*

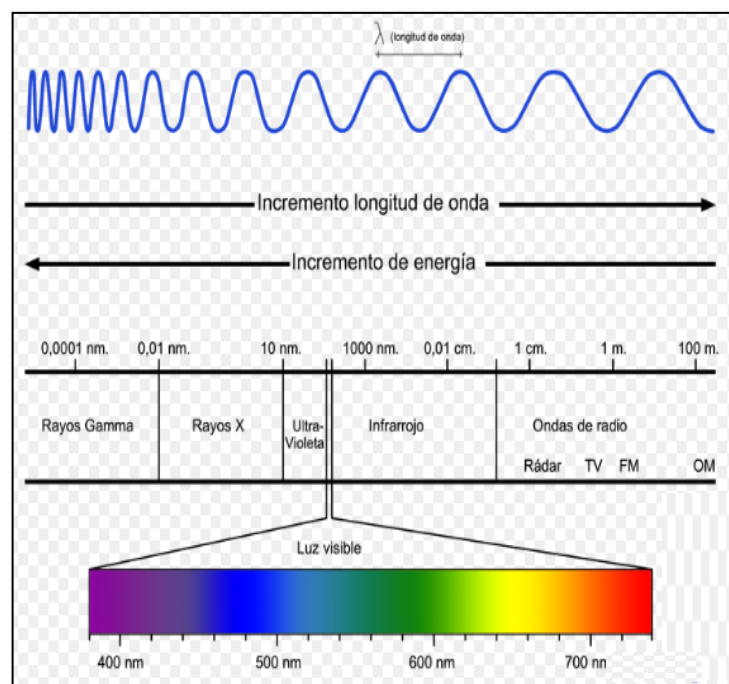
#### 1.3.1.2 El espectro electromagnético

El procesamiento de imágenes satelitales es una herramienta de información geográfica que permite identificar características de objetos o elementos sin tener la necesidad de entrar en contacto físico con este. (Universidad de Murcia, 2010, p.1).

La interacción va a ser un flujo de radiación, emitida por lo elementos de interés y es recepcionada por el sensor del satélite. Este flujo puede ser, en cuanto a su origen, de tres tipos: (Chuvieco, E. 1995, p.50).

- a) Espectro visible (0,4 a 0,7  $\mu\text{m}$ ). Se denomina de esta manera por tratarse de la única radiación electromagnética que puede percibir nuestros ojos, de donde se subdividen tres bandas fundamentales, que se denominan azul (0,4 a 0,5  $\mu\text{m}$ ); verde (0,5 a 0,6) y rojo (0,6 a 0,7  $\mu\text{m}$ ).
- b) Infrarrojo próximo (0,7 a 1,3  $\mu\text{m}$ ), resulta de especial importancia por su capacidad para discriminar masas vegetales y concentraciones de humedad.
- c) Infrarrojo medio (1,3 a 8  $\mu\text{m}$ ), en donde se entremezclan los procesos de reflexión de la luz solar y de emisión de la superficie terrestre.
- d) Infrarrojo termal (8 a 14  $\mu\text{m}$ ), que incluye la porción emisiva del espectro terrestre.

**Figura 2. Espectro electromagnético**



**Fuente: Universidad de Murcia. España.**

### 1.3.1.3 Radiación electromagnética

Según la Universidad de Murcia (2014), todos los objetos (independientemente de la radiación que emitan) van a recibir radiación emitida por otros cuerpos, fundamentalmente energía solar, que, en función del tipo de objeto y a sus



características físicas, químicas y biológicas, se pueden comportan de diferentes maneras que estemos considerando, puede seguir tres caminos (p.12).

- a. Reflejarse (La energía o radiación es enviada de vuelta al espacio)
- b. Absorberse (La radiación pasa a incrementar la energía del cuerpo que lo recibe)
- c. Transmitirse (La radiación se transmite de un cuerpo hacia otro).

Para Perez,C. y Muñoz, A. (2006) el primero; la energía incidente es retornada de vuelta por el elemento con el cual tuvo contacto con un ángulo de reflexión igual y opuesto al ángulo de incidencia, esto ocurre porque el elemento o la superficie en contacto son de un material liso o rugoso.

En caso del segundo, en este caso la ración que incide sobre el elemento invierte mayor parte de su energía en el calentamiento del elemento o materia.

Y por último la trasmisión sucede cuando la energía traspasa el elemento o materia que tiene contacto con esta (p. 80).

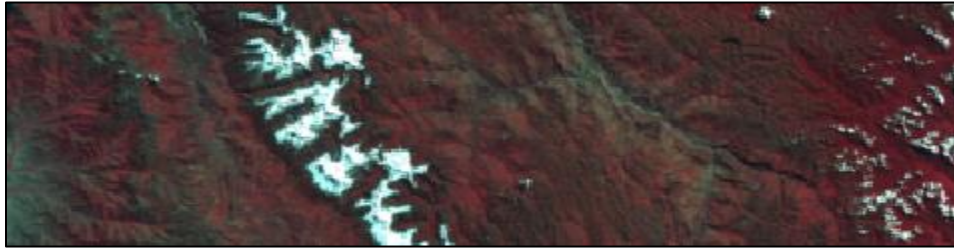
#### **1.3.1.4 Imágenes satelitales**

##### **1.3.1.4.1 Pre procesamiento de imágenes satelitales**

Teniendo presente el carácter matricial de cualquier imagen digital, es posible realizar operaciones numéricas como el cálculo de medidas de tendencia central, dispersión (media y desviación típica en cada banda), cambio de la orientación geométrica (rotación de la matriz) realizar combinaciones aritméticas entre bandas, para realizar diferentes identificar o resaltar elementos de interés, como es en el caso de la composición de bandas. Véase en las siguientes combinaciones. (Chuvienco, E. 1995, p.38).

Combinación de bandas 4, 3,2 o también llamado “Falso Color” Ésta es una de las combinaciones más utilizadas en la teledetección debido a que es muy útil para los estudios de vegetación, monitoreo y seguimiento de drenajes, patrones de suelo y poder realizar una evaluación sobre las diferentes fases de crecimiento de los cultivos.

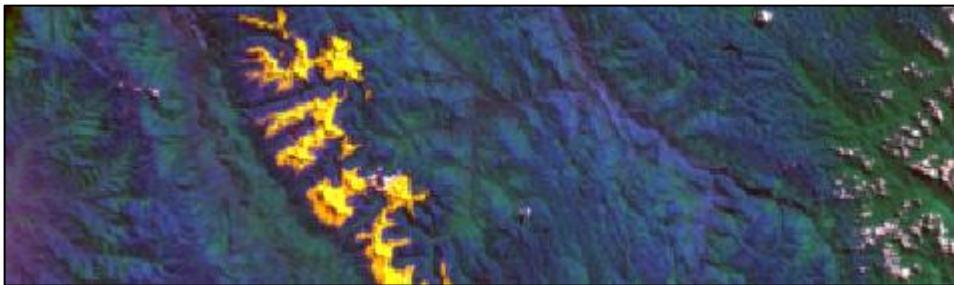
**Figura 3. Combinación de bandas 4, 3, 2. Landsat 7**



**Fuente: Elaboración propia**

Combinación de bandas 1, 4, 5: Como se puede apreciar las tonalidades de nieve son resaltadas con un color dorado, además discrimina la superficie cubierta de rocas con un tono azul y las zonas de vegetación con un color verde intenso.

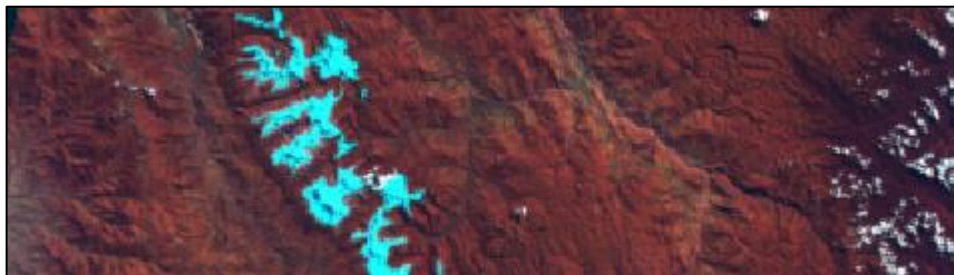
**Figura 4. Combinación de bandas 1, 4, 5. Landsat 7**



**Fuente: Elaboración propia.**

Combinación de bandas 5, 3, 1: Esta combinación muestra a textura topográfica, mientras que la combinación 731 puede mostrar diferentes tipos de rocas.

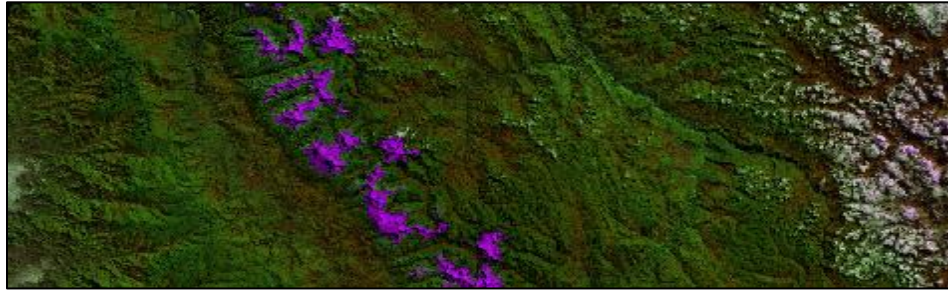
**Figura 5. Combinación de bandas 5, 3, 1. Landsat 7**



**Fuente: Elaboración propia:**

Combinación de bandas 4, 5, 1: Utilizado frecuentemente para estudios de vegetación en este caso con la adición de la banda media del infrarrojo aumenta la sensibilidad de detectar varias fases del crecimiento de las plantas o del stress hídrico que presentan.

Figura 6. Combinación de bandas 4, 5, 1. Landsat 7



Fuente: Elaboración propia.

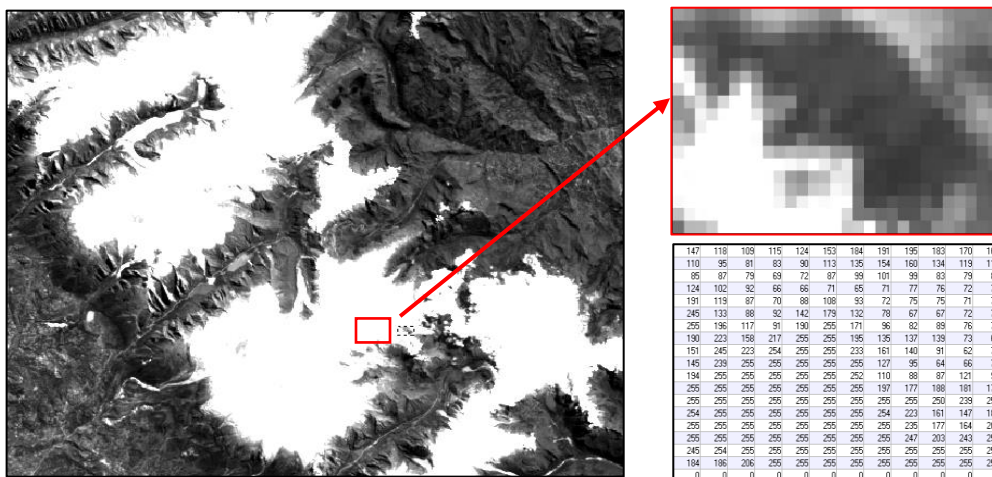
Y de esta manera poder reducir la información que se repite, o discriminando grupos de niveles digitales (ND) homogéneos dentro de la matriz (clasificación). (Chuvienco, E. 1995, p.38).

**1.3.1.4.3 ND (Niveles digitales)**

Este valor numérico llamado o denominado nivel digital (ND). Se le otorga el nombre por tratarse de un valor numérico, no visual, pero que puede fácilmente traducirse a una intensidad visual también relacionada con la calidad de imagen o, que se encuentra establecida en una escala de grises. Donde los colores más bajos de la escala de grises o blancos, tiene los valores más cercanos al 0 y los niveles más cercanos a los negros tienen valores y niveles digitales más cercanos al 256, hablando de una imagen de 8 bits (Villar A. y Pastor I., 2007, p.45).

Véase en la siguiente imagen:

Figura 7. Niveles digitales (ND) de una sección del nevado Huascarán del año 2000



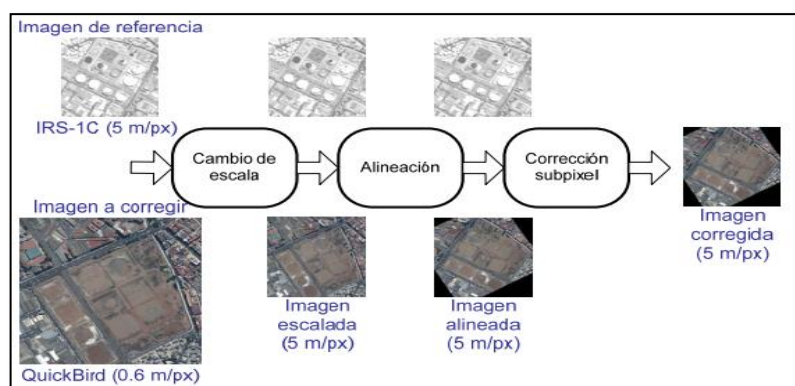
Fuente: Elaboración propia.

En las imágenes obtenidas por los sensores remotos, cada ND representa un área de la tierra en un lugar específico. El valor de ND asignado al píxel está en función de la luz reflejada o emitida de la porción de la superficie terrestre.

### 1.3.1.4.3 Correcciones geométricas – georreferenciación

Este concepto incluye cualquier cambio en la posición que ocupan los píxeles de la imagen inicialmente. Por contraposición con las correcciones radiométricas, aquí no se pretende modificar los ND (Niveles Digitales), en otras palabras, aumentar o disminuir la calidad de la imagen, sino solo su posición o sus coordenadas geográficas. Gracias a tratarse de una imagen de formato digital, esta transformación puede basarse en funciones numéricas, que permiten modificar muy flexiblemente la geometría de la imagen (Machine Perception and Intelligent Robotics, 2014)

Figura 8. Esquema general del procedimiento de corrección geométrica previo a la detección de cambios.



Fuente: Machine Perception and Intelligent Robotics

### 1.3.1.4.4 Correcciones atmosféricas

La radiación electromagnética emitida de manera artificial o natural, emitida por el sol y por algún tipo de sensor cual sea, respectivamente; se ve afectada por diferentes componentes presentes en la atmósfera, que pueden afectar los diferentes cálculos o índices que la investigación requiere; estos pueden ser la presencia de gases, vapor de agua dispersa en la atmósfera; que ocasiona que la radiación emitida por el sensor tenga contacto con estos elementos que no son de interés para el estudio, evitando así que entre contacto con la superficie terrestre y posteriormente sea recepcionada por el sensor.

### 1.3.1.4.5 Correcciones radiométricas

Una vez que la radiación electromagnética es generada esta es enviada a través de toda la atmósfera y superficie terrestre, esta interacción con la atmósfera y los diferentes elementos que se encuentran dispersas en ella, afectan a la radiación en su longitud de onda, intensidad, distribución espectral y hasta puede variar la dirección con la que inicialmente fue emitida. Hay dos tipos de efectos que puede

ocasionar la atmósfera: absorción y dispersión. El ruido introducido por la atmósfera tiene efectos importantes en la teledetección y su remoción es necesaria (Administración de Parques Nacionales, 2005 p.21).

El término corrección geométrica, es un término muy genérico, que se fundamenta en la modificación de los ND (Niveles digitales) originales, con el objetivo de acercarlos a los que habría presentes en la imagen caso de una recepción ideal. Dentro de este concepto se engloban el concepto que anteriormente se mencionaban que son las distorsiones provocadas por la atmósfera, así como los problemas radiométricos derivados del mal funcionamiento del sensor, debido al tiempo de uso o por desfase del sensor (Chuvienco, E., 2014, p.242).

#### **1.3.1.4.6 Índices espectrales**

Son un conjunto de técnicas y métodos que permiten extraer y destacar coberturas o elementos de interés; las imágenes de satélite están conformadas por información digital que al estar formada por una matriz numérica esta contiene información espectral de los diferentes elementos de la tierra, como agua, suelo, vegetación, nieve, etc. y puede ser sometida a diferentes algoritmos y operaciones algebraicas que permiten generar subproductos, que vienen a ser imágenes resaltadas con el elemento de interés, donde aparecen reflejados los distintos tipos de información, dependiendo del procedimiento que se esté realizando, además de poder destacar las características del elemento de interés (Moreno. A, 2010, p.15).

#### **1.3.1.4.7 Clasificación supervisada**

Para el INGEMMET (Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, 2005) esta técnica permite al usuario identificar áreas representativas de cada categoría, con la condición que el usuario cuente con un conocimiento previo de la zona de estudio, a partir de ahí el software que se esté utilizando para el procesamiento de la imagen, calcula las estadísticas elementales de cada categoría (media, rango, desvío estándar, etc.), basada en los ND (niveles digitales) de cada pixel que definen a cada una de las clases, para posteriormente asignar el resto de los pixels de la imagen a una de esas categorías en función a su similitud de niveles digitales de cada pixel (p.3).

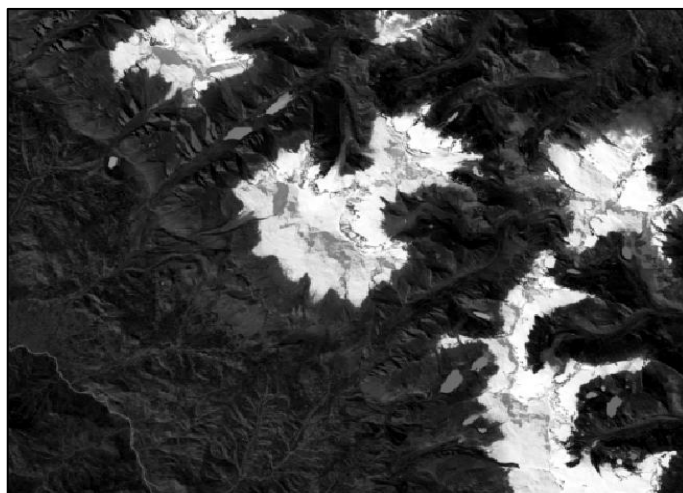
#### **1.3.1.4.8 Clasificación no supervisada**

Por otro lado, a clasificación no supervisada, donde el usuario no cuenta con el conocimiento necesario o suficiente sobre el elemento de interés, fija el número inicial de categorías o más comúnmente llamado “clases” que desea obtener y luego el software asigna los píxeles automáticamente a las distintas clases en los que mayor similitud de niveles digitales encuentre en base a operaciones estadísticas (INGEMMET, 2005, p.3).

#### **1.3.1.4.9 Índice de nieve de diferencia normalizada (NDSI)**

Este índice permite la elaboración de mapas de distribución de nieve en la superficie y la estimación de las características de la misma a partir de datos obtenidos mediante la teledetección. En la longitud de onda del visible es difícil discriminar la nieve de las nubes, resulta más evidente en el infrarrojo medio debido a que las gotas o cristales de hielo de las nubes son más pequeñas que los granos de nieve por lo que absorben menor radiación en esta banda del espectro, además normalmente la cobertura de nieve tiene mayor reflectividad que las nubes en el visible o banda del azul y una textura más homogénea. Así que estas bandas son necesarias para realizar un cálculo de índice de nieve no normalizado debido a que para aplicar el algoritmo de NDSI se relaciona las bandas del azul y del infrarrojo medio. Lo que permite obtener una imagen que representa con valores altos de Niveles Digitales (ND) la cobertura de nieve y con valores bajos ND las demás coberturas presentes. (Moreno. A, 1996, p.32).

*Figura 9. NDSI del nevado Huascarán 2017, mediante el software ERDAS IMAGINE 2014*

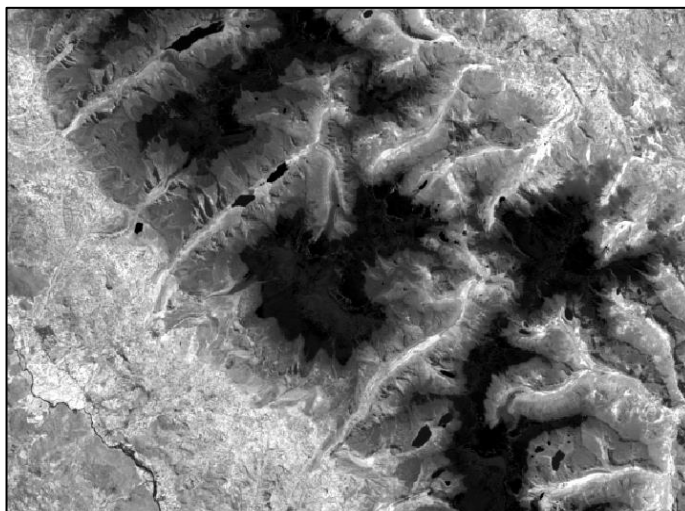


*Fuente: Elaboración propia.*

#### 1.3.1.4.10 Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

Para determinar la densidad de verde en un pedazo de tierra o un área de la imagen, los investigadores mencionan que deben observar distintos colores (longitudes de onda en el espectro electromagnético) del rango visible y el infrarrojo cercano reflejado por las plantas. Como si veríamos a través de un prisma, se despliegan muchas longitudes de onda que forman la luz solar. Cuando la luz solar entra en contacto con algunos objetos o elementos; algunas longitudes de onda son absorbidas por los objetos y muchas otras son reflejadas, esto se debe a las características del objeto. El pigmento en las hojas de las plantas el cuales es la clorofila, absorbe fuertemente el espectro de luz visible, el cual se encuentra en el rango de 0.4  $\mu\text{m}$  hasta 0.7  $\mu\text{m}$ , para ser usados en la fotosíntesis. Por otro lado, la estructura celular de las hojas refleja fuertemente la luz del infrarrojo cercano (de 0,7 a 1,1  $\mu\text{m}$ ). Mientras más vigorosa sea la planta, más de estas longitudes de luz se verán reflejadas (NASA- National Aeronautics and Space Administration, 2010).

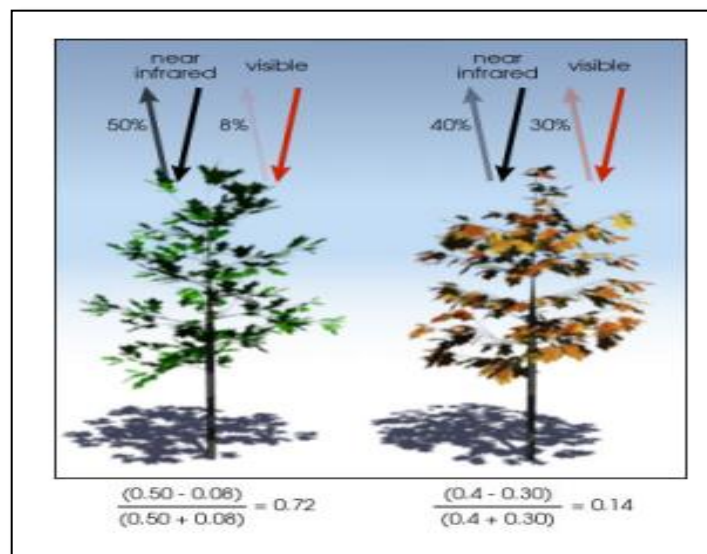
*Figura 10. NDVI del nevado Huascarán 2017, mediante el software ERDAS IMAGINE 2014*



*Figura 10. Fuente: Elaboración propia.*

La empresa Harris, A (2012) líder en equipos de comunicaciones y teledetección menciona que el Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) es un medidor de salud, en la vegetación. La combinación de esta índice; es usada para cuantificar la absorción y reflectancia en regiones donde se encuentre la clorofila, principal pigmento de las hojas, el valor del rango para este índice es -1 a 1. El rango común para la vegetación verde es de 0,2 a 0,8.

Figura 11. Absorción de la luz en la vegetación



Fuente: NASA 2010, Simmon Robert

En la imagen proporcionada por la NASA, podemos observar que la vegetación sana y vigorosa absorbe la mayor parte de la luz visible que recibe y a su vez también refleja una gran parte de las ondas del espectro del rango del infrarrojo cercano. A diferencia, la vegetación poco saludable, refleja mayor luz visible y menos luz del infrarrojo cercano.

### 1.3.2 Marco Conceptual

#### Glaciar

“Un glaciar es una gruesa masa de hielo que se origina en la superficie terrestre por acumulación, compactación y recristalización de la nieve (Aguilón, A. 2012, p.1).

#### Cobertura

“La cobertura comprende todo lo que ocupa un espacio determinado dentro de un ecosistema y su conocimiento es indispensable para definir, determinar y cartografiar unidades ecológicas homogéneas. Existen diferentes tipos de cobertura los cuales se agrupan en clases de acuerdo con sus características, y estas últimas, se agrupan en unidades que en su orden jerárquico son vegetal, degradada, hídrica y construida” (Municipalidad de Miranda, 2010. p.1).

#### Cobertura glaciar

“Se denomina glaciar a grandes masas de hielo que originan en condiciones específicas de precipitación atmosférica sólida (nieve, granizo, bolillas de nieve), y que se acumula durante varios años, estas condiciones climáticas se cumplen



principalmente en los lugares más altos de las cordilleras, donde las condiciones son aptas o las temperaturas se mantienen iguales o inferiores a 0°C” (Tejada, B., 2010).

### **Laguna glaciar**

Cuando los glaciares entran en dinámica o retroceden, la mayoría de las veces dejan a su paso condiciones topográficas perfectas para la formación de lagunas, tales como depresiones o cuencas en el terreno, tanto por el mismo hielo como por derrubio que son un conjunto de fragmentos de rocas que se han desplazado por una corriente o agentes y se depositan en una pendiente: Estas depresiones pueden ser recargadas directamente mediante precipitación de la zona y por escorrentía sucesiva debido al derretimiento o desprendimiento de la cobertura glaciar, dando origen a lagunas glaciares (Adam, *et. al.*, 2014, p. 238).

Huddart y Stott utilizan la clasificación de lagunas glaciares en función a su posición en el glaciar, las clasifica como lagunas marginales, aquellas que se encuentran adyacentes al glaciar y pueden estar represadas por el mismo glaciar debido a la topografía empina del lugar; lagunas proglaciares, aquellas que se encuentran frente al margen glaciar, dónde las condiciones topográficas permiten el represamiento (2010, p. 521). Siguiendo esta misma lógica de clasificación, también existen las lagunas supraglaciares, aquellas que se encuentran sobre el glaciar y son represadas por ellos mismos.

**Figura 12. Tipos de lagunas glaciares según su posición en el glaciar. Laguna marginal a la izquierda y laguna proglaciar a la derecha.**



**Fuente: ADERLYA.**

### **Mapa temático**

Según ICA (Asociación Internacional De Cartografía): “Un mapa temático es aquel que está diseñado para mostrar características o conceptos particulares. En el uso convencional mapas, este término excluye mapas topográficos” (ICA, 2010 p.1)

### **Volumen**

“El concepto volumen proviene del latín volumen. El volumen como magnitud es entendido como el espacio que ocupa un cuerpo. La misma posee tres dimensiones, alto, ancho y largo” (Carlos, A. p.77).

### **Análisis multitemporal con imágenes satelitales**

“El análisis multitemporal de fotografías aéreas e imágenes satelitales es una herramienta importante para monitorear los cambios en el uso del suelo, de cobertura boscosa, entre otras; a través del tiempo y espacio, dando una visión objetiva en la toma de decisiones en el momento de realizar proyectos sostenibles para conservar los recursos naturales” (Muñoz, D. y Montenegro, M. p.9).

### **Nevado**

Todo aquel lugar o cosa que aparece cubierto por nieve. En tanto, por nieve se designa a aquel fenómeno meteorológico que se caracteriza por la precipitación sobre la tierra de pequeñísimos cristales de hielo” (Municipalidad de Miranda, 2010. p.1).

### **Teledetección espacial**

Aquella técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales. (Chuvieco, E. 1990 p.27).

### **Resolución espacial**

“Este concepto designa el objeto más pequeño que puede ser distinguido sobre una imagen” (Chuvieco, E. 1995, p.90).

### **Resolución espectral**

“Indica el número y anchura de las bandas espectrales que puede discriminar el sensor” (Chuvieco, E. 1995, p.93).

### **Resolución radiométrica**

“Hace mención a la sensibilidad del sensor, esto es; a su capacidad para detectar variaciones en la radiancia espectral que recibe” (Chuvieco, E.1995, p.94).

### **Resolución temporal**

“Este concepto alude a la frecuencia de cobertura que proporciona el sensor. En otras palabras. Refiere a la periodicidad con la que adquiere imágenes de la misma porción de la superficie terrestre” (Chuvienco, E. 1995, p.95).

### **1.3.3 Marco Legal**

El Comité de Naciones Unidas para el Uso Pacífico del Espacio Exterior que fue fundada en el año 1957, en un intento por salvaguardar la paz a nivel mundial se encuentra desarrollando principios, normas y leyes que permitan aliviar las tensiones entre gobiernos observados y observadores. El génesis de este proyecto en el tratado de las actividades de exploración del espacio fue firmado en 1967 en el cual esta ratificado 88 países. En esta se señala que el espacio ultraterrestre, incluyendo la luna y otros cuerpos celestes, no podrán ser adjudicados por estados internacionales, por reivindicación de soberanía, uso u ocupación, ni mediante ningún otro medio. (Chuvienco, E. 1990 p.38).

Según la ley N° 29338 ley de los recursos hídricos, en el capítulo II artículo 15° sobre las funciones de la Autoridad Nacional del Agua, menciona en el punto 6, que en base a estudios técnicos debe declarar el agotamiento de las fuentes naturales de agua, para interés de la investiga, la principal fuente de reserva de agua serían los glaciares; además el ANA (Autoridad Nacional del Agua) debe declarar los estados de emergencia cuando se detecte escasez de este recurso, superávit hídrico, contaminación de las fuentes de reserva o cualquier conflicto que se encuentre relacionado a la gestión de los recursos hídricos, a su vez se están en la obligación de dictar medidas de prevención y protección. (Ver anexo 4)

Así mismo en el artículo 21° sobre las funciones del jefe de la Autoridad Nacional del Agua en el punto 5 menciona que debe “proponer al Consejo Directivo políticas, planes y estrategias institucionales; así como las medidas necesarias para el eficiente funcionamiento de la Autoridad Nacional. (Ver anexo 5)

En el CAPÍTULO IV artículo 25° sobre las autoridades regionales y locales, mediante sus instancias correspondientes, deben intervenir en la preparación de los planes para la gestión de los recursos hídricos ubicados en cuencas hidrográficas. Para estas acciones interviene el Consejo de Cuenca para desarrollar acciones de control y vigilancia, en colaboración con la ANA para asegurar el uso sostenible de los recursos hídricos. (Ver anexo 6)

Y por último uno de los artículos más importante para la preservación del recurso hídrico es el artículo 89º sobre las medidas preventivas y la lucha contra los efectos del cambio climático.

La Autoridad Nacional y de la mano de la Autoridad del Ambiente, están en la obligación de desplegar proyectos y estrategias con un enfoque de prevención y adaptación frente a los efectos del cambio climático que se han ido intensificando en las últimas décadas, y sus efectos sobre las cantidades de agua disponible y las variaciones climáticas de orden local, regional y a nivel nacional. Asimismo, debe realizar un constante análisis sobre la vulnerabilidad del recurso hídrico, glaciación, lagunas y flujo hídrico. (Ver anexo 7)

## **1.4. FORMULACIÓN AL PROBLEMA**

### **1.4.1 Problema General**

- ¿Cómo la aplicación de la teledetección permite cuantificar la dinámica cobertura glaciar del nevado Huascarán y de las lagunas glaciares adyacentes desde 1990 al 2017?

### **1.4.2 Problemas Específicos**

- ¿Cómo la aplicación de la teledetección permite cuantificar la cobertura glaciar del nevado Huascarán entre 1990 al 2017?
- ¿Cómo la aplicación de la teledetección permite cuantificar la cobertura glaciar de las lagunas adyacentes al nevado entre 1990 al 2017?

## **1.5. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO**

Uno de los problemas más evidentes a largo plazo a causa del cambio climático es la desaparición masiva de grandes masas de hielo, de manera permanente; este fenómeno vienen ocurriendo y acelerándose desde las últimas décadas y son múltiples los impactos asociados, la reducción de los glaciares y masas de hielo permanentes sobre los continentes son una de las consecuencias más directas y de alcance global lo que provoca un incremento del nivel de los océanos, y a su vez un aumento de la temperatura del ambiente por efecto de una mayor radiación solar absorbida por la superficie terrestre. (Katz, 2010).

El presente documento aportara el conocimiento suficiente para dar a conocer el comportamiento de la dinámica de cobertura glaciar y su influencia sobre las lagunas adyacentes al nevado Huascarán, además de evaluar la variación de la temperatura como principal factor de la regresión glaciar.

Esta investigación se justifica, porque la situación actual sobre de retroceso acelerado de los glaciares por el Cambio Climático, merece realizar un monitoreo continuo de glaciares y lagunas; con la finalidad de que pueda servir para realizar futuros proyectos con fines de conservar este recurso hídrico, enfocado en el nevado del Huascarán y la laguna glaciares adyacentes al nevado a fin de identificar potenciales amenazas que pongan en riesgo a poblaciones, ecosistemas, actividades económicas, entre otros, y realizar las medidas necesarias para una adecuada Gestión del Riesgo de Desastres (Arévalo, A., 2014, p. 5).

Cabe destacar que la formación y evolución de las lagunas glaciares son una gran oportunidad para el aprovechamiento del potencial hidroeléctrico, ya que presentan las condiciones geográficas, también llamadas represas naturales debido a su ubicación en partes altas, lo que las hace favorables para esta actividad. (Arévalo, A. 2015 p. 13).

Se justifica en este contexto, el presente estudio que pretende establecer si las herramientas de información geográfica, como la teledetección permite cuantificar la dinámica glaciar en el nevado Huascarán y a su vez este influya en el aumento del área y formación de lagunas glaciares adyacentes al nevado en el departamento de Ancash.

## **1.6. HIPÓTESIS**

### **1.6.1 Hipótesis General**

- La aplicación de herramientas de teledetección sobre el nevado Huascarán permite cuantificar la dinámica de cobertura glaciar del nevado Huascarán y de las lagunas glaciares adyacentes desde 1990 al 2017.

### **1.6.2 Hipótesis Específicas**

- La aplicación de la teledetección permite cuantificar la cobertura glaciar del nevado Huascarán entre 1990 al 2017.
- La aplicación de la teledetección permite cuantificar la cobertura glaciar de las lagunas adyacentes al nevado entre 1990 al 2017.

## **1.7. OBJETIVO**

### **1.7.1 Objetivo General**

- Determinar como la aplicación de la teledetección permite cuantificar la dinámica cobertura glaciar del nevado Huascarán y de las lagunas glaciares adyacentes desde 1990 al 2017.

### **1.7.2 Objetivos Específicos**

- Cuantificar la cobertura glaciar del nevado Huascarán entre 1990 al 2017 mediante la teledetección.
- Cuantificar la cobertura glaciar de las lagunas adyacentes al nevado entre 1990 al 2017 mediante la teledetección.



## II. METODO

### 2.1 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

#### 2.1.1 Tipo

La presente investigación es de tipo descriptivo debido a que se pretende obtener información acerca de un fenómeno que el investigador dispone, iniciando con la recopilación de datos, además el investigador determina cuáles serán las variables que se pretendan identificar. La investigación de tipo descriptiva va más allá del a recolección de datos; a un proceso de análisis e interpretación, desde un marco teórico fundamentad (Moreno G. 2007 p.128) y correlacional ya que proporciona indicios de la relación que podría existir entre dos o más cosas (Salkind, N. 1999 p.12).

#### 2.1.2 Diseño

El presente estudio tuvo como diseño metodológico de investigación no experimental ya que no se pretende manipular de manera deliberada las variables, no se pretendió hacer variaciones intencionales a las variables (Darío, I. y Darío, R. 2006 p.158).

#### 2.1.3 Temporalidad

La presente investigación es longitudinal, esto debido que la recolección de información se dará en diferentes periodos de tiempo, para describir las variables y analizar su incidencia e interrelación. (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 154).

#### 2.1.4 La Unidad de Análisis

Ambiente de trabajo: área glaciario del nevado Huascarán

*Cuadro 1. Información geográfica*

Coordenadas	90° 07' 15" S. a 77° 36' 14"
Altitud	max:6,768 m.s.n.m.
	min: 5,000 m.s.n.m.
Sierra	Cordillera Blanca
Distritos comprendidos	Yungay, Yanama, Shilla y Manco
Provincia	Carhuaz y Yungay
Departamento	Ancash

*Fuente: Elaboración propia. A partir de los datos de la ANA*

### 2.2.1. Variables, dimensiones e indicadores

Variable Teledetección Chuvieco, E. (2010), sostuvo que es una herramienta importante para estudios y evaluar diversos fenómenos naturales, entre ellos (calcular) coberturas glaciares y dinámica de lagunas, en el cual el autor consideró las siguientes dimensiones, Extracción de cobertura glaciar, Extracción de cobertura lagunar, Clasificación no supervisada y análisis de temperatura.

Variable Dinámica de cobertura glaciar, el ANA (2014), señala que, asimismo, las entidades competentes deben realizar constantes análisis sobre la vulnerabilidad del recurso hídrico, glaciar, lagunas y flujo hídrico para realizar estos seguimientos se consideran las siguientes dimensiones, Tasa de pérdida, Área, Perímetro; tanto de lagunas como nevados.

### 2.2.2. Operacionalización

La operacionalización de una variable es hacer manejable un concepto, una idea volverla fácil de entenderla y trabajarla (Ospino, 2014).

*Cuadro 2. Operacionalización de variables*

<b>La Teledetección Y Su Relación Con La Dinámica De La Cobertura Glaciar De I Nevado Huascarán Y De Las Lagunas Glaciares Adyacentes Entre 1990 Y El 2017</b>			
<b>Variables</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Escala de medición</b>
<b>Teledetección</b>	Imágenes satelitales	Bandas espectrales	Nº bandas
		Sección/Extracción	Coordenadas
		Extracción de cobertura glaciar	Área
		Extracción de cobertura lagunar	Área
		Clasificación no supervisada	Nº clases
	Temperatura	Temperaturas máximas	+Celsius (°C)
		Temperaturas mínimos	-Celsius (°C)
<b>Dinámica de Cobertura glaciar</b>	Cobertura glaciar del nevado	Tasa de pérdida	%
		Área	m <sup>2</sup>
	Cobertura glaciar de las lagunas	Perímetro	m
		Área	m <sup>2</sup>

*Fuente: Elaboración propia*

## 2.2. PLOBACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

### 2.2.1. Población

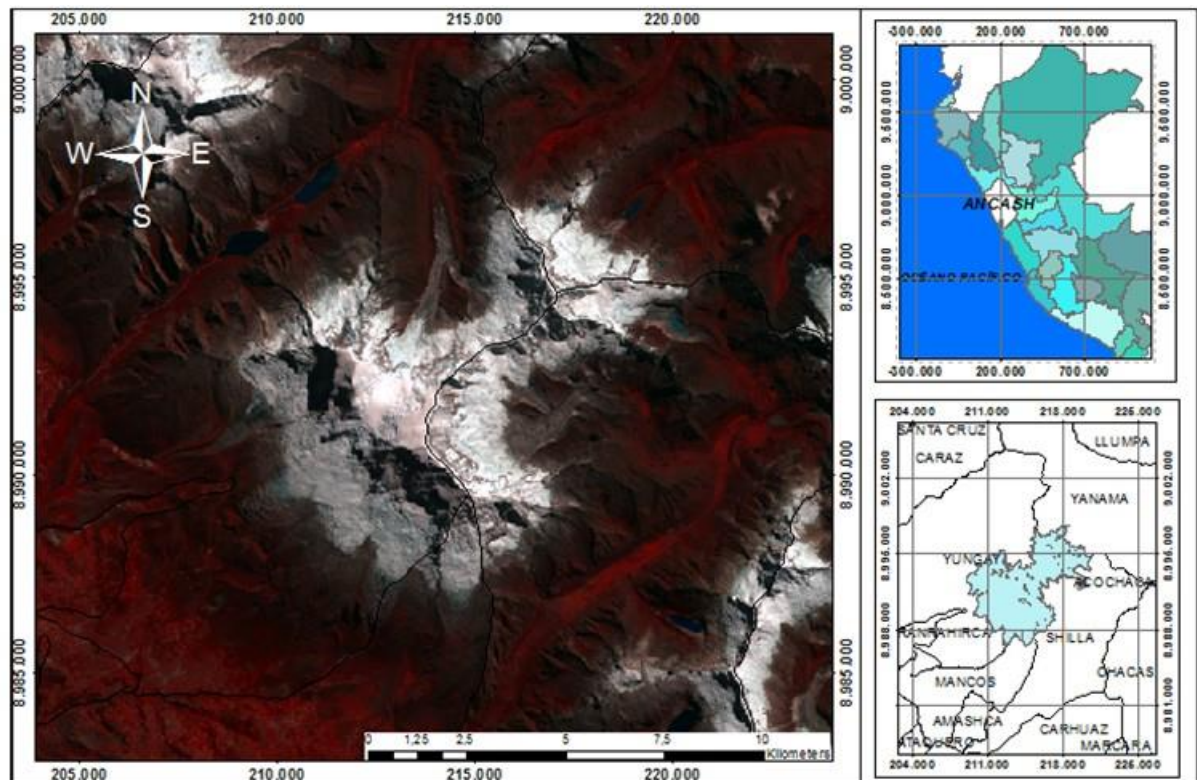
La población se encuentra comprendida en el departamento de Ancash, para la presente investigación se encuentra accesible al público en general ya que está dentro del Parque Nacional Huascarán, es un área natural protegida (ANP). Según D.S. N° 010-2015- MINAM en el Artículo 1 en el que menciona que las investigaciones en las áreas naturales protegidas son de interés nacional.

### 2.2.2 Localización de la zona de estudio

El área de estudio pertenece estrictamente al nevado Huascarán ubicado entre los distritos de Yungay, Yanama, Shilla y Mancos de las provincias de Carhuaz y Yungay en el Departamento de Ancash (SERNANP, 2010), extendiéndose  $90^{\circ} 07' 15''$  S. a  $77^{\circ} 36' 14''$  W (National Geospatial Intelligence Agency).

La siguiente imagen muestra la zona de estudio.

*Figura 13. Nevado Huascarán, Ancash-Perú*



*Fuente: Elaboración propia.*

### **2.2.2.1 Parque Nacional Huascarán**

El Nevado Huascarán con 6746 m.s.n.m forma parte del Parque Nacional Huascarán (PNH) ubicado en la zona norte – centro del país entre las provincias de Huaylas, Yungay, Carhuaz, Huaraz, Recuay, Bolognesi, Huari, Asunción, Mariscal Luzuriaga y Pomabamba en el Departamento de Ancash, posee una extensión de 340,000 hectáreas y forma parte emblemática de la identidad cultural del Departamento de Ancash (SERNANP, 2010).

Esta área regional es muy accidentada y comprende el flanco oriental de la Cordillera Blanca del callejón de Conchucos y el occidental del callejón de Huaylas el cual posee elevados picos nevados entre los 5,000 m.s.n.m. y 6,768 m.s.n.m.

### **2.2.2.2 Fisiografía**

Fue creado en 1975 y en 1977 fue declarado Reserva de Biosfera por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO); y en 1985 fue incluido en la lista de Patrimonio Natural de la Humanidad por el mismo. El territorio del Parque Nacional Huascarán es accidentado y comprende el flanco oriental de la Cordillera Blanca en la zona del callejón de Conchucos y el occidental en la zona del callejón de Huaylas. Presenta cumbres nevadas con altitudes que oscilan entre los 5,000 m.s.n.m. y 6,768 m.s.n.m. En el Parque Nacional Huascarán se encuentra al nevado más alto del Perú el cual es objeto de investigación en el presente trabajo, con 6746 m.s.n.m., denominado Huascarán. También como principales montañas nevadas tenemos a Chopicalqui (6.400 m.s.n.m.), Huautsan (6.395 m.s.n.m.), Huandoy (6.356 m.s.n.m.), Copa (6.270 m.s.n.m.), Alpamayo (6.120 m.s.n.m.), entre muchos otros, además alberga muchas lagunas, las principales son: Querococha (3.990 m.s.n.m.), Parón (4.190 m.s.n.m.), Llanganuco (3.820 m.s.n.m.) (SERNANP, 2010)

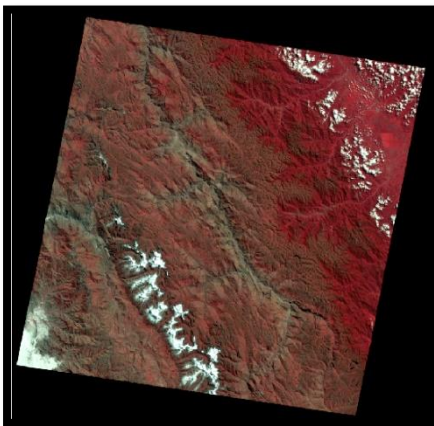
### **2.2.2.3. Clima**

Las temperaturas mínimas se dan en las partes altas de la cordillera, llegando a un promedio anual de 0° Centígrados y las máximas alrededor de 7° C. Conforme se baja de altitud, las temperaturas suben y el clima se hace más agradable.

### 2.3. Materiales

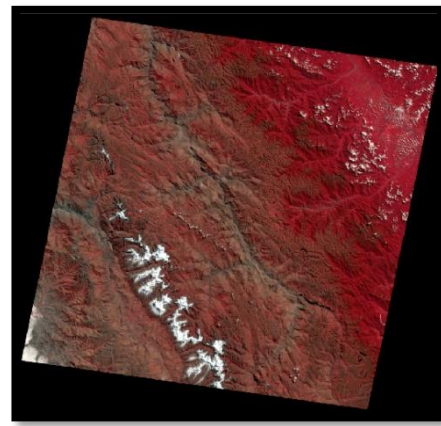
Descarga de las imágenes satelitales Landsat en las diferentes bandas de los sensores TM (Thematic Mapper), ETM (Enhanced Thematic Mapper) y Operational Land Imager (OLI) de los satélites, Landsat 5, Landsat 7 y Landsat 8 respectivamente, para los años de 1990, 2000, 2010 y 2017.

**Figura 14.** Imagen satelital Landsat 7 del 06-30-1990  
combinación de bandas RGB (4, 3,2)



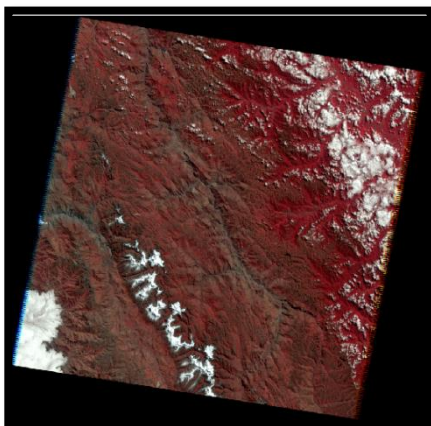
*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura 16.** Imagen satelital Landsat 8 del 04-16-2010  
combinación de bandas RGB (4, 3,2)



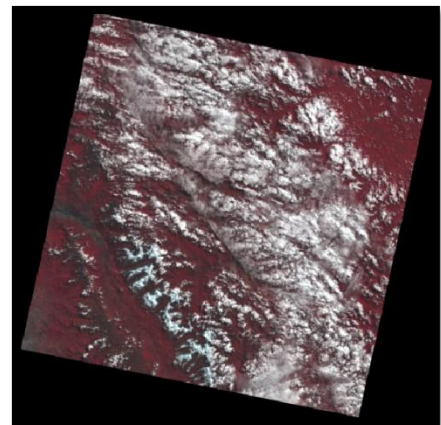
*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura 15.** Imagen satelital Landsat 7 del 06-30-2000  
combinación de bandas RGB (4, 3,2)



*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura 17.** Imagen satelital Landsat 8 del 04-16-2017  
combinación de bandas RGB (4, 3,2)



*Fuente: Elaboración propia.*

### **2.3.4 Muestra**

La muestra tomada fue objetiva y directa, contando con el área total del retroceso del glaciar del año 1990 al año 2017 de 12,858 km<sup>2</sup> lo que representa el 12,68% de cobertura glaciar total del nevado Huascarán.

### **2.3.5 Selección de la Muestra**

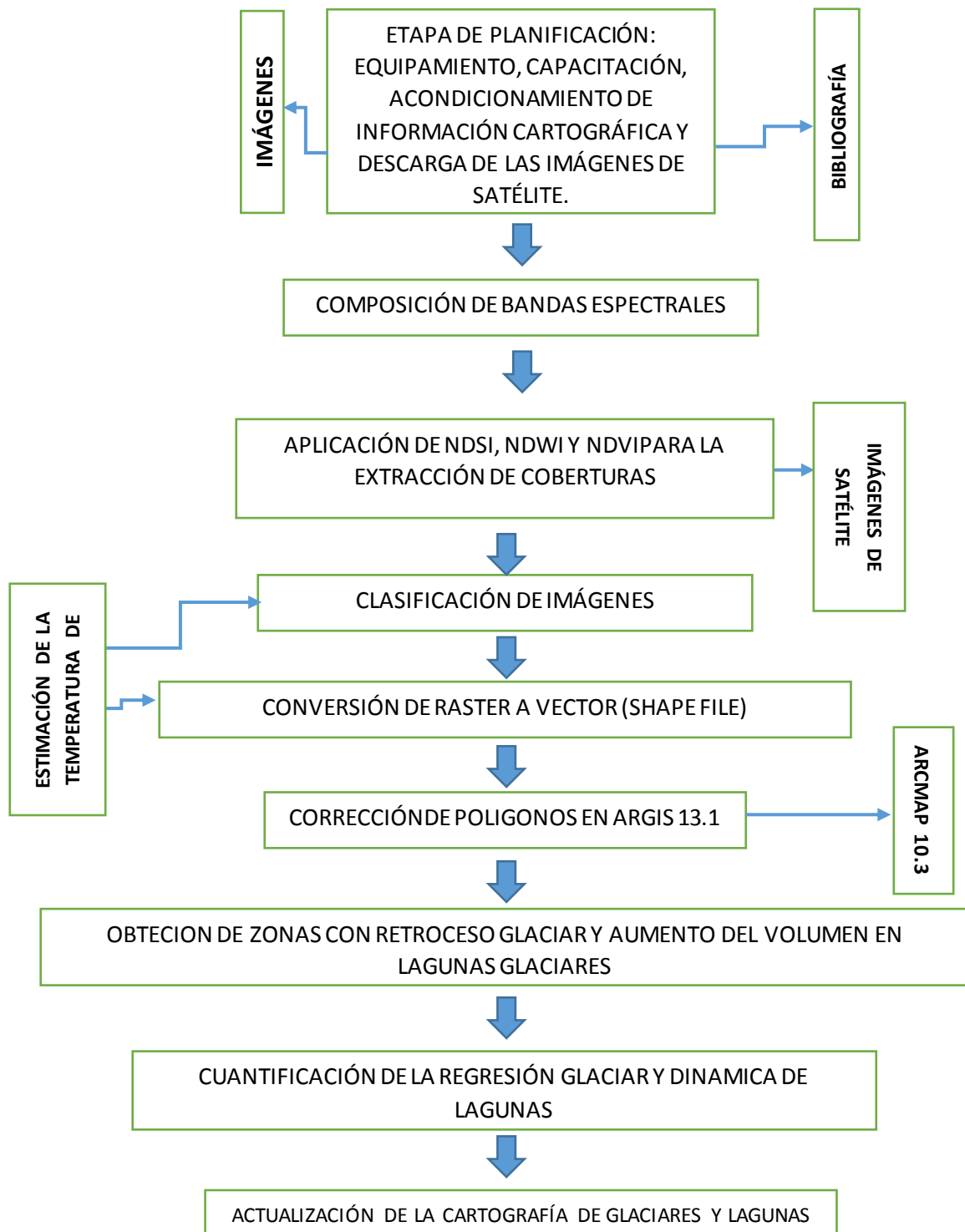
Muestreo no probabilístico ya que los elementos de estudio no dependen de alguna probabilidad, estos se tomaron de acuerdo a las necesidades de la investigación o del propósito del investigador. El proceso de la selección, no está basado en fórmulas de probabilidad (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 176).

## **2.4. TECNICAS E INSTRUMENTOS DE MEDICION DE DATOS, VALIDEZ Y CONFIABILIDAD**

### **2.4.1 Descripción del procedimiento**

Debido a que la problemática concentra en un área bastante extensa (370km<sup>2</sup> que tiene como extensión territorial) y que el análisis del nevado Huascarán y las lagunas glaciares es de análisis multitemporal, en cuatro periodos diferentes, se consideró que sería necesario la utilización de técnicas de teledetección y herramientas GIS con el fin de aplicar un método semi-automatizado que permita identificar la dinámica en la cobertura glaciar y las lagunas glaciares, con el mayor porcentaje de exactitud, y calcular parámetros espaciales de manera rápida y precisa. Para conseguir un producto basada en una metodología rápida y precisa se establecieron etapas de trabajo, que se desarrollarán a continuación.

**Grafico 1. Diagrama del cálculo de la dinámica de la cobertura glaciar del Nevado Huascarán y análisis del volumen de las lagunas glaciares.**

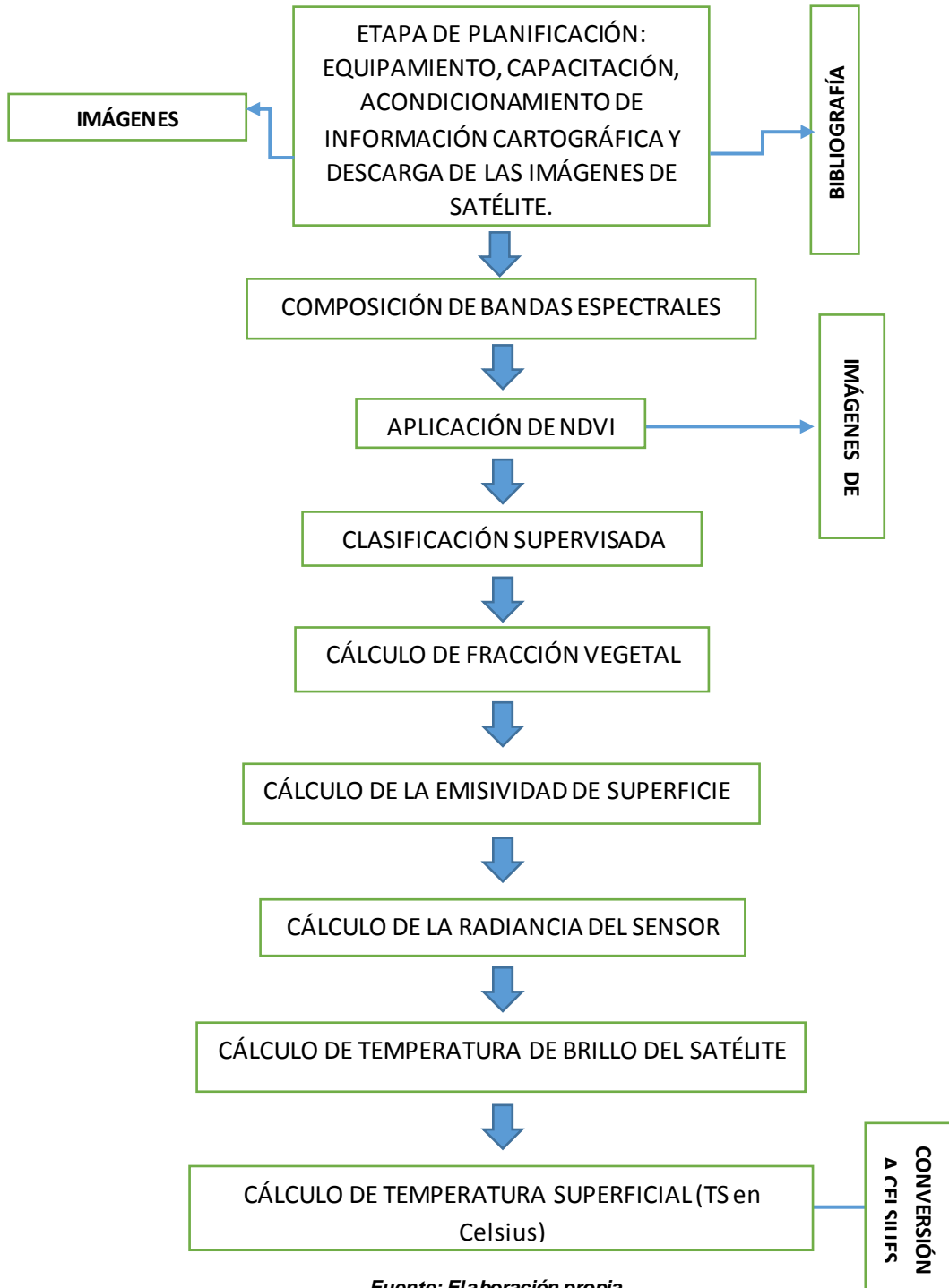


*Fuente: Elaboración propia.*

Resulta de suma importancia para este trabajo de investigación realizar una estimación de la temperatura de superficie, ya que es uno de los parámetros más

importantes en la dinámica de cobertura glaciar y el aumento del volumen de las lagunas. La metodología se presenta mediante el siguiente esquema:

**Grafico2. Diagrama del “Cálculo y estimación de la temperatura de superficie del Nevado Huascarán**





#### **2.4.2 Técnica de recolección de datos**

Como técnica se utilizó la observación o exploración visual que consiste en el registro de las características del satélite y del sensor esto permitirá la obtención de datos numéricos sobre la dinámica del nevado y de las lagunas, estas características serán en una ficha de observación o recolección de datos que posteriormente serán procesadas.

#### **2.4.3 Instrumento de recolección de datos**

Para realizar el recojo de datos, se elaboró una ficha de recolección de datos, en la cual se ingresará todas la características típicas de las imágenes satelitales; tales como: Ubicación de la zona de estudio, periodos de análisis, fuente de adquisición de las imágenes, tipo de sensor, resolución espacial, temporal, ancho de barrido de la escena, entre otras, de igual manera se elaboró otra ficha de observación en la cual se ingresarán los resultados obtenidos del procesamiento de las imágenes satelitales, como el área de glaciar del nevado, porcentaje de cobertura, y el perímetro del nevado para cada año de estudio y para analizar los resultados en el área de lagunas se registrarán, , el área, y el perímetro. Por último, se registró los niveles de temperatura según las alturas del nevado Huascarán, lo que permitirá establecer una relación directa entre la regresión glaciar y aumento de la temperatura. (Ver anexo 3)

#### **2.4.4 Validez y confiabilidad del instrumento**

La validez y confiabilidad del trabajo se realizará a través de las fichas o formatos de observación que serán validadas por expertos y/o profesionales con conocimientos y experiencia en el tema que se propuso para la investigación, obteniendo un promedio en la calificación de 84.2 %. (Ver anexo 9).

Apellidos y Nombres del validador	Especialidad del validador	Porcentaje de aprobación
Rodríguez Mendoza Máximo	Docente Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible	75%
Zevallos León Máximo	Ing. Químico-Asesor Financiero "SOSAMA" SAC	80%
Alejandro Suarez	PhD. Química	81%
Sabino Muñoz Adriano	Dr.	90%
Valdivieso Gonzales Lorgio	Ing. Metalúrgico	95%

## 2.5 MÉTODOS DE ANÁLISIS DE DATOS

### 2.5.1 Recajo de Datos

Se usará la teledetección como herramienta principal para determinar los cambios en el comportamiento de la cobertura glaciar, debido a las características multitemporales que presenta, además de empleará los índices de NDSI (Índice de Nieve de Diferencia Normalizada), como indicador de la masa glaciar y diferencia de tipos de cobertura glaciar, y NDVI (Índice de Vegetación de Diferenciada Normalizada), como indicador cobertura vegetal para posteriormente realizar un cálculo de temperatura, aplicando a imágenes satelitales adquiridas de los sensores Landsat ETM, ETM+ y OLI.

### 2.5.2 Proceso de análisis de datos

El estudio se desarrolló en 03 etapas:

En la primera etapa, las imágenes se obtuvieron a partir de los sensores Thematic Mapper TM, Enhanced Thematic Mapper (ETM+), Operational Land Imager (OLI) pertenecientes al satélite Landsat versiones 5, 7 y 8 para las estaciones de otoño de los años 1990, 2000, 2010 y 2017, fechas que permitieron procesar las imágenes con mayor detalle debido a la temporada seca en la Cordillera Blanca y presencia de nubosidad mínimas como las imprecisiones precisando la delimitación del nevado y lagunas, estas imágenes obtenidas del sitio web de US Geological Survey de manera similar a la aplicada por (Suraj R., Singh B. y Schickhoff. U. 2016, 205-218). Cada versión Landsat posee un número de bandas, el Landsat 5 con su sensor TM cuenta con 7 bandas, 3 bandas del espectro visible, 3 bandas del infrarrojo y 1 banda térmica y a diferencia de las anteriores esta tiene una resolución espacial de 120 m utilizada para el cálculo de temperatura de superficie (Chander G, Markham B, y Helder D. 2009, p.893–903).

El siguiente cuadro muestra la información técnica de cada Landsat:

**Cuadro 3. Información técnica resumida – Landsat 5**

SATELITE	SENSOR	RESOLUCIÓN ESPECTRAL ( $\mu\text{m}$ )		BANDAS	RESOLUCIÓN ESPACIAL (m)	RESOLUCIÓN TEMPORAL
LANDSAT 5/1990	Thematic Mapper (TM)	Banda 1 azul:	0.45 - 0.52	Multiespectral	30	16 Días
		Banda 2 verde:	0.52 - 0.60			
		Banda 3 roja:	0.63 - 0.69			
		Banda 4 Infrarrojo cercano1:	0.76 - 0.90			
		Banda 5 Infrarrojo cercano2:	1.55 - 1.75			
		Banda 7 Infrarrojo medio:	2.08 - 2.35			
		Banda 6 Infrarrojo térmico:	10.4 - 12.5	Termal	120	

*Fuente: Elaboración propia (MINAM 2014)*

La versión Landsat 7, actualmente posee 8 bandas dentro de las cuales incorpora la banda denominada “pancromática” con una resolución espacial de 15 m., mientras que las imágenes

**Cuadro 4. Información técnica resumida – Landsat 7**

SATELITE	SENSOR	RESOLUCIÓN ESPECTRAL ( $\mu\text{m}$ )		BANDAS	RESOLUCIÓN ESPACIAL (m)	RESOLUCIÓN TEMPORAL
LANDSAT 7/2000 y 2010	Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+).	Banda 1 azul:	0.45 - 0.52	Multiespectral	30	16 Días
		Banda 2 verde:	0.52 - 0.60			
		Banda 3 roja:	0.63 - 0.69			
		Banda 4 Infrarrojo cercano1:	0.76 - 0.90			
		Banda 5 Infrarrojo cercano2:	1.55 - 1.75			
		Banda 7 Infrarrojo medio:	2.08 - 2.35			
		Banda 6 Infrarrojo térmico:	10.4 - 12.5	Termal	120	
		Banda 8: Pancromática	0.52 - 0.90	Pancromática	15	16

*Fuente: Elaboración propia (MINAM 2014)*

Landsat 8 son obtenidas mediante el sensor (OLI) y (TIRS) y comprenden once bandas espectrales de las cuales las bandas de 1 a la 7 y la banda 9 poseen una resolución espacial de 30 metros, es importante destacar que la banda 1 denominada “costal blue” es útil para estudios costeros y aerosoles que no es aplicada en este estudio, mientras que la banda 9 es útil para la detección de cirrus o nubes, las bandas térmicas 10 y 11 son útiles para proporcionar temperaturas más precisas de la superficie y tienen 100 metros de resolución, condiciones que

fueron empleadas en esta investigación y fueron antes descritas por (Ariza , A. 2013).

**Cuadro 5. Información técnica resumida – Landsat 7**

SATELITE	SENSOR	RESOLUCIÓN ESPECTRAL (μm)		BANDAS	RESOLUCIÓN ESPACIAL (m)	RESOLUCIÓN TEMPORAL
LANDSAT 8/2017	Operational Land Imager (OLI) y el sensor térmico infrarrojo Thermal Infrared Sensor (TIRS)	Banda 1 aerosol:	0.43 - 0.45	Aerosol	30	16 Días
		Banda 2 azul:	0.45 - 0.52	Multiespectral		
		Banda 3 verde:	0.52 - 0.60			
		Banda 4 roja:	0.63 - 0.69			
		Banda 5 Infrarrojo cercano1:	0.76 - 0.90			
		Banda 6 Infrarrojo cercano2:	1.55 - 1.75			
		Banda 7 Infrarrojo medio:	2.08 - 2.35			
		Banda 8: Pancromática	10.4 - 12.5	Pancromática	120	
		Banda 9: Cirrus	0.52 - 0.90	Cirrus	15	
		Banda 10: Infrarrojo termica	10.60 - 11.19	Termica	100	
		Banda 11: Infrarrojo termica	11.50 - 12.51			

**Fuente: Elaboración propia (MINAM 2014)**

El segundo criterio fue el nivel de corrección, las imágenes descargadas de USGS EarthExplorer cuentan con el nivel de corrección L1T, el cual esta mencionado en el protocolo de Ortorectificación de Imágenes Satelitales Landsat “Los productos L1T consisten en productos de datos L1R con correcciones geométricas sistemáticas aplicadas, utilizando para ello puntos de control terrestre (GCP) o información de posición integrada a bordo para entregar una imagen registrada a una proyección cartográfica, referenciada a WGS84, G873, o a su versión actual.

**Tabla 1. Características de una imagen nivel 1 del terreno**

Coordinate System Properties	
Projcs	WGS_1984_UTM_Zone_18N
Geogcs	GCS_WGS_1984
Datum	D_WGS_1984
Spheroid	WGS_1984,6378137.0,298.257223563
Prime Meridian	Greenwich,0.0
Unit	Degree,0.0174532925199433
Projection	Transverse_Mercator
False Easting	500000.0
False Northing	0.0
Central Meridian	(-)75.0
Scale Factor	0.9996
Latitude of Origin	0.0
Unit	"Meter",1.0

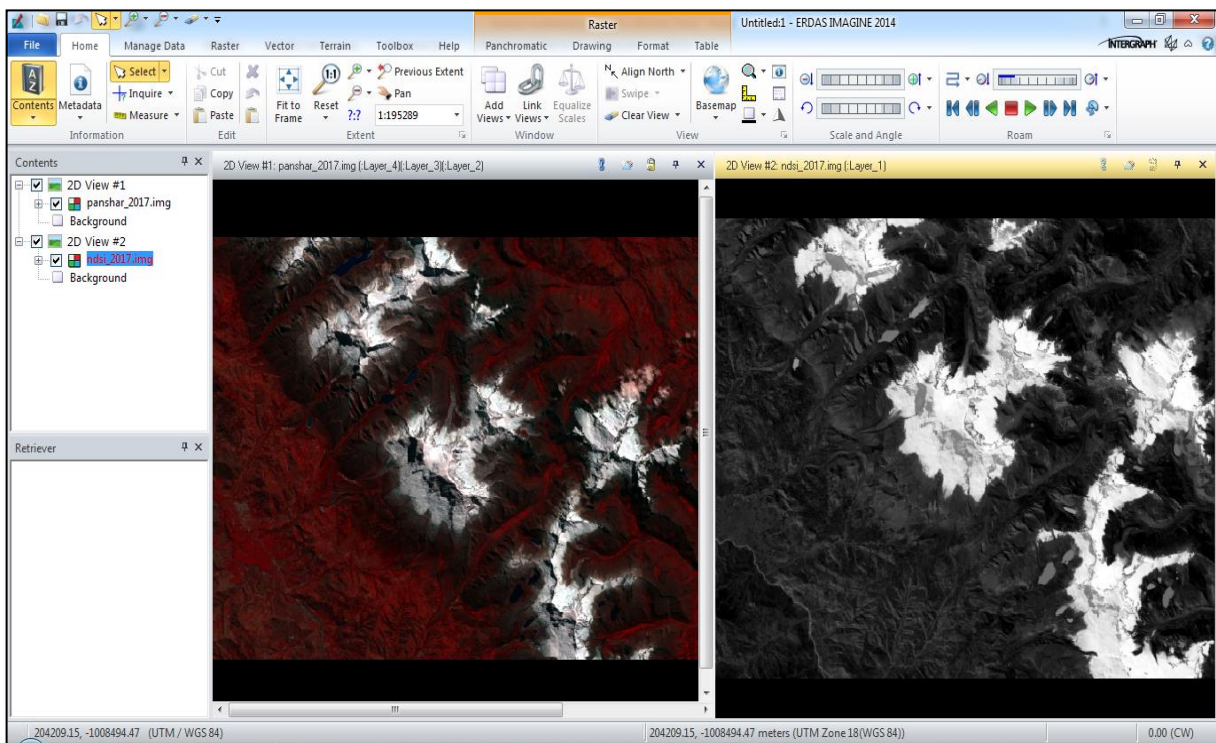
**Fuente: US Geological Survey (USGS)**

Previa a la tercera etapa se compusieron las bandas en color falso, en Landsat 5 TM (432), Landsat 7 ETM + (432) y Landsat 8 OLI (543), debido a que la imagen

del año 1990 no cuenta con la banda pancromática, no se realizó la fusión con la banda compuesta, con el objetivo de reducir los errores en los resultados del cálculo de NDSI y NDWI.

El registro continuo más largo de observaciones basadas en satélite fue proporcionado por la serie Landsat que facilitó el monitoreo glacial con una resolución espacial válida para considerarse en la toma de decisiones de manejo según señalan diversos autores (Chander G, Markham B, y Helder D. 2009, 113). La tercera etapa comprendió la extracción de la cobertura glacial y lagunar, mediante herramientas automatizadas que permitieron calcular el índice de nieve de diferencia normalizada (NDSI) y el índice de agua de diferencia normalizada (NDWI) como señala (Kääb, A., Bolch, T., Casey, K., Et. al. 2014, p. 14).

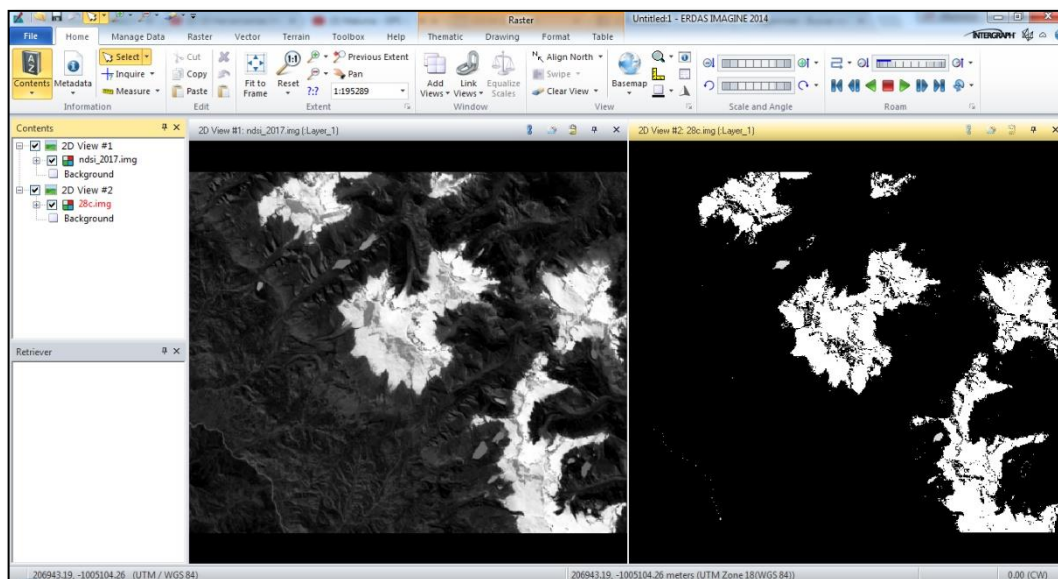
**Figura 18. Cálculo de NDSI (Índice De Nieve De Diferencia Normalizada) para el Nevado Huascarán**



**Fuente: Elaboración propia**

Luego del cálculo del NDSI, se procedió a realizar una clasificación no supervisada, como menciona el INGEMMET, se fijó el número inicial de categorías o más comúnmente llamado “clases” que desea obtener y luego el software asigna los píxeles automáticamente a las distintas clases en los que mayor similitud de niveles digitales encuentre en base a operaciones estadísticas.

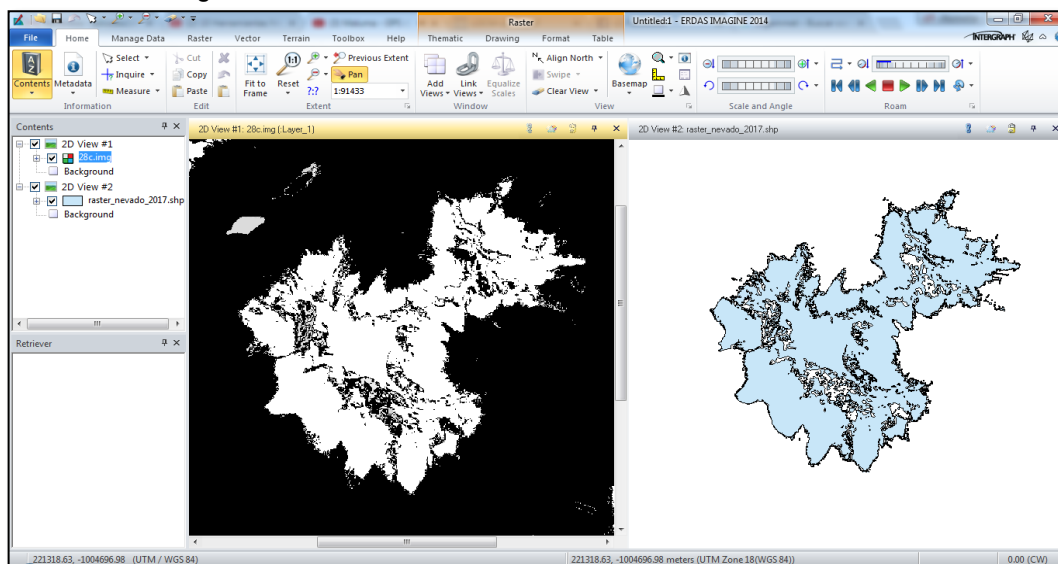
**Figura 19. Clasificación no supervisada al resultado del NDSI del Nevado Huascarán**



**Fuente: Elaboración propia**

En la clasificación no supervisada aún se tiene que eliminar los elementos que no son de interés, como los glaciares adyacentes al nevado, lagunas entre otros. Para hacer esta manipulación de elementos en la imagen, es necesario hacer una conversión del formato raster de la imagen a un vector (shapefile), como se muestra a continuación.

**Figura 20. Conversión de la clasificación a vector del nevado Huascarán**

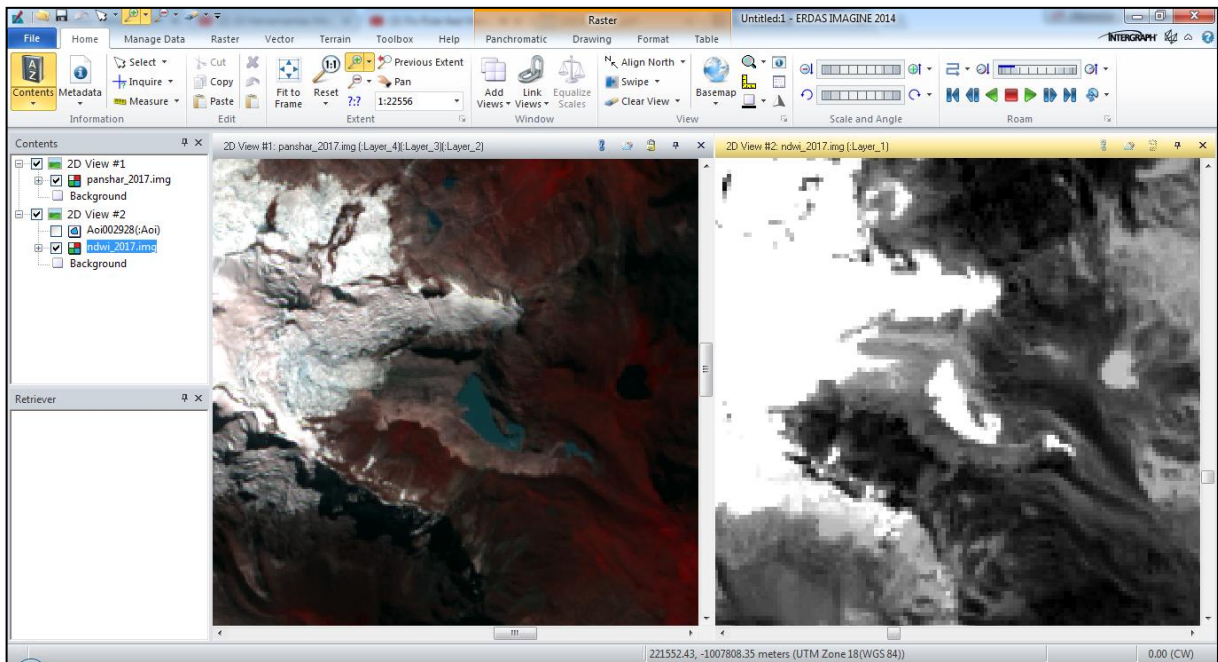


**Fuente: Elaboración propia**

Cuando se tuvo la imagen solo con los elementos de interés que en este caso fue la cubierta del nevado Huascarán, se procedió a realizar un “Merge” a través del

software ArcGis 10.3, que une todos los polígonos que conforman el vector (shapefile), de esta manera se tiene solo un polígono general que representa el nevado Huascarán y también se obtiene el área como una sola unidad.

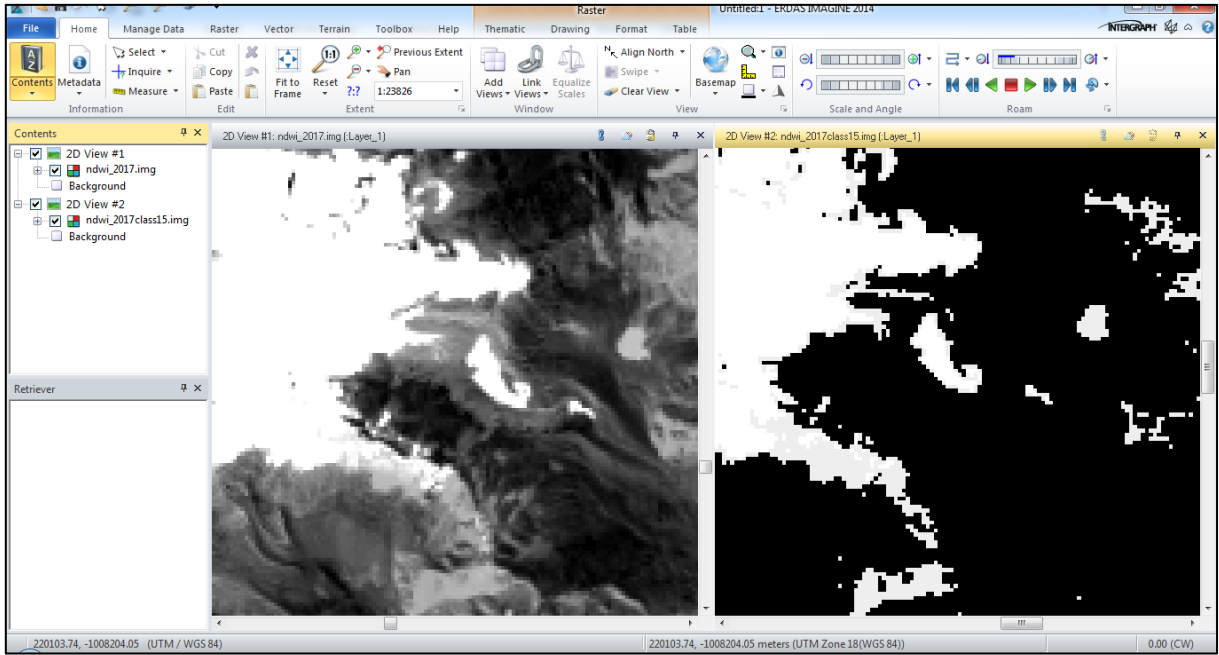
**Figura 21. Cálculo de NDWI (Índice de Agua De Diferencia Normalizada) de las lagunas adyacentes al nevado Huascarán**



**Fuente: Elaboración propia**

El cálculo del NDWI permitió obtener las áreas correspondientes a las lagunas glaciares adyacentes al nevado, mediante el software ERDAS versión 14 y los errores relacionados con las sombras que distorsionaban la cobertura glacial fueron corregidos mediante el software ArcGIS 10.3. El Índice de agua de diferencia normalizada (NDWI), que hace uso de la banda del infrarrojo cercano y la banda del rango visible (azul), se utilizó con éxito para identificar y delinear características de las lagunas glaciares adyacentes al nevado de acuerdo a lo señalado por (McFeeters, S. 2007, p.7).

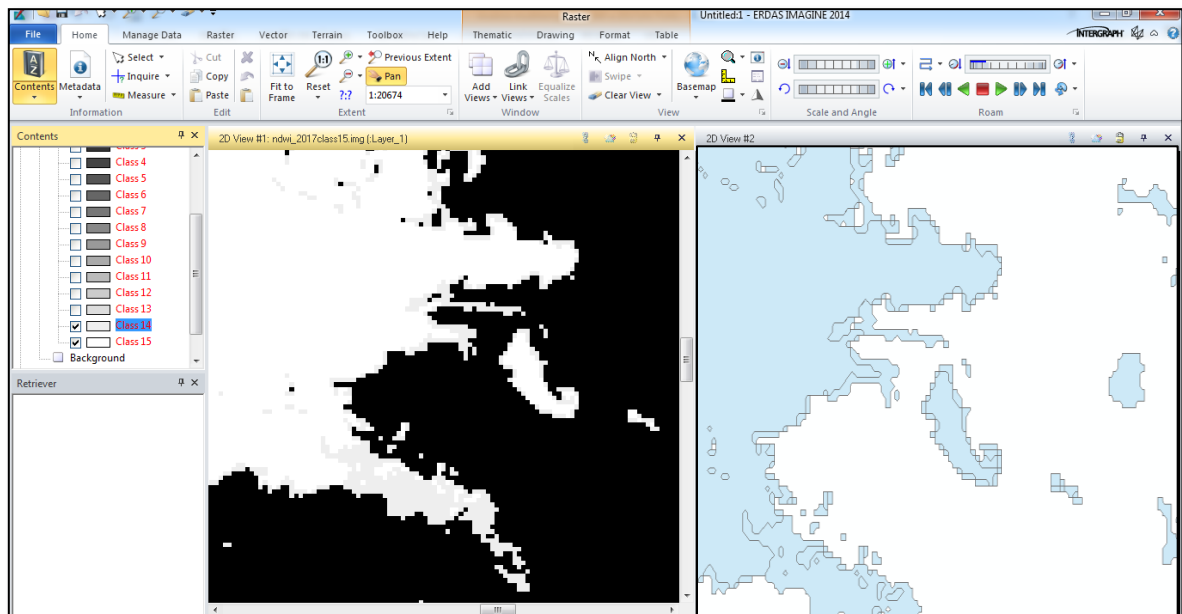
**Figura 22. Clasificación no supervisada al resultado del NDWI de las lagunas adyacentes al nevado Huascarán**



*Fuente: Elaboración propia*

De igual forma se eliminó los elementos que no son de interés  
También se realizó la conversión del formato raster de la imagen a un vector (shapefile), como se muestra a continuación.

**Figura 23. Conversión de la clasificación a vector de las lagunas adyacentes al nevado Huascarán**



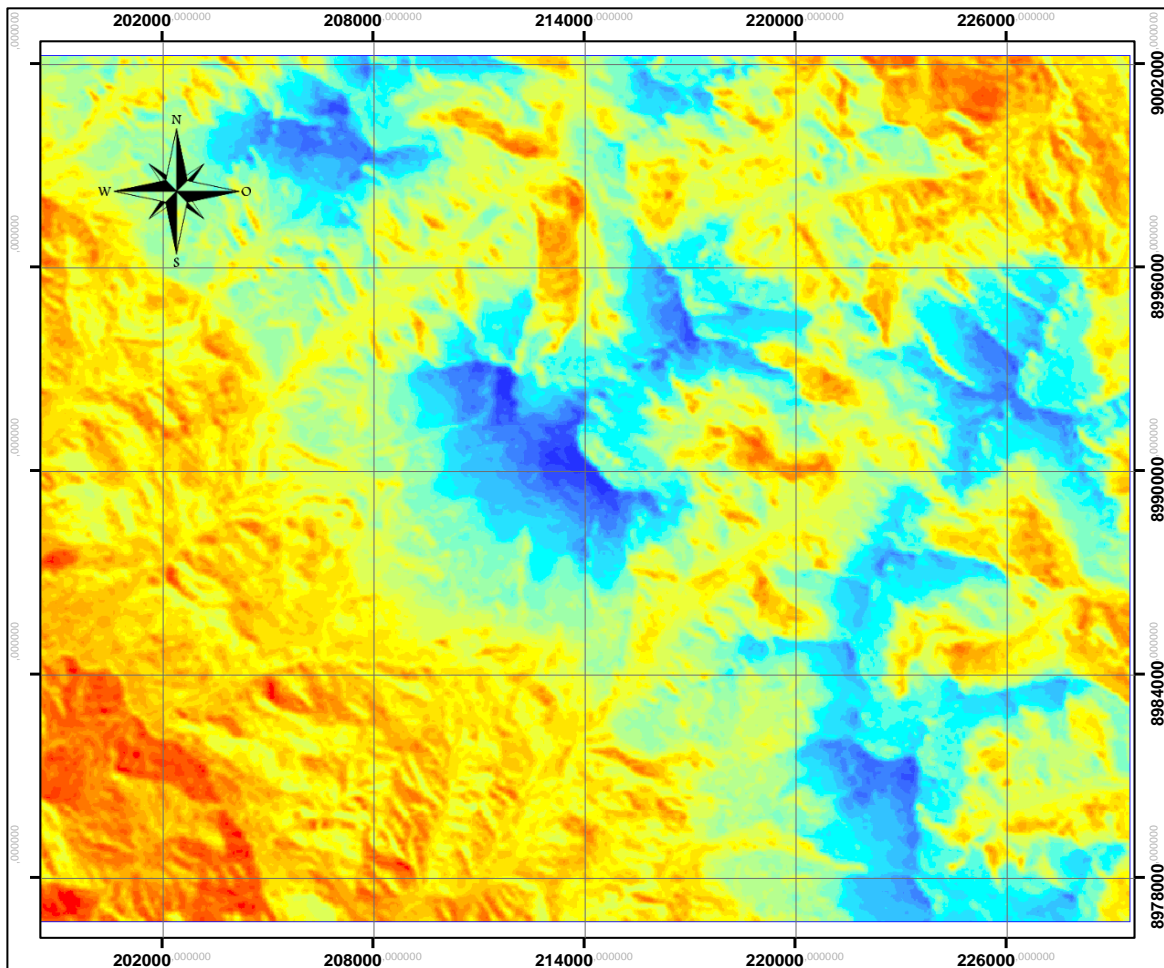
*Fuente: Elaboración propia*



### 1.3.1.4.11 Estimación o cálculo de la temperatura de superficie

Se trabajó con la banda termal de los sensores del satélite Landsat, siendo la Temperatura de la Superficie Terrestre (TST) la variable principal, se aplicó el algoritmo de estimación de la temperatura de superficie: Ecuación de Transferencia Radiactiva (ETR) aplicada a la región del infrarrojo térmico de acuerdo a (Muñoz, J., Sobrino, A., Soria. J., Et. al, 2009, p.74), para estimar este parámetro a partir de los datos térmicos proporcionados por la banda 6 (TM) del satélite Landsat-4 (L4) y Landsat-5 (L5), así como del sensor Enhanced Thematic Mapper plus (ETM+) del Landsat-7 (L7) y el sensor Operational Land Imager (OLI) de las bandas 10 (B10) para el Landsat 8.

**Figura 24. Estimación de la temperatura de superficie distribuidas por toda el Nevado Huascarán, mediante el software Arc map 10.3**



**Fuente: Elaboración propia.**

Para poder realizar el cálculo de temperatura de superficie se utilizaron las siguientes ecuaciones:

La base teórica de los algoritmos de estimación de la TST es la Ecuación de Transferencia Radiativa (ETR) aplicada a la región del infrarrojo térmico, dada por:

$$L_{sen} = [\Sigma B(T_s) + (1 - \Sigma)L^{\downarrow}]T + L^{\uparrow}$$

Donde:

- $L_{sen}$ : Radiancia medida por el sensor
- $\Sigma$ : Emisividad de la superficie
- B: Ley de Planck
- $T_s$ : Temperatura de la superficie terrestre
- $L^{\downarrow}$ : Radiancia atmosférica descendente
- $T_s$ : Transmisividad atmosférica
- $L^{\uparrow}$ : Radiancia atmosférica ascendente

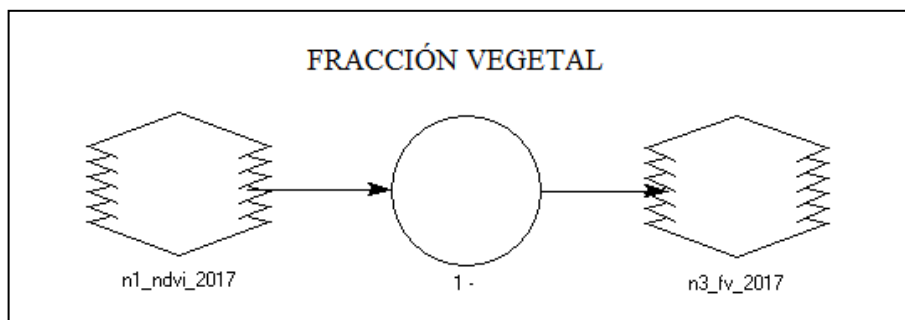
### Cálculo de la Fracción de Vegetación (Fv)

$$Fv = 1 - ((NDVIMAX - NDVI) / (NDVIMAX - NDVIMIN))$$

Donde:

- **NDVI** (Raster resultante del cálculo del Índice)
- **NDVIMAX** (Valor Máximo de píxel en la cubierta de vegetación): **0.8603**
- **NDVIMIN** (Valor Mínimo de píxel en la cubierta de vegetación, para efectos operativos se considera “0” como valor mínimo)
- **a** (Exponente que depende de la orientación de las hojas de las plantas, cuyo valor es “0.6”)

Figura 25: Modelo de Fracción vegetal mediante ERDAS 14



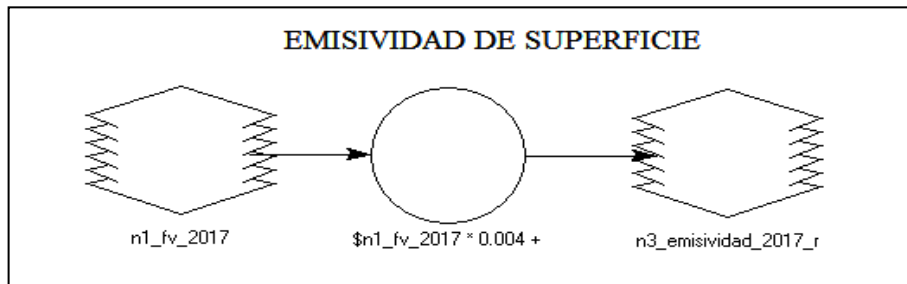
## Cálculo de la Emisividad de la Superficie (E)

$$E = fv * \epsilon v + ((1 - fv) * \epsilon s)$$

Donde:

- $\epsilon v$  (Emisividad de la cubierta de vegetación): **0,985**
- $\epsilon s$  (Emisividad de la cubierta de suelo): **0,978**
- $fv$  (Fracción de vegetación): Obtenida por medio del NDVI, uno de los índices de vegetación más usado (Choudhury et al., 1994).

Figura 26: Modelo de Emisividad de superficie mediante ERDAS 14



## Cálculo de la Radiancia del Sensor ( $L_\lambda$ )

Método de “ganancia” y “sesgo”: En este método los valores ND se convierten en valores de radiancia espectral en el sensor

Donde:

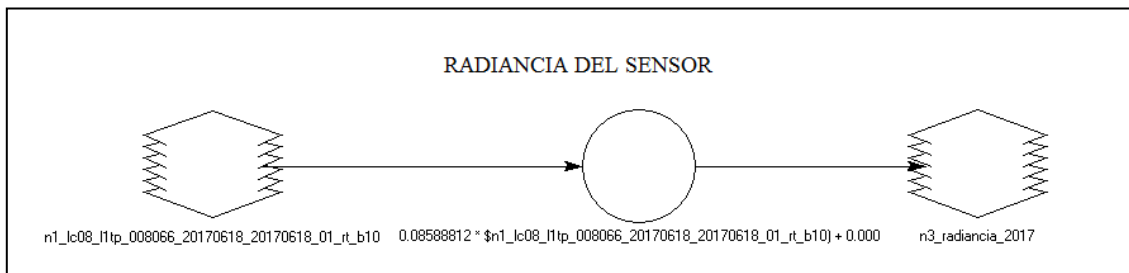
- $L_\lambda$ : Es la radiancia del pixel en una banda espectral específica
- **Gain**: Ganancia de banda
- **DN**: Nivel digital (Banda Termal 6)
- **Offset o bias**: Sesgo

$$G \text{ rescale} = \frac{LMAX_\lambda - LMIX_\lambda}{255}$$

$$B \text{ rescale} = LMIX_\lambda$$

$$L_\lambda = \text{gain} * (\text{ND}) + \text{offset}$$

Figura 27. Modelo de Radiancia del sensor mediante ERDAS 14



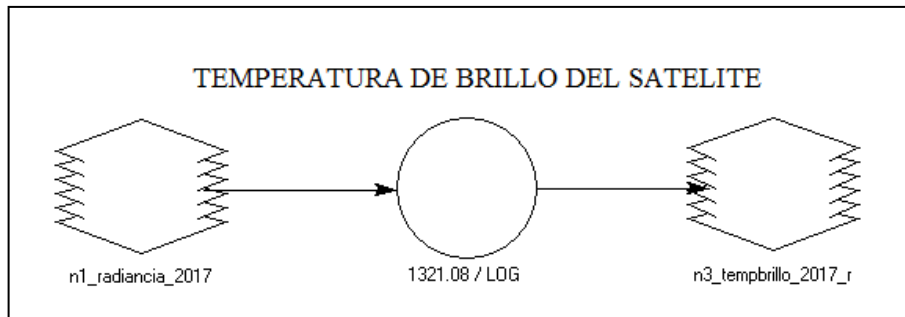
## Cálculo de Temperatura de Brillo del Satélite (TI)

$$TL = K2 / \text{Ln} \left( \left( \frac{K1}{L\lambda} \right) + 1 \right)$$

Donde:

- **TL:** Temperatura de brillo en grados Kelvin, para una radiancia L
- **K1:** Constante de calibración 1 e n W/ (m<sup>2</sup>\*sr\*um);
- **K2:** Constante de calibración 2 en grados Kelvin (adimensional);
- **Lλ:** Radiancia espectral del sensor.
- **Ln:** Logaritmo Natural.

Figura 28. Modelo de Emisividad de superficie mediante ERDAS 14



## Cálculo De Temperatura De brillo del satélite (TI)

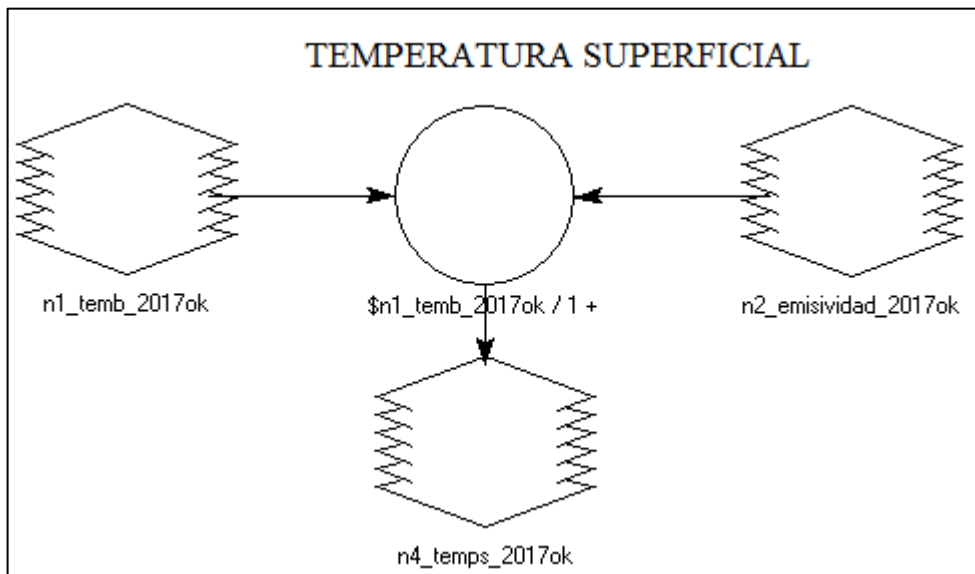
Donde:

- **TL:** Temperatura de brillo en grados Kelvin, para una radiancia L
- **K1:** Constante de calibración 1 e n W/ (m<sup>2</sup>\*sr\*um);
- **K2:** Constante de calibración 2 en grados Kelvin (adimensional);
- **Lλ:** Radiancia espectral del sensor.
- **Ln:** Logaritmo Natural.

Donde:

- **h:** constante de Planck (6,626\*10<sup>-34</sup> Js)
- **c:** es la velocidad de la luz;
- **σ:** constante de Boltzman (1,38\*10<sup>-23</sup> J/K)
- **ε:** emisividad de la superficie.

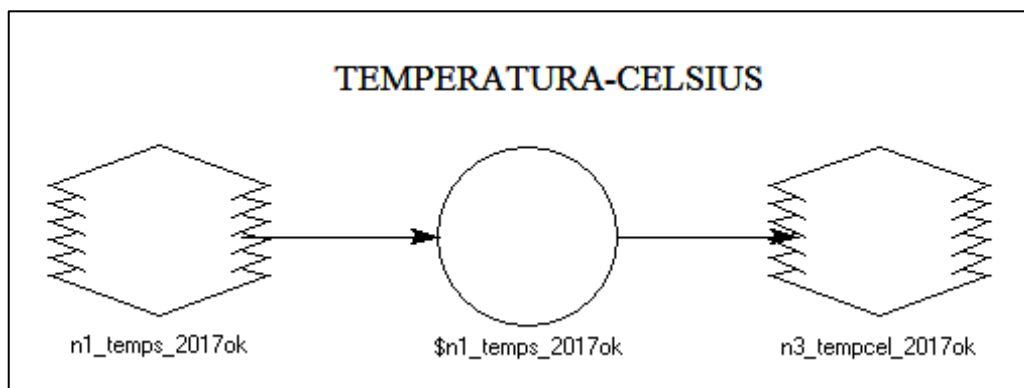
Figura 29. Modelo de temperatura de brillo del satélite mediante ERDAS 14



### Cálculo de Temperatura Superficial (Ts en °Celsius)

$$TS (^{\circ}C) = TS (^{\circ}K) - 273$$

Figura 30. Modelo de temperatura de superficie (Celsius°C) mediante ERDAS 14



### 2.5.2.2 Análisis Multitemporal

Para la parte de los análisis numéricos o estadísticos que se obtendrá a partir del procesamiento de cada imagen satelital a través del NDSI además de realizar una estimación de la temperatura de superficie, que servirá para establecer una relación directa entre el aumento de la temperatura y la dinámica o retroceso de cobertura glaciar. Para ello se utilizó en conjunto los programas: ERDAS IMAGINE 2014 Y ARC MAP 10.3, que permitió la generación de una matriz de cambios y e identificar

la dinámica del Nevado Huascarán y las lagunas glaciares adyacentes al nevado. Tanto la matriz como el mapa permitieron evaluar de manera cuantitativa y cualitativamente, la dinámica de cambio espacial ocurrida en los periodos analizados en el Nevado Huascarán y las lagunas glaciares (Moreno, Alonso, 2001 p.43).

## **2.6 ASPECTOS ÉTICOS**

La determinación de la dinámica de cobertura glaciar y su influencia en las lagunas glaciares mediante el procesamiento de imágenes satelitales es significativamente relevante para las Ciencias ambiental es y la gestión de los recursos naturales, además que representa un aporte importante en la adaptación al cambio climático, ya que hoy en día es indispensable conocer la situación actual de los nevados a nivel nacional ya que son la fuente de reserva de unos de los recursos más importante para la vida, además que el análisis de la temperatura permite establecer una relación clara y precisa sobre la influencia del sobrecalentamiento de la tierra y sus efectos en los nevados, también se menciona en el marco legal sobre las autoridades regionales y locales, mediante sus instancias correspondientes, deben intervenir en la preparación de los planes para la gestión de los recursos hídricos ubicados en cuencas hidrográficas. Para estas acciones interviene el Consejo de Cuenca, para desarrollar acciones de control y vigilancia, en colaboración con la ANA para asegurar el uso sostenible de los recursos hídricos. De tal manera una correcta gestión de los recursos hídricos permita una visión global sobre la regresión glaciar y generar en base a estudios técnicos medidas de mitigación.

### III. RESULTADOS

#### 3.1 RESULTADOS DEL CÁLCULO DE LA DINÁMICA DE COBERTURA GLACIAR

Se realizó el mapeo de la cobertura glaciar en los diferentes periodos de análisis a través del índice normalizado de nieve (NDSI) a partir de las imágenes satelitales Landsat.

Se logró determinar la superficie de cobertura glaciar desde 1990 al 2017, que se presenta en el siguiente cuadro:

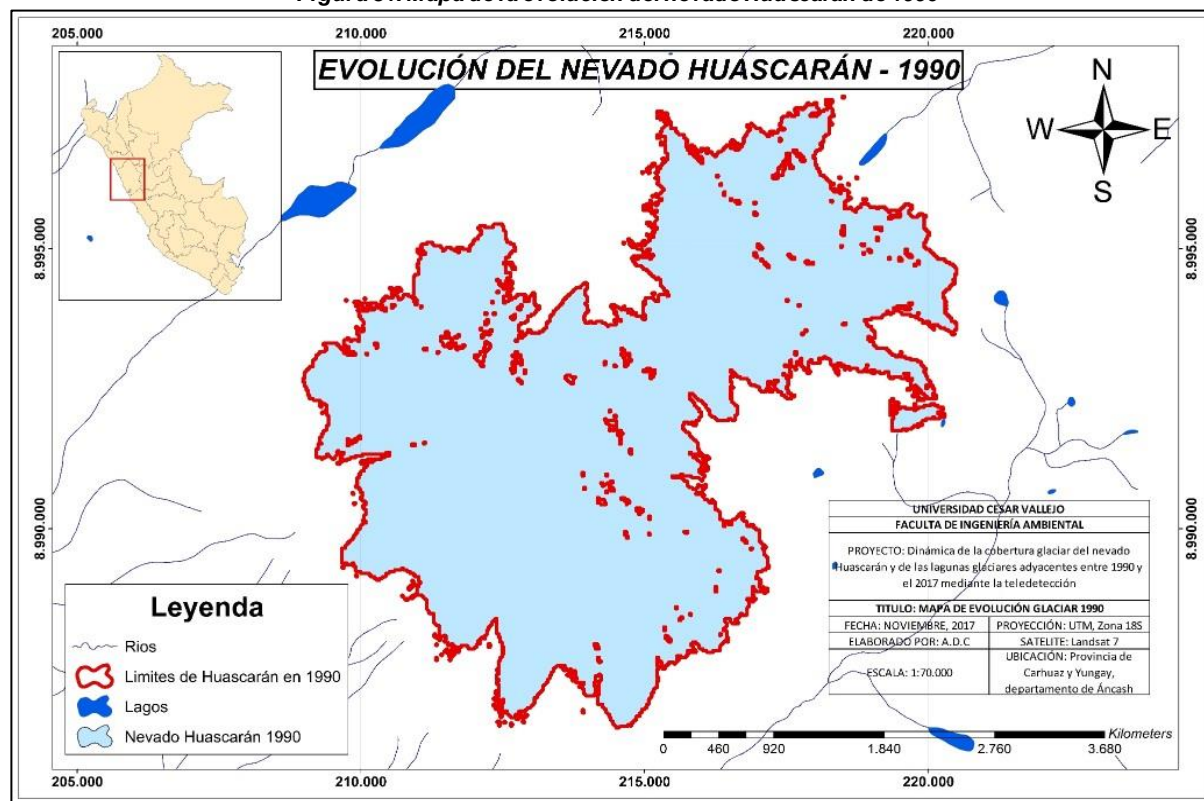
**Cuadro 2. Áreas de la cobertura glaciar del nevado Huascarán del periodo de 1990 – 2017**

AÑO	ÁREA DE COBERTURA GLACIAR (km <sup>2</sup> )	VARIACIÓN DE ÁREA (km <sup>2</sup> )	PORCENTAJE DE PÉRDIDA DE COBERTURA GLACIAR (%)	PORCENTAJE DE PÉRDIDA DE COBERTURA GLACIAR (%)	TASA DE RETROCESO GLACIAR (KM <sup>2</sup> /AÑO) (%)
1990	60,668	-	100	-	-2,23
2000	59,318	1,350	97,77	2,23	-4,07
2010	55,501	3,816	91,47	6,3	-6,38
2017	47,810	7,691	78,79	12,68	-
VARIACIÓN DEL ÁREA	-	12,858	21,21	-	-

**Fuente: Elaboración propia**

De acuerdo al cuadro N°2 la dinámica de cobertura glaciar en 1990 mantuvo una superficie de 60, 668km<sup>2</sup>, tomado como línea base de comparación en este estudio. El borde del nevado en color rojo representa el límite del nevado Huascarán para el año de 1990, punto de partida para el análisis de años posteriores, esto no quiere decir que no se haya perdido cobertura glaciar en años anteriores; así en el mapa de 1990 se aprecia un nevado como una unidad sólida y compacta.

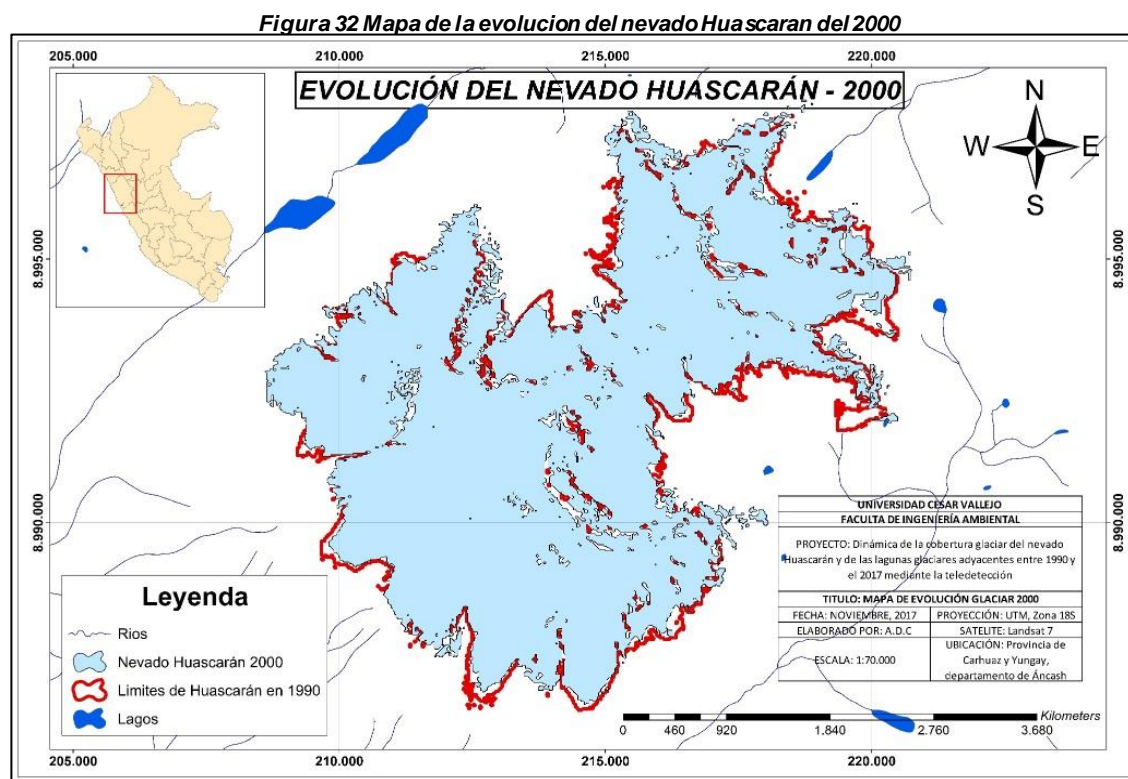
**Figura 31. Mapa de la evolución del nevado Huascarán de 1990**



Fuente: Elaboración propia



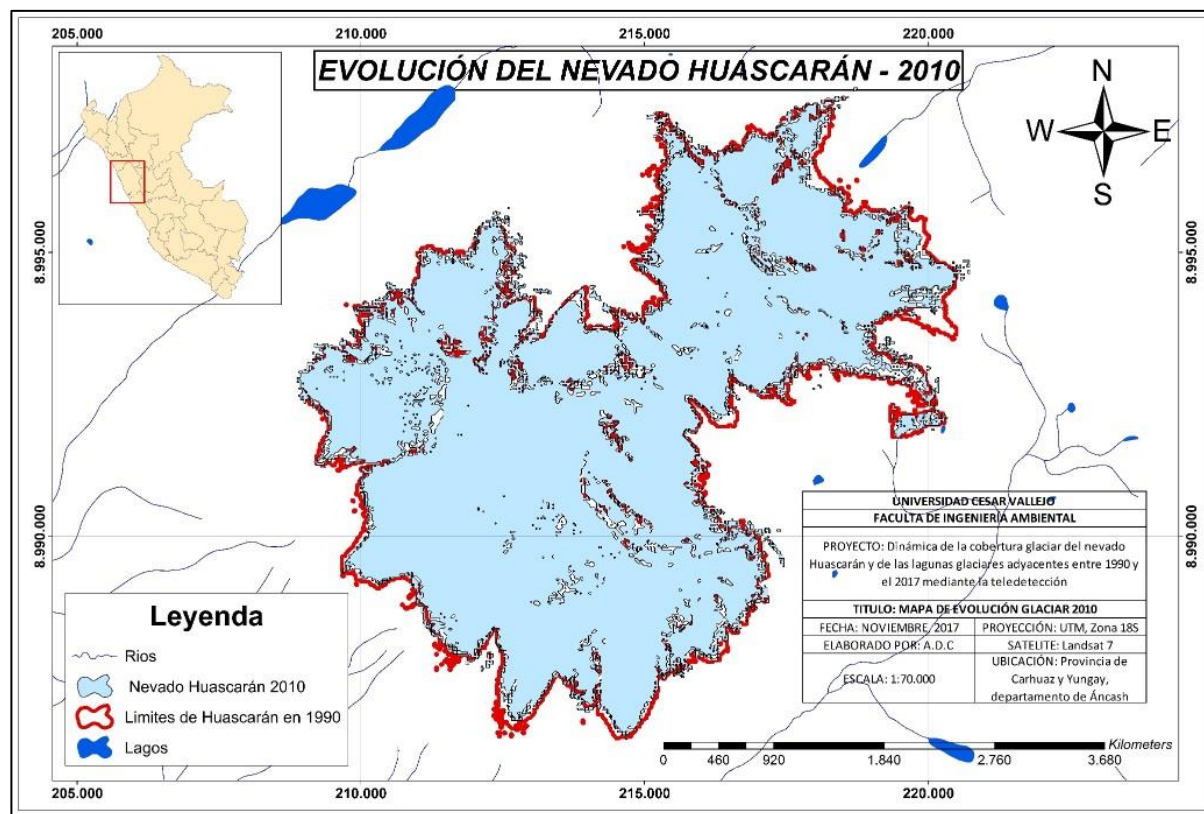
Al año 2000, el Nevado presentó una cobertura glaciar de 59.318km<sup>2</sup>; con una variación de 1.350km<sup>2</sup> respecto al año base equivalente al 97.77%, y una pérdida de 2.23% (tasa de pérdida de -2.23%). Se evidencia desbordes del nevado fuera de los límites establecidos por el mapa base de 1990, esto se debe al desplazamiento de masas del glaciar, generado por el aumento de la temperatura del lugar y las pendientes del nevado; los espacios en blanco dentro del glaciar, representan las zonas en las que se han perdido la cobertura glaciar quedando solo el lecho rocoso propio de las montañas.



Fuente: Elaboración propia

En el año 2010, el área glaciaria fue de 55.501 km<sup>2</sup>, con una diferencia de 3,816 km<sup>2</sup>, respecto al 2000 equivalente a una pérdida de 6,3% y una tasa de pérdida de -4,07%. Asimismo, la cobertura glaciaria se distribuyó de manera uniforme a diferencia de los límites de 1990, porque el desborde ocurrido en el 2000 se derritió con mayor facilidad debido a que se concentró en las faldas del nevado, donde las temperaturas son más elevadas; también se apreció que la desglaciación continúa dentro del glaciar.

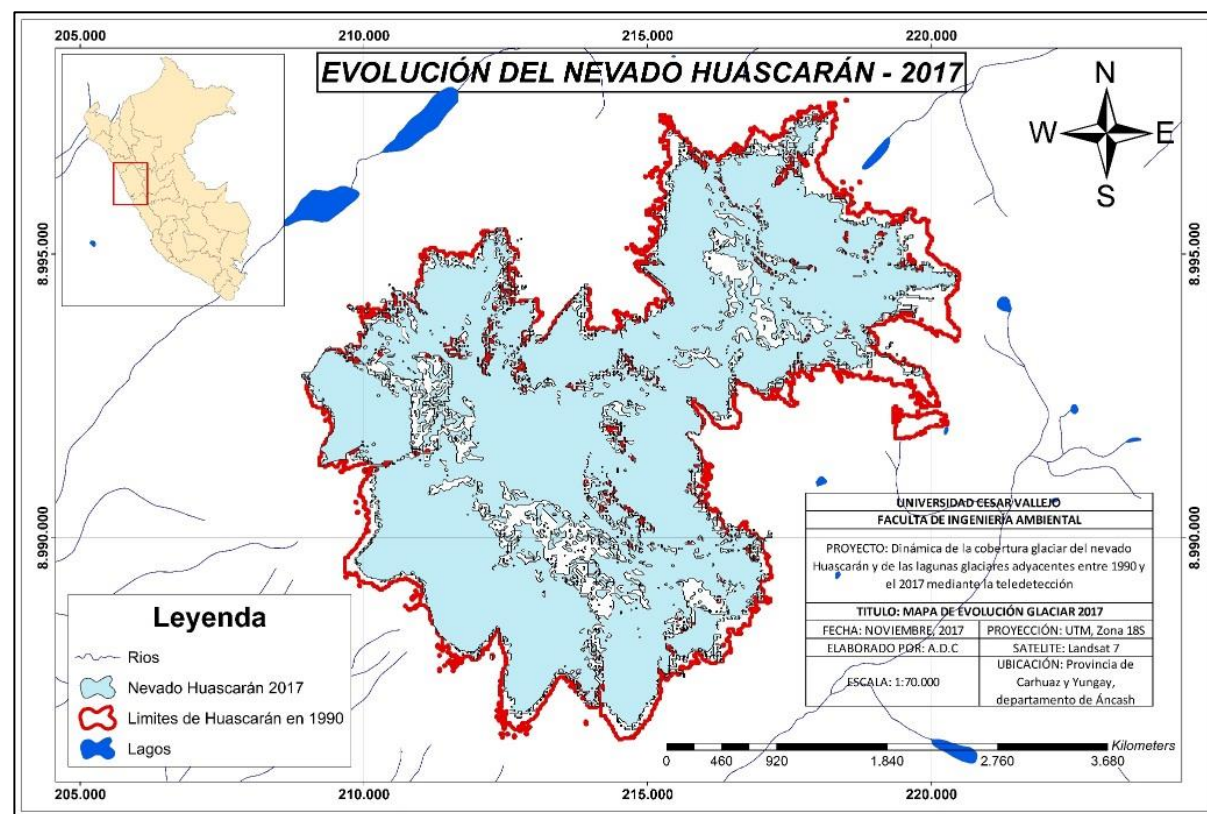
Figura 33. Mapa de la evolución del nevado Huascarán del 2010



Fuente: Elaboración propia

El año 2017, el área obtenida fue de 47,810 km<sup>2</sup>, lo que resultando alarmante por su variación desde el 2010 (7,691km<sup>2</sup>) provocando que el nevado Huascarán solo cuente con el 78.79% de su cobertura total, esto significa que el porcentaje de pérdida de cobertura glaciar desde 1990 es de 12,68% y con una tasa de pérdida de -6,38% desde el 2010

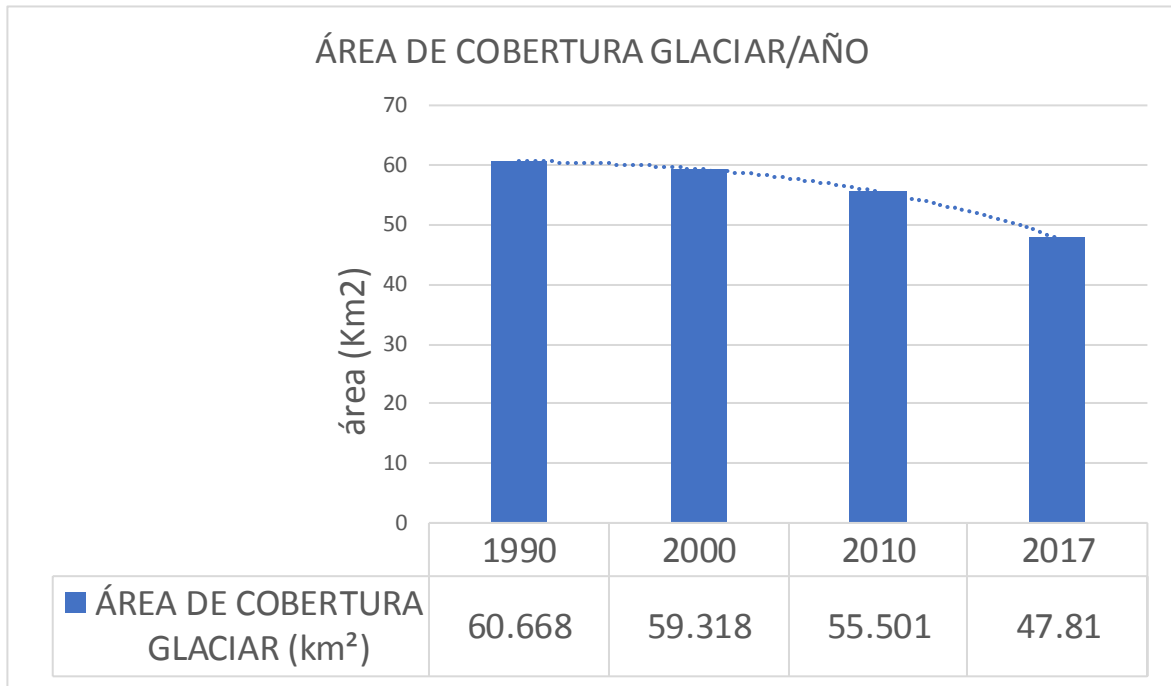
Figura 34. Mapa de la evolución del nevado Huascarán del 2017



Fuente: Elaboración Propia

Como se aprecia en la siguiente gráfica, si el retroceso de la cobertura glaciaria continúa de la misma manera, obtendremos una tendencia decreciente:

**Cuadro 6. Gráfica de regresión de la cobertura glaciaria del nevado Huascarán**



Fuente: Elaboración Propia

### 3.1.1 PREDICCIÓN DE LA DESAPARICIÓN DEL NEVADO HUASCARÁN

Se realizó una predicción sobre el área de cobertura glaciaria del nevado Huascarán en base a las áreas obtenidas producto del procesamiento de las imágenes de satélites; para esto se utilizó un modelo matemático, que permitió el área en los años posteriores al 2017 y el año en el que el Nevado Huascarán perdería por completo su cobertura glaciaria.

**Cuadro 7. Interpolación con polinomios de La Grange**

<b><i>i</i></b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b><i>x<sub>i</sub></i></b>	1990	2000	2010	2017
<b><i>y<sub>i</sub></i></b>	60,668	59,318	55,501	47,81

Fuente: Elaboración propia

Se ajustó a una ecuación cubica las áreas de los años mencionados, donde el coeficiente de correlación es -1, ello significa que la variable “y” tiende a decrecer cuando la variable “x aumenta, lo cual indica que los datos se ajustan perfectamente bien a la ecuación cubica.

**ECUACIÓN POLINOMICA DE TERCER GRADO**

$$f(x) = -0.0011052707749767x^3 + 6.619289649859923x^2 - 13214.05712264235x + 8793181.163658172$$

Para obtener el área de cobertura glaciar para futuros años, se reemplazó en la ecuación planteada:

Donde:

- X= años
- Y= área

1) Para “x” =2014

$$f(2014) = -0.0011052707749767(2014)^3 + 6.619289649859923(2014)^2 - 13214.05712264235(2014) + 8793181.163658172$$

$$f(2014) = 51,34$$

2) Para “x” =2020

$$f(2020) = -0.0011052707749767(2020)^3 + 6.619289649859923(2020)^2 - 13214.05712264235(2020) + 8793181.163658172$$

$$f(2020) = 42,585$$

3) Para “x” =2025

$$f(2025) = -0.0011052707749767(2025)^3 + 6.619289649859923(2025)^2 - 13214.05712264235(2025) + 8793181.163658172$$

$$f(2025) = 30,643$$

4) Para “x” =2030

$$f(2030) = -0.0011052707749767(2030)^3 + 6.619289649859923(2030)^2 - 13214.05712264235(2030) + 8793181.163658172$$

$$f(2030) = 13,939$$

5) Para “x” =2033

$$f(2033) = -0.0011052707749767(2033)^3 + 6.619289649859923(2033)^2 - 13214.05712264235(2033) + 8793181.163658172$$

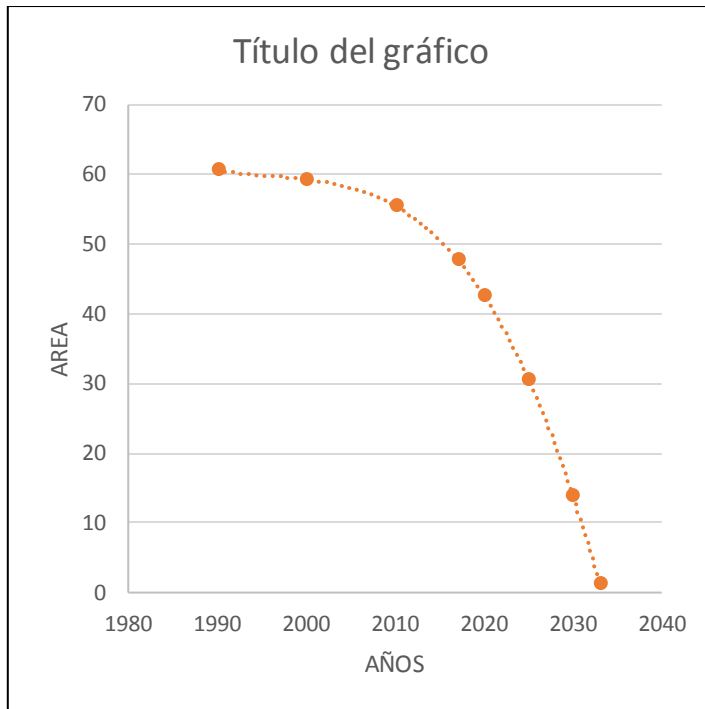
$$f(2033) = 1,286$$

6) Para "x" =2033.28

$$f(2033,28) = -0.0011052707749767(2033,28)^3 + 6.619289649859923(2033,28)^2 - 13214.05712264235(2033,28) + 8793181.163658172$$

$$f(2033,28) = -0.003$$

**Cuadro 8. Predicción de futuras áreas y desaparición del nevado Huascarán**



AÑO	ÁREA
1990	60,668
2000	59,318
2010	55,501
2017	47,81
2020	42,585
2025	30,643
2030	13,939
2033	1,286
233,28	-0.003

Fuente: Elaboración propia

### 3.2 RESULTADOS DEL CÁLCULO DE LA DINÁMICA DE LAS LAGUNAS GLACIARES ADYACENTES AL NEVADO HUASCARÁN.

#### 3.2.1 Lagunas inventariadas

El procesamiento de las imágenes multitemporales muestran claramente la pérdida de cobertura glaciar que ha sufrido el nevado Huascarán, teniendo como referencia el año 1990; se puede observar un gran desplazamiento de masas para el año 2000; contrariamente, ocurre un incremento de material acuoso considerable en las lagunas adyacentes al nevado. El mapeo de la cobertura glaciar en los periodos evaluados a través del índice normalizado de agua (NDWI), permitió determinar las superficies evolucionadas desde 1990 al 2017, como se muestra en el cuadro:

**Cuadro 9. Lagunas glaciares inventariadas por el ANA de 1990 – 2017**

AÑO	LAGUNAS GLACIARES INVENTARIADAS											
	LLANGANUCO CHINANCOCHA		LLANGANUCO ORCONCOCHA		AZULCOCHA (m <sup>2</sup> )		YANAYACU		SOCOYACU		UCHCO	
	PERIMETRO (m)	AREA (m <sup>2</sup> )	PERIMETRO (m)	AREA (m <sup>2</sup> )	PERIMETRO (m)	AREA (m <sup>2</sup> )	PERIMETRO (m)	AREA (m <sup>2</sup> )	PERIMETRO (m)	AREA (m <sup>2</sup> )	PERIMETRO (m)	AREA (m <sup>2</sup> )
1990	3806	529123	5412	621399	1908	95314	112	43549	120	900	582	15529
2000	4076	521774	5164	605250	1969	91800	1009	42300	120	900	538	12487
2010	4024	546524	4864	581625	1909	96300	1140	51300	180	1800	574	14875
2017	4009	551812	5116	604125	1954	95737	1173	63112,5	240	2700	598	16087
VARIACIÓN	203	22,689	296	17.274	46	423	53	19,563	120	900	16	558

*Fuente: Elaboración propia.*

Las mayores cargas hídricas se produjeron en las lagunas Azulcocha, Yanayacu y Socoyacu y Uchco adyacentes al gran nevado, esto sugiere un drenaje hídrico o derrumbes de bloques glaciares producidos en estos periodos. La Laguna Orconcocha presento una disminución del perímetro y el área.

### 3.2.2 Lagunas no inventariadas

Asimismo, se formaron 03 nuevas lagunas (denominadas en este estudio A, B y C) entre los años 1990 al 2017, que resultan de suma importancia, sin embargo, no fue posible cuantificar el área de la laguna C debido a que la presencia de nubosidad, que impidió su lectura superficial y la aplicación del (NDWI), del otro lado, la Laguna glaciar A en 1990 presentó un área inicial de 4536m<sup>2</sup> y 29925m<sup>2</sup> en el año 2017, con un incremento de 25.389m<sup>2</sup>. La laguna glaciar B, presentó un área de 9115m<sup>2</sup> en el año

de 1990 y 140625m<sup>2</sup> en el 2017, con una variación 131.510m<sup>2</sup>. Las lagunas A y C mostraron un aumento exponencial de sus áreas debido a su cercanía al nevado, lo que facilita la alimentación de estos cuerpos de agua. De acuerdo a los resultados obtenidos de la laguna glaciar C, en un inicio (1990) se cuenta con un área de 2475m<sup>2</sup> y para el presente año 31612m<sup>2</sup> lo cual indica que incremento 29.137m<sup>2</sup>

**Cuadro 10. Lagunas glaciares inventariadas por el ANA de 1990 – 2017**

AÑO	LAGUNAS GLACIARES NO INVENTARIADAS					
	FORMACIÓN NUEVA DE LAGUNAS					
	LAGUNA GLACIARA		LAGUNA GLACIAR B		LAGUNA GLACIAR C	
	PERIMETRO (m)	AREA (m <sup>2</sup> )	PERIMETRO (m)	AREA (m <sup>2</sup> )	PERIMETRO (m)	AREA (m <sup>2</sup> )
1990	308	4536	471	9115	204	2475
2000	852	20294	933	32737	<b>NUBOSIDAD</b>	<b>NUBOSIDAD</b>
2010	948	25221	1713	77512	565,26	15,349
2017	915	29925	2587	140625	1071	31612
VARIACION	607	25.389	2.116	131.510	867	29.137

*Fuente: Elaboración propia.*

En el mismo caso, el cálculo del perímetro de la laguna glaciar C fue impedido por la presencia de nubosidad. Para las 3 lagunas glaciares, se mostró un incremento en su perímetro, de 607m; 2.116m; 867m para las lagunas glaciares A, B y C, respectivamente; a causa del aumento del área, en caso de la laguna glaciar B, presentó un mayor incremento, debido a su posición en una zona de mayor desprendimiento de cobertura glaciar del nevado Huascarán, generando un mayor aporte de carga hídrica.



A continuación, se muestran los mapas de la dinámica de las lagunas glaciares adyacentes al nevado.

**Figura 35. Evolución de la cobertura hídrica de las lagunas adyacentes al Nevado Huascarán.**



**Fuente: Elaboración Propia**

En el año base 1990 se puede apreciar sin dificultad las lagunas glaciares ya formadas años anteriores, a excepción de aquellas que se formaron en los últimos 27 años, las que serían sometidas a cambios en su área

En el año 2000 se empieza a notar cambios considerables en el área de las lagunas glaciares adyacentes al nevado Huascarán; las lagunas glaciares A y C son las que empiezan a crecer de manera más acelerada en comparación a la laguna glaciar B.

Figura 36. Evolución de la cobertura hídrica de las lagunas adyacentes al Nevado Huascarán.



Fuente: Elaboración Propia

En el 2010, la laguna B logro una mayor área de 131.510m<sup>2</sup> lo que manifiesta un aporte importante de carga hídrica.

Figura 37. Evolución de la cobertura hídrica de las lagunas adyacentes al Nevado Huascarán.



Fuente: Elaboración Propia

Al 2017, la laguna glaciar B mostró un incremento hídrico a lo registrado anteriormente con un área glaciar de 140625m<sup>2</sup> respecto al primer año de análisis.

Figura 38. Evolución de la cobertura hídrica de las lagunas adyacentes al Nevado Huascarán.



Fuente: Elaboración Propia

### 3.3 RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN DE LA TEMPERATURA DE SUPERFICIE Y ANÁLISIS DE SU INFLUENCIA

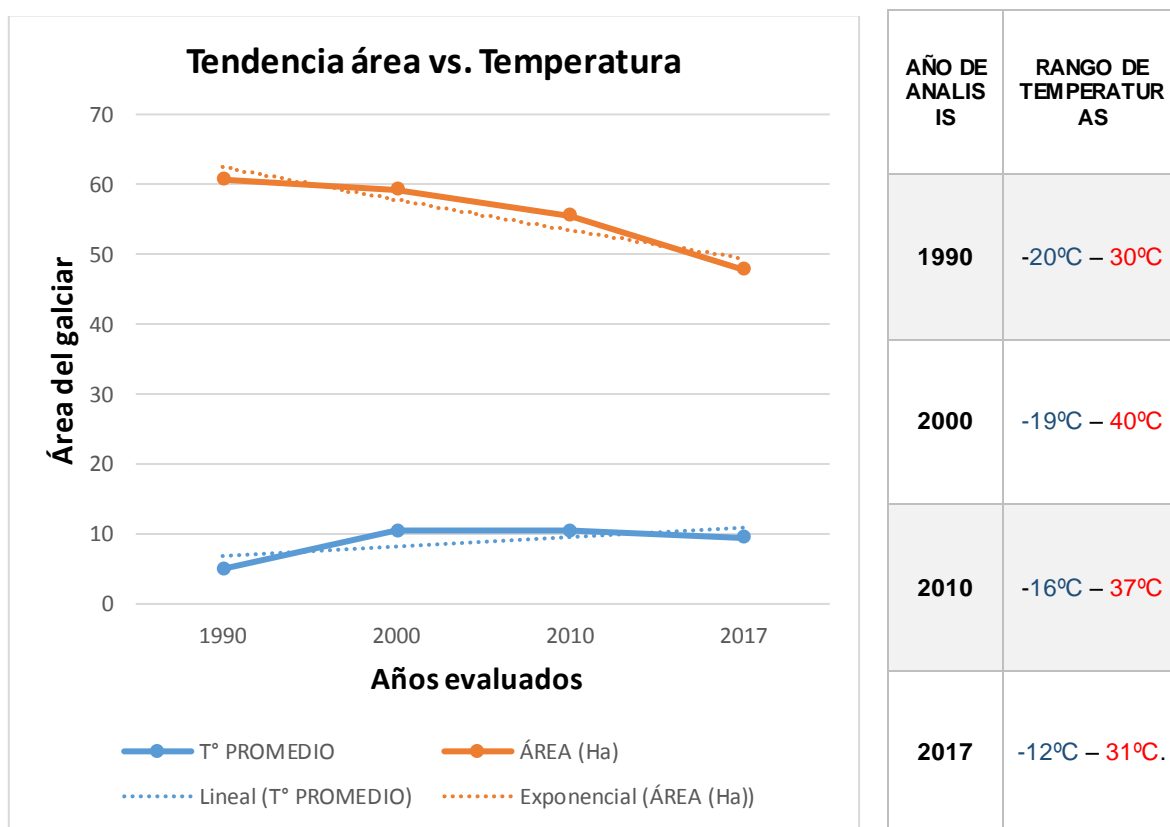
A continuación, se muestra los mapas de temperaturas para los periodos de análisis de 1990, 2000, 2010 y 2017; respectivamente:

Para el cálculo de la temperatura de superficie se trabajó a partir de los datos térmicos proporcionados por la banda 6 (B6) de los sensores Thematic Mapper (TM) a bordo de las plataformas Landsat-4 (L4) y Landsat-5 (L5), Enhanced Thematic Mapper plus (ETM+) a bordo de la plataforma Landsat-7 (L7) y por último la Banda 10 u 11 de Landsat 8 con el sensor Operational Land Imager (OLI).

Una vez terminado el cálculo de la temperatura de la superficie del nevado Huascarán en grados Celsius se puede modificar la simbología de la capa para facilitar la observación y diferenciar la temperatura utilizando el software ARC MAP 10.3. En este caso se estableció una escala de colores desde el azul que representa los lugares más fríos y los colores del rojo para los más cálidos.

Los resultados estadísticos se muestran a continuación:

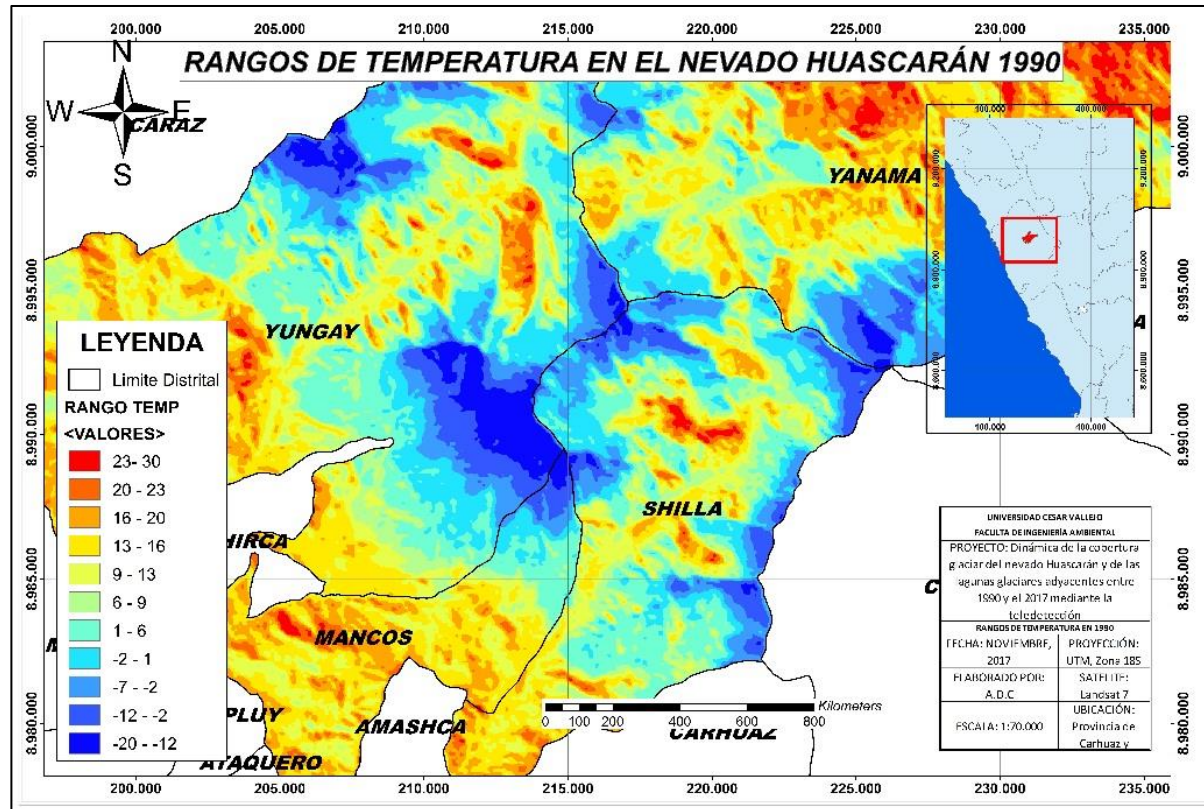
**Cuadro 11. Grafica de tendencia de cobertura glaciar vs temperaturas promedio**



Fuente: Elaboración propia

En 1990 la distribución de las temperaturas en el nevado Huascarán no es uniforme, esto se debe básicamente a las diferentes alturas o picos que presenta el nevado; se sabe que a mayor altura corresponde temperaturas más bajas. El azul intenso que se presenta en el nevado corresponde a las zonas registradas con menor temperatura entre  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $-12^{\circ}\text{C}$ , esto favoreció una distribución sólida y compacta en el periodo evaluado.

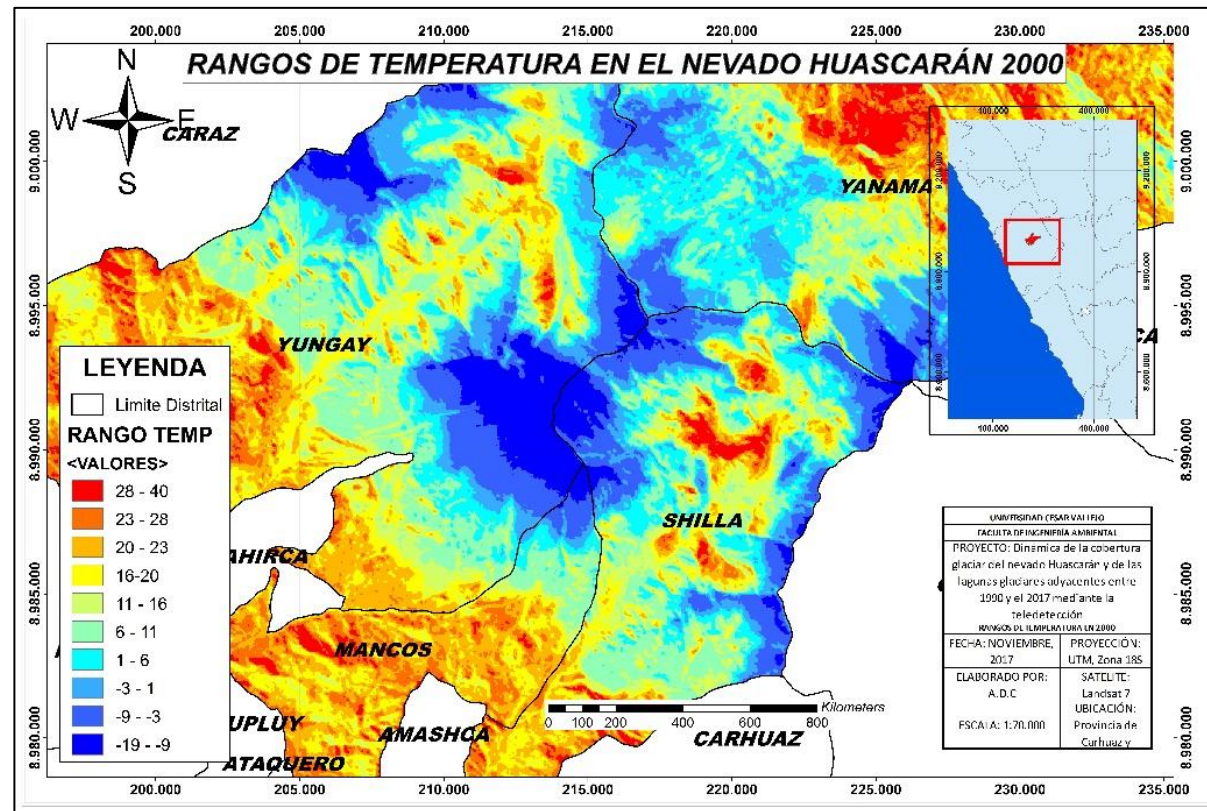
Figura 39. Cambios de la temperatura de superficie de 1990 en el Nevado Huascarán.



Fuente: Elaboración Propia

En el año 2000, se evidencio un incremento de la temperatura en el nevado y sus alrededores. Las temperaturas más bajas del nevado oscilaron entre los  $-19^{\circ}\text{C}$  y  $-9^{\circ}\text{C}$ ; aunque la diferencia entre 1990 y el 2000 aún fueron mínimas, el año 2000 marcó el inicio de cambios en la temperatura.

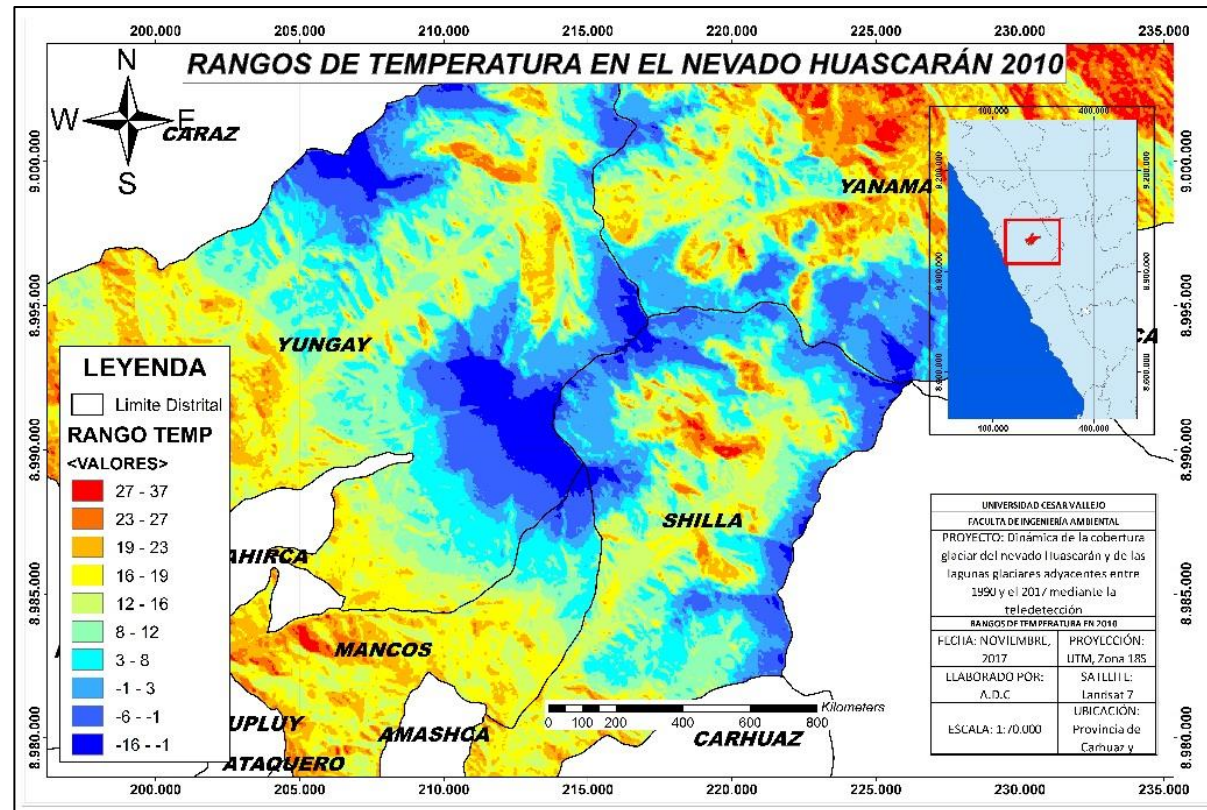
**Figura 40. Cambios de la temperatura de superficie de 1990 en el Nevado Huascarán.**



Fuente: Elaboración Propia

Los resultados obtenidos en el año 2010, resultaron alarmantes, por el aumento de al menos 3°C, desde el año 2000 al 2010, cuando las temperaturas oscilaban entre -16°C y -6°C, mostrando una relación opuesta a la superficie de la cobertura glaciar.

Figura 41. Cambios de la temperatura de superficie de 1990 en el Nevado Huascarán.

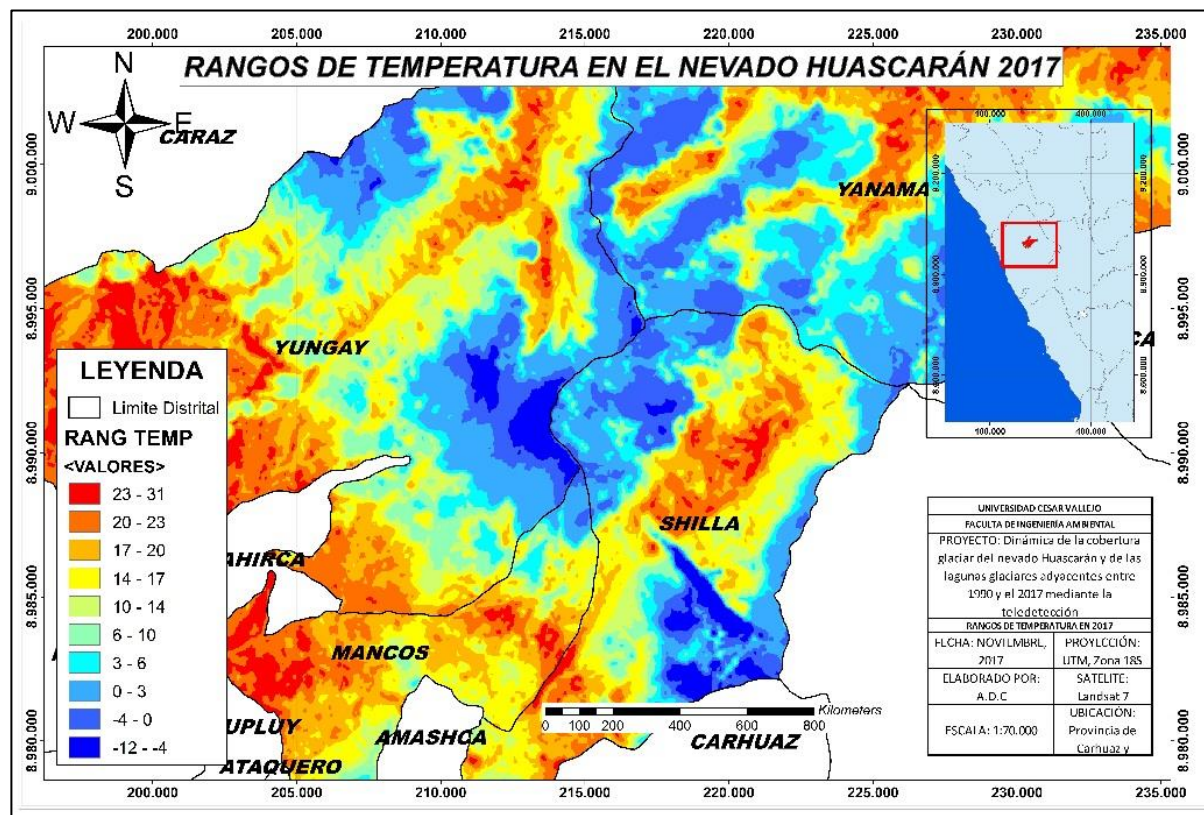


Fuente: Elaboración Propia



En el 2017, la situación es más preocupante, con temperaturas más bajas, oscilando entre  $-12^{\circ}\text{C}$  y  $-4^{\circ}\text{C}$ , lo que generó un aumento de al menos  $4^{\circ}\text{C}$  entre el 2010 y el 2017, periodo en el que se perdió una mayor cobertura glaciar asociada a un incremento de temperatura.

Figura 42. Cambios de la temperatura de superficie de 1990 en el Nevado Huascarán.



Fuente: Elaboración Propia

#### **IV. DISCUSIONES**

Los resultados obtenidos de la cobertura glaciaria del nevado Huascarán en esta investigación fueron satisfactorios, debido a que las áreas calculadas en cuanto al nevado y las lagunas glaciares se acercan a los resultados obtenidos en el inventario de lagunas y glaciares elaborado por el ANA (Autoridad Nacional del Agua) junto con el MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego) en el 2014 (ver anexo 8), en el estudio se analizó los años de 1990, 2000, 2010 y 2017, no obstante para validar los resultados obtenidos, se utilizó la ecuación de LaGrange mencionada anteriormente con la finalidad de obtener los resultados que se obtendrían al procesar una imagen del 2014.

De acuerdo al resultado obtenido el cual es de 51.79km<sup>2</sup> comparado con el del inventario de lagunas y glaciares donde se registra un área de 51.34km<sup>2</sup>, lo que confirma que la metodología utilizada en la presente investigación resulta confiable para futuras investigaciones (Ver anexo 8)

El cálculo del NDSI permitió identificar con facilidad las superficies del nevado Huascarán de los diferentes cuerpos presentes en la imagen de los satélites como: suelo, vegetación, nubes; entre otros.

Los errores relacionados con las sombras tuvieron que ser corregidos, debido a que el cálculo de NDSI consideraba zonas de glaciaria como coberturas diferentes a la del nevado, también las zonas en las que convergían lagunas, glaciares y sombras, donde el modelo erraba, era necesario la corrección manual.

Por otro lado, respecto a los resultados de las lagunas glaciares, el análisis de estas, presentaron mayores complicaciones para ser detectadas. A pesar que el NDWI mencionado por Huggel, identifica con mucha precisión los cuerpos de agua profundos y de gran tamaño, incluso en zonas de sombra, por otro lado, no ocurrió lo mismo al ser aplicado para cuerpos más pequeños y de menor profundidad. Este problema de omisión de lagunas se solucionó a través de la corrección manual, sin embargo, esto puede generar un porcentaje de error.

Se determinó que para el nevado Huascarán a partir de los datos obtenidos del procesamiento de las imágenes satelitales, en el periodo comprendido de 1990 al 2017, se encontró que la pérdida en este periodo es de 12,853km<sup>2</sup>, lo que

representa una pérdida de 0.47km<sup>2</sup>/año; valores muy similares a la tasa de retroceso que determina Gomez W., que es de 0.50km<sup>2</sup>/año. Esto se debe que la metodología empleada del procesamiento de las imágenes de satélite es bastante similar (2010).

Para Ortiz D, y Torres J., de acuerdo a los resultados obtenidos determinaron que la perdida de cobertura glaciario en la microcuenca de la Laguna Llanganuco se determinó el área de retroceso glaciario para los años de estudio que son de 1987-1996 y 1996-2017. En cada periodo se estimó la superficie total reducida a razón de 1,523km<sup>2</sup> en 9 años y 2,345 en 11 años, se encontró cierta cercanía en los resultados obtenidos en el presente trabajo, con 1,350km<sup>2</sup> en 10 años desde 1990-2000 y 3,816km<sup>2</sup> de igual manera en 10 años.

## V. CONCLUSIONES

- La cartografía de superficie glacial elaborada a partir del cálculo del NDSI mostró una precisión notable debido a la marcada signatura espectral característica de la nieve que la diferencia de otras cubiertas, sin embargo, se debe efectuar un exhaustivo seguimiento a los niveles de píxeles generados en función de las fluctuaciones evidenciadas en este estudio.

El producto obtenido mediante la teledetección bajo el método aplicado, generaron cálculos precisos de retroceso glacial, con resultados confiables en un corto tiempo de programación. Por otra parte el cálculo del área de las lagunas glaciares en el periodo 1990 al 2017, presentó algunas dificultades al aplicar el NDWI, que fueron corregidas manualmente haciendo posible la identificación de cada laguna. Las herramientas de teledetección aplicadas a partir de los satélites Landsat 5, 7 y 8 confirmaron mediante evidencias cuantificadas la existencia actual de mayores volúmenes de agua concentradas en lagunas glaciares adyacentes al Nevado Huascarán discurriendo cuenca abajo a costa de la disminución de la masa glacial del imponente nevado

La regresión glacial es producida a causa del aumento de la temperatura debido al cambio climático global que se experimenta, como se muestra en la teoría de la estimación de superficie. También se determinó que la dinámica de la cobertura glacial del nevado Huascarán, es heterogénea en el mismo ámbito; debido a los diferentes niveles de temperatura asociados a la altura del nevado.

- En el año 2000, el Nevado presentó una tasa de pérdida de cobertura glacial de -2.23% debido al desplazamiento de masas del glacial, generado por el aumento de la temperatura del lugar y las pendientes del nevado; produciendo zonas de pérdida de cobertura quedando solo el lecho rocoso propio de las montañas con relación al año base 1990. Al 2010 se desarrolló una tasa de pérdida de -4,07% con una cobertura glacial de distribución uniforme debido al desborde ocurrido en el 2000 que derritió el hielo concentrando el recurso hídrico en las laderas del nevado, áreas de mayor temperatura que desarrollaron una desglaciación continua dentro del glacial, mientras que al 2017 el impacto fue mayor respecto al periodo anterior evidenciado por una mayor tasa de pérdida (-6,38%). Es importante recalcar que en los últimos 27 años la regresión glacial ha impactado 12.858km<sup>2</sup> con una proyección de pérdida total de la cobertura glacial del Nevado Huascarán

para el año 2033 calculado como el periodo final del nevado a partir de la ecuación polinómica de LaGrange.

La temperatura de superficie mas bajas del nevado Huascarán se desarrollaron entre el periodo de 1990 al 2000 desde  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $-12^{\circ}\text{C}$ , en el año 2000 las temperaturas oscilaron de  $-19^{\circ}\text{C}$  a  $-9^{\circ}\text{C}$ , en el año 2010 de  $-16^{\circ}\text{C}$  a  $-6^{\circ}\text{C}$ , y en el año 2017 de  $-12^{\circ}\text{C}$  a  $-4^{\circ}\text{C}$  evidenciando la variación climática que explica la desglaciación en el Nevado a lo largo de los años evaluados.

- Respecto a las lagunas glaciares inventariadas por el ANA, se demostró que en Llanganuco Chinancocha se produjo una variación del área de  $-296\text{m}$  lo que representa un disminución de  $17,274\text{ m}^2$  a diferencia de las lagunas Azulcocha, Yanayacu, Socoyacu y Uchco las que presentaron un aumento de  $423\text{m}^2$ ,  $19,563\text{m}^2$  y  $900\text{m}^2$  y  $558\text{ m}^2$ , respectivamente.

De otro lado, las lagunas glaciares que se formaron en los últimos 27 años, la Laguna Glaciar A, tuvo un incremento de  $25,389\text{m}^2$ ; en la laguna B se produjo un aumento de  $131,510\text{m}^2$ , y un incremento de  $29,137\text{m}^2$  para la Laguna Glaciar C.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Es de suma importancia la instalación de estaciones meteorológicas que permitan obtener valores de temperaturas más representativos del nevado.
- Para una mayor confiabilidad de los datos obtenidos de la estimación de temperatura, el investigador debe validar los datos obtenidos del procesamiento de las imágenes satelitales con los valores reales de campo.
- Se recomienda utilizar imágenes con un 5% de nubosidad, para que, en el momento de extracción de coberturas, este no se vea interrumpido por la presencia de "cirrus".
- Cuando se realice un estudio multitemporal, la resolución espacial es el factor predominante que marcará los resultados, se sugiere y recomienda utilizar sensores satelitales con la misma resolución espacial, para obtener resultados trabajados en las mismas condiciones.

## VII. REFERENCIAS

### 7.1 Referencias Bibliográficas

- ◆ Aguilón, A. *et. al*/ Ambientes Glaciares, UNAM-Perú, 2012 p.29
- ◆ Alva, M. y Meléndez J.” Aplicación de la Teledetección para el análisis multitemporal de la regresión glaciario en la Cordillera Blanca”. Universidad Nacional Mayor de San Marcos Lima-Perú. 2008, p.75
- ◆ ANA, Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas Del Perú. [en línea, 2014. Disponible en: <http://www.sernanp.gob.pe/huascarán>
- ◆ Anil V. y S. Pratibha. Assessment of Glacier Fluctuations in the Himalaya. Science and Geopolitics of The White World, 2017, p. 183-213).
- ◆ APN - Administración de Parques Nacionales - Sistema de Información de Biodiversidad (APN – SIB). Protocolo para el pre procesamiento de imágenes satelitales Landsat para aplicaciones de la administración de parques nacionales. Buenos Aires – Argentina, 2005, p.21.
- ◆ Ariza, A. Grupo Interno de Trabajo en Percepción Remota y Aplicaciones Geográficas Instituto Geográfico. [en línea] Agustín Codazzi Bogotá. Colombia Disponible en: [http://ocw.upm.es/ingenieria-cartografica-geodesica-y-fotogrametria/topografia-cartografia-y-geodesia/contenidos/TEMA\\_11\\_FOTOGRAMETRIA\\_Y\\_TELEDETECCION/sist\\_capturay\\_analisis\\_inform.pdf](http://ocw.upm.es/ingenieria-cartografica-geodesica-y-fotogrametria/topografia-cartografia-y-geodesia/contenidos/TEMA_11_FOTOGRAMETRIA_Y_TELEDETECCION/sist_capturay_analisis_inform.pdf)
- ◆ Baojuan, S., Yetang W. y Zhongqin L. Glacier Shrinkage in the Chinese Tien Shan Mountains from 1959/1972 to 2010/2012. Arctic, Antarctic, and Alpine Research, Vol. 49, No. 2, 2017, p. 213.
- ◆ Georges C. 20th-Century Glacier Fluctuations in the Tropical Cordillera Blanca, Perú. Arctic, Antarctic, and Alpine Research. 2004 p. 100-107.
- ◆ Chander G, Markham B, y Helder D. Estimating Recent Glacier Changes in Central Himalaya, India, Using Remote Sensing Data. Climate Change, Glacier Response, and Vegetation Dynamics in the Himalaya 2009, p. 205-218, p.893–903.
- ◆ Colonia Daniel F. Torres, Judith E. “Determinación del retroceso glaciario en la Microcuenca de Llanganuco, a través del análisis multitemporal En El Periodo

- 1987-2007". Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Facultad de Ciencias del Ambiente, Av. Centenario N° 200, Huaraz, Ancash- Perú. 2007 p.2
- ◆ Copé de los Mozos, R. "Cálculo del retroceso glaciar en la isla de Livingston y de su línea de costa para la actualización de cartografía". Valencia-España, Máster en Tecnologías de Información Geográfica, 2012, p.9.
  - ◆ Darío, I. y Darío, R. Metodología de la investigación. Colombia: Universidad EART, 2006 p.158.  
ISBN: 958-8281-11-3
  - ◆ Gómez, W. y Zamora, N. Evaluación De La Cobertura Glaciar Utilizando Técnicas De Teledetección Espacial En La Subcuenca Del Rio Quellcayhuanca – Rio Santa. Universidad Nacional Federico Villarreal, Facultad De Ingeniería Geográfica, Ambiental Y Ecoturismo, 2008 p. 10.
  - ◆ Harris, A. Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) [en línea]. Washington D. C., Estados Unidos, [fecha de consulta: 18 de noviembre del 2017].  
Disponible en:  
<http://www.harrisgeospatial.com/docs/alphabeticallistspectralindices.html>
  - IPCC, Cambio climático: Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Resúmenes, preguntas frecuentes y recuadros multicapítulos. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. 2014, p.200.
  - ◆ Jack D., Ives B. Mool K. Formation of Glacial Lakes in the Hindu Kush-Himalayas and GLOF Risk Assessment International Centre for Integrated Mountain Development, Kathmandu, 2010 p. 1-56.
  - ◆ Kääb, A. *et. al.* Glacier mapping and monitoring based on spectral data. Global Land Ice Measurements from Space. 2014, p. 14.
  - ◆ Kodirekkal K., Cultural adaptation to climate change among indigenous people of South India. Cambio climático. 2017, p. 1 – 14).
  - ◆ López I., Valero B. y Mark B. Hydrological and depositional processes associated with recent glacier recession in Yanamarey catchment, Cordillera Blanca (Peru). Science of the Total Environment. 2017, p. 272-282.
  - ◆ Mal S., Singh R, Schickhoff U. Estimating Recent Glacier Changes in Central Himalaya, India, Using Remote Sensing Data. En: Singh R., Schickhoff U., Mal



- S. (eds) Climate change, response of glaciers and vegetation dynamics in the Himalayas. Springer, Cham. 2016 p.58
- ✦ McFEETERS S. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. International Journal of Remote Sensing 2007, p.7.
  - ✦ MINAGRI, Importancia de los glaciares en el Perú, 2009. Lima-Perú, p.1.
  - ✦ Morales B. y Martel A. La Unidad Norte de la Cordillera Blanca y el Cambio Climático. Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña 2017, p.14.
  - ✦ Moreno G. Introducción a la metodología de la investigación educativa. 2ª ed. Mexico, Guadalajara: Progreso S.A de C.V, 2007 p. p.128
  - ✦ Muñoz, J. Y Sobrino, A. “Obtención De La Temperatura De La Superficie Terrestre A Partir De La Serie Histórica Landsat. 2009, Valencia-España p.2
  - ✦ Muñoz, D. y Montenegro, Analisis Multitemporal De Cambios De Uso Del Suelo Y Coberturas, En La Microcuenca Las Minas, Corregimiento De La Laguna, Municipio De Pasto, Departamento De Nariño Colombia 2008. p.9).
  - ✦ Municipalidad de Miranda, Esquema de Ordenamiento Territorial- Diagnóstico Territorial, Paraguay, 2010. p.1).
  - ✦ National Geography. ¿Qué es calentamiento global? [en línea]. Washington D. C., Estados Unidos, [fecha de consulta: 18 de noviembre del 2017].  
Disponible en: <http://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/que-es-el-calentamiento-global>
  - ✦ National Geospatial-Intelligence Agency, Bethesda, Coordenadas geográficas del nevado Huascarán [en línea]. Estados Unidos: [fecha de consulta: 18 de noviembre del 2017].  
Disponible en: [https://geografiainfo.es/nombres\\_geograficos/name.php?uni=-526620&fid=4516&c=peru](https://geografiainfo.es/nombres_geograficos/name.php?uni=-526620&fid=4516&c=peru)
  - ✦ Darío, I. y Darío, R., Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) [en línea]. Estados Unidos, [fecha de consulta: 18 de noviembre del 2017].  
Disponible en: [https://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring\\_vegetation\\_2.php](https://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php)

- ◆ Páez, B. y García, A. “Análisis multitemporal del retroceso glaciar en la Sierra nevada de Santa Marta – Colombia- para los periodos 1986, 1996, 2007 Y 2014.”Bogotá D.C., Colombia, Universidad Distrital Francisco José De Caldas. 2016, p.8.
- ◆ Perez,C. y Muñoz, A, Teledetección nociones y aplicaciones. Universidad de Salamanca - España 2006 p. 80.
- ◆ Qiao L., *et. al.* Glacier Changes in the Lancang River Basin, China, between 1968–1975 and 2005–2010. Arctic, Antarctic, and Alpine Research, 2<sup>a</sup> ed. 2015, p. 335–344.
- ◆ Ruiz, S. *et. al.* Un análisis comparativo del retroceso glaciar en los Andes Tropicales usando teledetección”. Chile, 2016 p.14.
- ◆ Salkind, N. Métodos de investigación. 3<sup>a</sup> ed. México D.F. 1999 p.12  
ISBN: 970-17-0234-4
- ◆ Schauwecker, S., Mario A., Cochachin.y Luzmila R. Climate trends and glacier retreat in the Cordillera Blanca, Peru, revisited. Global and Planetary Change, 2014 p.85–97.
- ◆ T. Smith, B. Bookhagen, and F. Cannon, “Improving semi-automated glacier mapping with a multi-method approach: applications in central Asia”. Universität Potsdam, Potsdam, Germany. 2015 p.1752
- ◆ Tarazona Y., “Aplicación de la Teledetección como una herramienta para el análisis Multitemporal del retroceso glaciar en el Nevado Pastoruri debido al Cambio Climático”. Universidad Nacional Mayor de San Marcos Lima – Perú .2012, p.23.
- ◆ Vuille M. *et. al.* Climate change and tropical Andean glaciers: Past, present and future. Earth-Science Reviews, 2014, p. 79–96
- ◆ YAP, Aderly “Análisis Multitemporal De Glaciares Y Lagunas Glaciares En La Cordillera Blanca E Identificación De Potenciales Amenazas Glofs”. Pontifica Universidad Católica del Perú, 2015 p.4.

## VIII. ANEXOS

### Anexo 1. Matriz de Consistencia

Dinámica de la cobertura glaciar del nevado Huascarán y de las lagunas glaciares adyacentes entre 1990 y el 2017 mediante la teledetección						
Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Dimensión	Indicadores	Escala de medición
¿Cómo la aplicación de la teledetección permite determinar la dinámica cobertura glaciar del nevado Huascarán y de las lagunas glaciares adyacentes desde 1990 al 2017?	Determinar como la aplicación de la teledetección permite cuantificar la dinámica cobertura glaciar del nevado Huascarán y de las lagunas glaciares adyacentes desde 1990 al 2017	La aplicación de herramientas de teledetección sobre el nevado Huascarán permite cuantificar la dinámica de cobertura glaciar del nevado Huascarán y de las lagunas glaciares adyacentes desde 1990 al 2017.	Teledetección	Imágenes satelitales	Bandas espectrales	Nº bandas
					Sección/Extracción	Coordenadas
					Extracción de cobertura glaciar	Área
					Extracción de cobertura vegetal	Área
				Clasificación supervisada	Nº clases	
				Temperatura	Temperaturas máximas	+Celsius (°C)
	Temperaturas mínimos	-Celsius (°C)				
¿Cómo la aplicación de la teledetección permite cuantificar la cobertura glaciar del nevado Huascarán entre 1990 al 2017?	Cuantificar la cobertura glaciar del nevado Huascarán entre 1990 al 2017 mediante la teledetección	La aplicación de la teledetección permite cuantificar la cobertura glaciar del nevado Huascarán entre 1990 al 2017.	Dinámica de Cobertura glaciar	Cobertura glaciar del nevado	Tasa de perdida	%
					Área	m <sup>2</sup>
¿Cómo la aplicación de la teledetección permite cuantificar la cobertura glaciar de las lagunas adyacentes al nevado entre 1990 al 2017?	Cuantificar la cobertura glaciar de las lagunas adyacentes al nevado entre 1990 al 2017 mediante la teledetección	La aplicación de la teledetección permite cuantificar la cobertura glaciar de las lagunas adyacentes al nevado entre 1990 al 2017.	Dinámica de Cobertura glaciar	Cobertura glaciar de la lagunas	Perímetro	m
					Área	m <sup>2</sup>

**Anexo 2. Matriz De Operacionalización De Variables**

<b>La teledetección y su relación con la dinámica de la cobertura glaciar del nevado Huascarán y de las lagunas glaciares adyacentes entre 1990 y el 2017</b>					
<b>VARIABLES</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Escala de medición</b>
<b>Teledetección</b>	"La utilización de herramientas computacionales tales como los sistemas de información geográfica, máxima las posibilidades de aprovechamiento de los datos obtenidos en imágenes satelitales, así mismo optimizan la calidad de los resultados en el procesamiento de la información" (Rodríguez O. y Arredondo H. 2005, p.197)	Las herramientas de teledetección se utilizarán con el fin de obtener información del área determinada por el investigador. Para que esta observación sea posible, es necesario que los elementos de interés y el sensor tenga un tipo de interacción. Esto permitirá poder realizar extracción de cobertura glaciar, cobertura vegetal, cuerpos de agua entre otras, además que permitirá hacer una estimación de la temperatura superficial, lo que facilitará establecer una relación directa entre el aumento de la temperatura y la regresión glaciar, además que se generó mapas temáticos que permitan visualizar la dinámica de cobertura glaciar	Imágenes satelitales	Bandas espectrales	Nº bandas
				Sección/Extracción	Coordenadas
				Extracción de cobertura glaciar	Área
				Extracción de cobertura lagunar	Área
			Clasificación no supervisada	Nº clases	
			Temperatura	Temperaturas máximas	+Celsius (°C)
Temperaturas mínimos	-Celsius (°C)				
<b>Dinámica de Cobertura glaciar</b>	"Un glaciar es una gruesa masa de hielo que se origina en la superficie terrestre por acumulación, compactación y recristalización de la nieve, mostrando evidencias de flujo en el pasado o en la actualidad y puede generar la formación de lagunas glaciares" (Aguilón, A. 2012, p.1).	La dinámica de cobertura glaciar del nevado Huascarán a su vez el aumento del volumen en las lagunas glaciares se podrá obtener mediante el procesamiento digital de las imágenes satelitales capturadas por el satélite Landsat en los años 1990, 2000, 2010 y 2017, posteriormente mediante (NDSI) y (NDWI), se elaboró mapas sobre la variación en la cobertura nival del nevado y volumen en lagunas glaciares; con ayuda de los software: ERDAS IMAGINE 2014 Y ARC MAP 10.3.	Cobertura glaciar del nevado	Tasa de pérdida	%
				Área	m <sup>2</sup>
			Cobertura glaciar de la lagunas	Perímetro	m
				Área	m <sup>2</sup>

**Anexo 3. Ficha de recolección de datos**

<b>I. DATOS PERSONALES</b>			
<b>APELLIDOS</b>	Dioses Cardenas		
<b>NOMBRE</b>	Alexander		
<b>CICLO</b>	IX		
<b>ESCUELA</b>	Ingeniería Ambiental		
<b>E-MAIL</b>	<a href="mailto:eididc3@gmail.com">eididc3@gmail.com</a>		
<b>II. DATOS GENERALES NOMBRE</b>			
<b>OBJETIVO</b>	Determinar como la aplicación de la teledetección permite cuantificar la dinámica cobertura glaciaria del nevado Huascarán y de las lagunas glaciares adyacentes desde 1990 al 2017.		
<b>ÁMBITO</b>	Nevado Huascarán		
<b>UBICACIÓN</b>	En los distritos de Yungay, Yanama, Shilla y Mancos de las provincias de Carhuaz y Yungay en el departamento de Áncash		
<b>PERIODOS DE ANÁLISIS</b>	Imágenes satelitales de los años: 1990, 2000, 2010 y 2017		
<b>II. DATOS DE IMAGEN SATELITAL</b>			
<b>PROVEEDOR O FUENTE DE ADQUISICIÓN</b>	-National Aeronautics and Space Administration(NASA)	<b>SENSOR</b>	Thematic Mapper TM*, Enhanced Thematic Mapper (ETM+), Operational Land Imager (OLI)
<b>ANCHO DE BARRIDO DE LA ESCENA</b>	-Barrido: 185km X 180km aprox.	<b>SATELITE</b>	-Landsat: 5*, 7, 8
		<b>COORDENAS GEOGRÁFICAS</b>	X: 214284.05 Y: 8992232.19
<b>RESOLUCIÓN ESPACIAL</b>	-Banda multiespectral: 30m -Banda term*: 60m* y 120m* -Banda pancromática : 15m	<b>ORBITA</b>	Satélite de órbita polar
		<b>PROYECCIÓN</b>	UTM, Zona 18S
<b>FECHAS DE ADQUISICIÓN</b>	-1990, 2000, 2010, 2017	<b>ZONA</b>	-WRS2 (World Reference South America)
<b>RESOLUCIÓN TEMPORAL</b>	-Tiempo de revisita de 16 días	<b>CODIGO DE CUADRANTE PATH Y ROW/LANDSAT</b>	-p008/r067

**LEY DE RECURSOS HÍDRICOS**

**LEY N° 29338**

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

POR CUANTO:

El Congreso de la República

Ha dado la Ley siguiente:

EL CONGRESO DE LA REPÚBLICA;

Ha dado la Ley siguiente:

**CAPITULO II**

**AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA**

**Artículo 14º.- La Autoridad Nacional como ente rector**

La Autoridad Nacional es el ente rector y la máxima autoridad técnico-normativa del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos. Es responsable del funcionamiento de dicho sistema en el marco de lo establecido en la Ley.

**Artículo 15º.- Funciones de la Autoridad Nacional**

Son funciones de la Autoridad Nacional las siguientes:

1. Elaborar la política y estrategia nacional de los recursos hídricos y el plan nacional de gestión de los recursos hídricos, conduciendo, supervisando y evaluando su ejecución, los que deberán ser aprobados por decreto supremo, refrendado por el Presidente del Consejo de Ministros;
2. establecer los lineamientos para la formulación y actualización de los planes de gestión de los recursos hídricos de las cuencas, aprobarlos y supervisar su implementación;
3. proponer normas legales en materia de su competencia, así como dictar normas y establecer procedimientos para asegurar la gestión integral y sostenible de los recursos hídricos;
4. elaborar el método y determinar el valor de las retribuciones económicas por el derecho de uso de agua y por el vertimiento de aguas residuales en fuentes naturales de agua, valores que deben ser aprobados por decreto supremo; así como, aprobar las tarifas por uso de la infraestructura hidráulica, propuestas por los operadores hidráulicos;
5. aprobar, previo estudio técnico, reservas de agua por un tiempo determinado cuando así lo requiera el interés de la Nación y, como último recurso, el trasvase de agua de cuenca;
6. declarar, previo estudio técnico, el agotamiento de las fuentes naturales de agua, zonas de veda y zonas de protección, así como los estados de emergencia por escasez, superávit hídrico, contaminación de las fuentes naturales de agua o cualquier conflicto relacionado con la gestión sostenible de los recursos hídricos, dictando las medidas pertinentes;
7. otorgar, modificar y extinguir, previo estudio técnico, derechos de uso de agua, así como aprobar la implementación, modificación y extinción de servidumbres de uso de agua, a través de los órganos desconcentrados de la Autoridad Nacional;

**Anexo 5. SUBCAPÍTULO II, Artículo 21º, sección 5. Del Jefe de la Autoridad Nacional - Ley de Recursos Hídricos 29338**

**LEY DE RECURSOS HÍDRICOS**  
**LEY Nº 29338**

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

POR CUANTO:

El Congreso de la República

Ha dado la Ley siguiente:

EL CONGRESO DE LA REPÚBLICA;

Ha dado la Ley siguiente:

**SUBCAPÍTULO II**

**JEFATURA**

**Artículo 21º.- Del Jefe de la Autoridad Nacional**

La Jefatura de la Autoridad Nacional está a cargo de un funcionario designado mediante resolución suprema refrendada por el Ministro de Agricultura.

El Jefe de la Autoridad Nacional tiene las siguientes funciones:

1. Ejercer la representación legal e institucional de la Autoridad Nacional, asumiendo la titularidad del pliego presupuestal;
2. celebrar contratos y convenios de crédito y de cooperación técnica y financiera nacional e internacional, de conformidad con las normas legales vigentes;
3. conducir la marcha general de la Autoridad Nacional, dirigiendo la gestión técnica, financiera y administrativa, cautelando el cumplimiento de sus políticas, planes y estrategias institucionales;
4. cumplir y hacer cumplir los acuerdos del Consejo Directivo;
5. proponer al Consejo Directivo políticas, planes y estrategias institucionales; así como las medidas necesarias para el eficiente funcionamiento de la Autoridad Nacional;
6. coordinar con los presidentes regionales la ejecución de las acciones de gestión del uso del agua que se desarrollan en sus respectivos ámbitos territoriales;
7. revisar y someter al Consejo Directivo los resultados de la gestión, el balance general y los estados financieros auditados, y la memoria de cada ejercicio;
8. expedir resoluciones y demás disposiciones que sean necesarias para la gestión de la Autoridad Nacional;
9. convocar a sesiones del Consejo Directivo, donde actúa como secretario; y,
10. otras que señale la Ley o le asigne el Consejo Directivo.

**Anexo 6. CAPITULO IV, Artículo 25º.- Ejercicio de las funciones de los gobiernos regionales y gobiernos locales - Ley de Recursos Hídricos 29338**

**LEY DE RECURSOS HÍDRICOS**  
**LEY Nº 29338**

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

POR CUANTO:

El Congreso de la República

Ha dado la Ley siguiente:  
EL CONGRESO DE LA REPÚBLICA;  
Ha dado la Ley siguiente:

**CAPITULO IV**

**FUNCIONES DE LOS GOBIERNOS REGIONALES Y GOBIERNOS LOCALES**

**Artículo 25º.- Ejercicio de las funciones de los gobiernos regionales y gobiernos locales**

Los gobiernos regionales y gobiernos locales, a través de sus instancias correspondientes, intervienen en la elaboración de los planes de gestión de recursos hídricos de las cuencas. Participan en los Consejos de Cuenca y desarrollan acciones de control y vigilancia, en coordinación con la Autoridad Nacional, para garantizar el aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos.

La infraestructura hidráulica mayor pública que transfiera el gobierno nacional a los gobiernos regionales es operada bajo los lineamientos y principios de la Ley, y las directivas que emita la Autoridad Nacional.



**Anexo 7. CAPÍTULO IV. Extinción de los Derechos de Uso de Agua - Artículo N° 89  
Prevención ante efectos de cambio climático- Ley de Recursos Hídricos 29338**

**LEY DE RECURSOS HÍDRICOS**

**LEY N° 29338**

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

POR CUANTO:

El Congreso de la República

Ha dado la Ley siguiente:

EL CONGRESO DE LA REPÚBLICA;

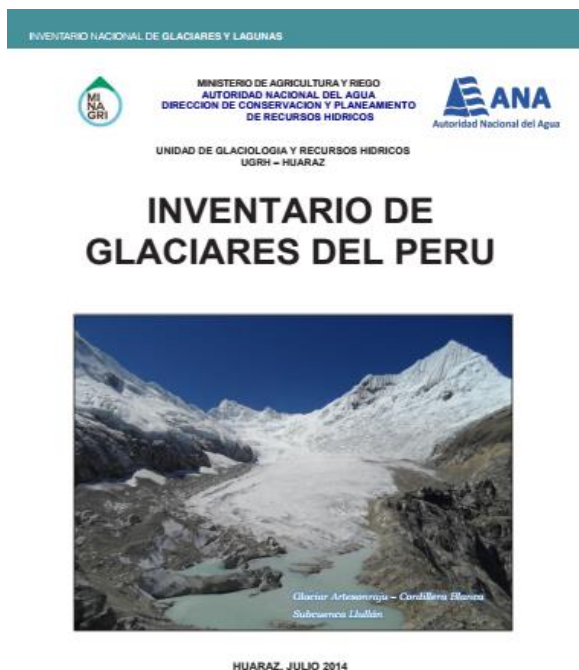
Ha dado la Ley siguiente:

**Artículo 89º.- Prevención ante efectos de cambio climático**

La Autoridad Nacional, en coordinación con la Autoridad del Ambiente, debe desarrollar estrategias y planes para la prevención y adaptación a los efectos del cambio climático y sus efectos sobre la cantidad de agua y variaciones climáticas de orden local, regional y nacional.

Asimismo, realiza el análisis de vulnerabilidad del recurso hídrico, glaciares, lagunas y flujo hídrico frente a este fenómeno.

## Anexo 8. Inventario de glaciares 2014



### 7.1.2 Glaciares

Para la cordillera Blanca se inventario 755 glaciares con una extensión de 527,62 km<sup>2</sup>. Los glaciares varían según su altitud por localizarse en zonas empinadas, donde la altitud mínima es 4249 msnm y la altitud máxima es 6701 msnm.

La superficie glaciar de la Cordillera Blanca se distribuye en 14 grupos de masas glaciizadas que están en correspondencia con los sistemas de montaña más elevadas del ámbito de estudio. Es sobresaliente la extensión glaciar de los sistemas Chinchey, Hualcán, Santa Cruz, Huandoy, Huantsan y Huascarán, con relación a los grupos ubicados en los extremos norte (Pelagatos, Pacra, Pilanco y Champará) y sur (Cauellaraju y Pongos).

Cuadro 14. Superficie glaciar según sistemas glaciares de la Cordillera Blanca.

Sistema Glaciar	Altitud Promedio (msnm)	Superficie	
		Km <sup>2</sup>	%
Pelagatos	4 872	0,04	0,01
Pacra	4 935	0,86	0,16
Champará	5 064	9,77	1,85
Pilanco	5 103	5,43	1,03
Santa Cruz	5 195	70,78	13,41
Huandoy	5 213	62,34	11,81
<b>Huascarán</b>	<b>5 338</b>	<b>51,35</b>	<b>9,73</b>
Contrahierbas	4 988	28,48	5,40
Hualcán	5 132	83,37	15,80
Copap	5 056	27,84	5,28
Chinchey	5 350	91,53	17,35
Huantsan	5 196	54,27	10,29
Pongos	5 138	23,72	4,49
Cauellaraju	5 216	17,83	3,38
<b>Total</b>		<b>527,62</b>	<b>100,00</b>

**Anexo 9. Validación de instrumento de investigación realizada por los expertos en la materia**



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**INFORME DE OPINION DE EXPERTOS DE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN**

**I. DATOS GENERALES**

- 1.1 Apellidos y Nombres del validador: Dr./Mg. Valdivino Gonzales Loayza  
 1.2 Cargo e institución donde labora: Coordinador Escuela Ing Amis occ  
 1.3 Especialidad del validador: Ing. Metalurgico  
 1.4 Nombre del instrumento: FICHA DE ASPECTOS TÉCNICOS  
 1.5 Título de la Investigación: DINAMICA DE LA CEBOTRUBA GLACIAR DEL NEVADE HUANCAHUASI Y VAGUANS.  
 1.6 Autor del Instrumento: DIOSÉS CARDENAS, ALEXANDER

**II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:**

CRITERIOS	INDICADORES	Deficiente 00-20%	Regular 21-40%	Buena 41-60%	Muy Buena 61-80%	Excelente 81-100%
1- Claridad	Esta formulado con lenguaje apropiado y específico					95
2- Objetividad	Esta expresado en conductas observables					95
3- Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia y tecnología					95
4- Organización	Existe una organización lógica					95
5- Suficiencia	Comprende los aspectos en cantidad y calidad					95
6- Intencionalidad	Adecuado para valorar aspectos de las estrategias					95
7- Consistencia	Basados en aspectos teorico-científicos					95
8- Coherencia	Entre los índices, indicadores y dimensiones					95
9- Metodología	La estrategia responde al propósito del diagnóstico.					95
10- Pertinencia	El instrumento es funcional para el propósito de la investigación					95
PROMEDIO DE VALIDACION						95

PERTINENCIA DE LOS ITEMS O REACTIVOS DEL INSTRUMENTO

- Variable independiente: Teledetección

DIMENSION	INDICADOR	SUFICIENTE	MEDIANAMENTE SUFICIENTE	INSUFICIENTE
Procesamiento de imágenes satelitales	Bandas espectrales	/		
	Sección/Extracción	/		
	Extracción de cobertura glaciár	/		
	Extracción de cobertura vegetal	/		
	Clasificación supervisada	/		
Influencia de temperatura	Generación de temperaturas de superficie	/		

OMEDIO DE VALORACIÓN: 95 % V. OPINION DE APLICABILIDAD:

El Instrumento puede ser aplicado, tal como está elaborado

El instrumento debe ser mejorado antes de ser aplicado

Lugar y Fecha: 551. 20 noviembre. 2017

  
Firma del experto informante

DNI N° 40313063 Teléfono N° \_\_\_\_\_



PERTINENCIA DE LOS ITEMS O REACTIVOS DEL INSTRUMENTO

- Variable dependiente: Dinámica de Cobertura glaciar

DIMENSION	INDICADOR	SUFICIENTE	MEDIANAMENTE SUFICIENTE	INSUFICIENTE
Cobertura glaciar	Temperatura	/		
	Masa	/		
Dimensiones	Altura	✓		
	Profundidad	/		
	Área	/		

PROMEDIO DE VALORACIÓN: 95% % V. OPINION DE APLICABILIDAD:

- El Instrumento puede ser aplicado, tal como está elaborado  
 El Instrumento debe ser mejorado antes de ser aplicado

Lugar y Fecha: SJC. 22 de Noviembre 2012

  
Firma del experto Informante

DNI N° 90323013 Teléfono N° \_\_\_\_\_

**Anexo 10. Acta de Aprobación de Originalidad y Pantallazo de Turnitin**

	<b>ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD DE TESIS</b>	Código : F06-PP-PR-02.02 Versión : 08 Fecha : 12-09-2017 Página : de 1
-----------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------

Yo, Mg. Fernando Antonio Sernaque Auccahuasi, docente de la Facultad Ingeniería y Escuela Profesional Ingeniería Ambiental de la Universidad César Vallejo Lima Este (precisar filial o sede), revisor (a) de la tesis titulada

**"Dinámica de la cobertura glaciar del nevado Huascarán y de las lagunas glaciares adyacentes entre 1990 y el 2017 mediante la teledetección"**, del (de la) estudiante Dioses Cardenas Alexander, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 29.7% verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin.

El/la suscrito (a) analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

Lugar y fecha 07 de mayo del 2019



Firma


Mg. Fernando Antonio Sernaque Auccahuasi

DNI: 07268863



Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante de la Dirección / Vicerrectorado de Investigación y Calidad	Aprobó	Rectorado
---------	----------------------------	--------	---------------------------------------------------------------------------------	--------	-----------

Feedback Studio - Google Chrome  
 https://ev.turnitin.com/...  
 feedback studio ALEXANDER DIOSES /0 1 de 1



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL

Dinámica de la cobertura glaciar del nevado Huascaran y de las lagunas glaciares adyacentes entre 1990 y el 2017 mediante la teledetección

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**  
Ingeniero Ambiental

**AUTOR:**  
Alexander Dioses Cárdenas

**ASLADOR:**  
Mg. Raúl Cabello Torres

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**  
Gestión de riesgos y adaptación al cambio climático

**LIMA - PERÚ**  
Año 2019 - II

Resumen de coincidencias

29 %

1	dicoplaver.es	3 %
2	tesis.pucp.edu.pe	2 %
3	docslide.us	1 %
4	es.scribd.com	1 %
5	www.aet.org.es	1 %
6	eprints.uctm.es	1 %
7	bibliotecavirtual.mina	1 %

Página 1 de 101 | Número de palabras: 17533 | Text-only Re | Turnitin Cla | High Resol | Activo

103

*Alexander Dioses Cárdenas*



**Anexo 11. Autorización de Publicación de Tesis**

	<b>AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL UCV</b>	Código : F08-PP-PR-02.02 Versión : 08 Fecha : 12-09-2017 Página : de 1

Yo Alexander Dioses Cardenas, identificado con DNI N° 72035890, egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad César Vallejo, autorizo ( **X** ) , No autorizo ( ) la divulgación y comunicación pública de mi trabajo de investigación titulado **“Dinámica de la cobertura glaciar del nevado Huascarán y de las lagunas glaciares adyacentes entre 1990 y el 2017 mediante la teledetección”**; en el Repositorio Institucional de la UCV (<http://repositorio.ucv.edu.pe/>), según lo estipulado en el Decreto Legislativo 822, Ley sobre Derecho de Autor, Art. 23 y Art. 33

Fundamentación en caso de no autorización:

.....  
 .....  
 .....  
 .....  
 ...

  
 \_\_\_\_\_  
 FIRMA

DNI: 72035890

FECHA: 07 de mayo del 2019

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante de la Dirección / Vicerrectorado de Investigación y Calidad	Aprobó	Rectorado
---------	----------------------------	--------	---------------------------------------------------------------------------------	--------	-----------



**Anexo 12. Autorización de la Versión Final del Trabajo de Investigación,**



**AUTORIZACIÓN DE LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

CONSTE POR EL PRESENTE EL VISTO BUENO QUE OTORGA EL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN DE

**Mg. Fernando Antonio Sernaqué Aucchuasi**

A LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN QUE PRESENTA:

**Alexander Dioses Cardenas**

INFORME TÍTULADO:


**Dinámica de la cobertura glaciar del nevado Huascarán y de las lagunas glaciares adyacentes entre 1990 y el 2017 mediante la teledetección**

PARA OBTENER EL TÍTULO O GRADO DE

**Ingeniero Ambiental**

SUSTENTADO EN FECHA: 13 de diciembre del 2017

NOTA O MENCIÓN: 18 (dieciocho)



---

MG. FERNANDO ANTONIO SERNAQUÉ AUCCAHUASI

