



Universidad César Vallejo

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA

AMBIENTAL

**Estimación del Retroceso y Predicción del Tiempo de Permanencia  
del Nevado Chicón Mediante el Análisis Multitemporal Entre los  
Años 1985-2021, Cusco**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
Ingeniero Ambiental

**AUTORES:**

Aedo Tapia, Jainor Daly (ORCID: 0000-0002-9136-922X)

Quispe Curasco, Wilson (ORCID: 0000-0001-6226-7526)

**ASESOR:**

Dr. Lozano Sulca, Yimi Tom (ORCID: 0000-0002-0803-1261)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Gestión de Riesgo y Adaptación al Cambio Climático

LIMA — PERÚ

2022

## **Dedicatoria**

Este trabajo de investigación lo dedicamos a nuestros padres con todo nuestro corazón, pues sin ellos no lo hubiéramos logrado.

## **Agradecimiento**

Ante todo, agradecer a nuestros padres y hermanos ya que ellos estuvieron ahí apoyándonos día a día y así mismo agradecerle a nuestro asesor Dr. Lozano Sulca Yimi Tom por todo el apoyo que nos brindó para hacer realidad nuestro trabajo de investigación.

## Índice de contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de tablas .....	v
Índice de figuras.....	vi
Resumen .....	vii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	7
III. METODOLOGÍA.....	20
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	20
3.2. Variables y operacionalización .....	21
3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis.....	21
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	22
3.5. Procedimiento .....	22
3.6. Método de análisis de datos.....	30
3.7. Aspectos éticos .....	30
IV. RESULTADOS .....	32
V. DISCUSIÓN.....	42
VI. CONCLUSIONES .....	45
VII. RECOMENDACIONES .....	46
REFERENCIAS .....	47
ANEXOS	

## Índice de tablas

Tabla 1: Área por años.....	36
Tabla 2 Modelo de regresión.....	39

## Índice de figuras

Figura 1: Zonas de un glaciar.....	15
Figura 2 Condiciones de equilibrio de masas en un año de equilibrio y variación estacional de un glaciar medio o moderado .....	16
Figura 3 Pagina del Servicio Geológico de los Estados Unidos o USGS .....	23
Figura 4 Atomic Classification plugin.....	24
Figura 5 Corrección atmosférica .....	24
Figura 6 Procedimiento para la composición de bandas .....	25
Figura 7 Resultado de la composición de bandas y área delimitada .....	25
Figura 8 Procedimiento para el recorte .....	26
Figura 9 Resultado del recorte .....	26
Figura 10 Procedimiento para calcular el NDSI.....	27
Figura 11 Resultado del cálculo del NDSI.....	28
Figura 12 Procedimiento del cálculo de NDSI .....	28
Figura 13 Resultado de reclasificación.....	29
Figura 14 Procedimiento de la conversión de Ráster a polígono.....	29
Figura 15 Resultado de la conversión de Ráster a Polígono.....	30
Figura 16 Comportamiento del área en km <sup>2</sup> del glaciar del nevado Chicón de 1985 - 1995.....	32
Figura 17 Comparación del 1985 - 1995 .....	33
Figura 18 Comportamiento del área en km <sup>2</sup> del glaciar del nevado Chicón durante los años 1996 al 2005.....	33
Figura 19 Comparación del 1996 - 2006 .....	34
Figura 20 Comportamiento del área en km <sup>2</sup> del glaciar del nevado Chicón durante los años 2006 al 2021 .....	34
Figura 21 Comparación del 2004 - 2019 .....	35
Figura 22 Evolución del comportamiento del área de nieve del nevado Chicón 1985 - 2021.....	35
Figura 23 Evolución del comportamiento del perímetro de nieve del nevado Chicón 1985 - 2021 .....	37
Figura 24 Gráfico de dispersión de la evolución del Área (km <sup>2</sup> ).....	38
Figura 25 Variación del Área - Hielo.....	38
Figura 26 Proyección de la Área - Hielo.....	41

## **Resumen**

El objetivo de la presente investigación fue identificar la evolución del retroceso glaciar y su predicción temporal mediante el análisis multitemporal del nevado

Chicón, en la provincia de Urubamba, Región Cusco. En tanto a la metodología fue de enfoque cuantitativo, de diseño no experimental y de tipo básico. En tanto a los resultados el modelo presenta un R cuadrado ajustado que tiene un valor de 0.7647, el cual afirma que el nivel de explicación del modelo es muy bueno, que explica la variabilidad del área total en km<sup>2</sup> del nevado Chicón en un 76.47 %.

Respecto a la prueba de  $(\text{Prob} > F) = 0.00$ , se afirma que el modelo es significativo y que la variable independiente, años, influye en la variación del área de total del nevado Chicón.

**Palabras clave: Nevado, Glaciar, Retrospección.**

### **Abstract**

The objective of this research was to identify the evolution of glacial retreat and its temporal prediction through the multi-temporal analysis of the Chicón peak, in the province of Urubamba, Cusco Region. As for the methodology, it was a quantitative approach, non-experimental design and basic type. As for the results, the model presents an adjusted R squared value of 0.7647, which affirms that the level of explanation of the model is very good, which explains the variability of the total area in km<sup>2</sup> of the snow-capped Chicón by 76.47%.

Regarding the test of  $(\text{Prob} > F) = 0.00$ , it is stated that the model is significant and that the independent variable, years, influences the variation of the total area of the Chicón peak.

**Keywords: Snowy, Glacier, Retrospection.**

## I. INTRODUCCIÓN

Los glaciares cubren alrededor del 10% de la superficie terrestre de la Tierra, pero están retrocediendo rápidamente y muchos de ellos desaparecerán en unas pocas décadas. El retroceso de los glaciares es un fenómeno global que representa una amenaza para la flora y fauna y los recursos hídricos, principalmente en los países en desarrollo. Nuestra comprensión de las consecuencias ecológicas del retroceso de los glaciares ha mejorado drásticamente durante la última década, pero todavía carecemos de un marco integral para predecir la respuesta de la biodiversidad de los hábitats Diferentes hábitats y taxones para el retroceso de los glaciares a escala global (Cauvy y Dangles 2019).

Los glaciares fueron el hábitat anterior y actual del salmón del Pacífico en América del Norte. Alrededor del 45% del área de distribución del salmón del Pacífico de América del Norte se encontraba cubierta por hielo durante la última edad de Hielo. Hoy en día, la mayoría de los hábitats del salmón se encuentran en cuencas donde los glaciares están presentes y se están retirando. Este completo informe examinó las muchas formas de afectación de los ecosistemas acuáticos de la vida del salmón del Pacífico a causa del retroceso de los glaciares. Debido a ello, se predijo que, en las próximas décadas, las poblaciones de salmón enfrentarán el desafío de disminución del crecientemente de agua y de su incremento de la temperatura, es así como se encontró nuevos hábitats de salmónes, localizándose y variando su estilo de vida afín de adaptarse al cambio que se tendrá (Pitman et al. 2020).

El cambio climático modificó la forma y el funcionamiento de los ecosistemas fluviales de todo el mundo. El retroceso de los ríos de montaña ha demostrado que los glaciares son capaces de provocar cambios sistémicos en la biodiversidad de los invertebrados acuáticos, pero se desconoce el impacto de la pérdida de hielo en los taxones y la función general del ecosistema. Se usó datos de ríos de montaña en seis países, en cuatro continentes del mundo, donde se mostró que una disminución en la cubierta glaciar condujo a una mayor tasa de descomposición fúngica de la celulosa, el polímero orgánico más abundante del mundo. Por otro lado, las tasas de degradación de la celulosa se han asociado con una mayor abundancia de genes de celobiohidrolasa (cbhl), por lo que se degradaron la celulosa en agua y hongos, lo que ilustra la capacidad de predecir la función a nivel

de ecosistema a partir de datos a nivel de genes. La clara asociación entre genes, poblaciones, comunidades de hongos y funciones de los ecosistemas en los ríos de montaña sugiere que se espera que la continua reducción de la capa de hielo global altere funciones importantes de los ecosistemas, incluidos los procesos del ciclo del carbono (Fell et al. 2021).

Los cálculos del modelo mostraron que la tasa de acumulación de hidratos depende de la elevación de la capa de hielo, las propiedades termofísicas e hidrológicas del suelo y del régimen de temperatura del suelo. Se simularon los efectos de diferentes valores del espesor del revestimiento (de 200 a 500 m) y la temperatura de la superficie del sub-revestimiento (de -5 a 0°C). La capa de hielo tuvo un espesor de 200 m, la temperatura de la superficie fue de aproximadamente -2 °C y la zona estable de hidratos de gas osciló entre 10 y 180 m. Para una capa de hielo de 500 m de espesor, incluso a la temperatura base del glaciar alrededor de 0°C, la zona de estabilización puede comenzar en la superficie y alcanzar los 200 m. Cuando el espesor de la capa de hielo es inferior a 200 m y la temperatura en el fondo del glaciar es de aproximadamente 0 °C, no se alcanzan la temperatura y la presión de equilibrio y el hidrato de gas se acumula en el espacio poroso sobre la superficie. Se estimó que la acumulación de agua bajo el manto glaciar por infiltración líquida es del 0,1% del deshielo y del 0,05% del congelamiento del suelo por año (Arzhanov y Malakhova 2021).

El agua de deshielo de los glaciares no solo es una fuente estable de agua, sino que también afecta la dinámica de los flujos de agua río abajo. Uno de estos factores es la variación del tráfico de un año a otro. Los glaciares pueden mitigar los cambios en la escorrentía porque los flujos inducidos por la temperatura en las partes glaciares de la cuenca están inversamente correlacionados con los flujos inducidos por la precipitación en las partes no glaciares de la cuenca, que se anulan entre sí. Esto también se ha conocido como el efecto de compensación del glaciar (GCE) y se supone que depende de la cubierta relativa del glaciar (Tiel et al. 2020).

Los glaciares andinos fueron uno de los principales recursos hídricos de América del Sur, sin embargo, estos han sufrido una disminución drástica en las últimas décadas debido al cambio y la variabilidad del clima (Molano et al. 2022).

El Perú es un país privilegiado, debido a la presencia de los glaciares que existen en nuestro país que alcanzan más de 5000 m.s.n.m. Uno de los casos es de nevado del nevado Chicón ubicado en la región de Cusco, en la provincia de Urubamba. En el estudio realizado se confirmó el retroceso de los glaciares del Perú, uno de ellos fue el caso del nevado Chicón. Esto presagia un futuro importante para el suministro de agua en la región de Cusco y el resto del país. Las razones de este fracaso son variadas, como el cambio climático generado por el ser humano, incluyendo así mismo la minería irresponsable, el turismo no sostenible; impacto negativo en el Chicón; en el caso de la capacidad turística, la contaminación generada conduce a la degradación de áreas (desaparición del nevado Chicón), provocando malestar, insatisfacción e incertidumbre en los turistas.

Avances históricos en el estudio de la cobertura glaciar en el Monte Coropuna, han estimado las concentraciones de agua equivalente en esta parcela (2003-2004) y frecuencia de eventos ENOS (El Niño/La Niña) en estaciones climáticas de nieve cercanas en 1955, este valor fue de 123 kilómetros cuadrados, el 2010 (solo 47 kilómetros cuadrados), el monte Coropuna perdió 76 kilómetros cuadrados (62%) de su superficie glaciar. En el año 2003 el Glaciar Koropuna tenía una superficie de 57 km<sup>2</sup>, y en el año 2004 el espesor promedio de la capa de hielo era de 93 m, el equivalente en agua se estimó en 36,9 x 10<sup>8</sup> metros cúbicos en 2003-2004 y 30,2 x 10<sup>8</sup> metros cúbicos metros en 2010. En las cercanías de Coropuna, durante los eventos de El Niño 1982/1983 y 1991/1992, los déficits de lluvia oscilaron entre 48% y 100% y entre 70% y 99.7%, respectivamente, mientras que en los eventos de 1997/1998 estuvieron entre 5% y 51%. % . Cambios en las precipitaciones durante el evento La Niña de 1988/1989 y el excedente durante el evento de 1998/2001. Los cambios de temperatura (mínimas y máximas) fueron positivos durante los eventos El Niño de 1982/1983, 1991/1992 y 1997/1998 en la estación climática de Aplao. En La Niña 1988/1989, el cambio máximo de temperatura fue positivo y el mínimo negativo, mientras que en La Niña 1998/2001, el cambio de temperatura fue positivo. Esto sugiere que cada suceso de El Niño/La Niña es específico y sus efectos no son precisamente los mismos (Silverio 2018).

Debido a su clima, altitud y entorno topográfico únicos, los glaciares de Cusco mostraron una gran variabilidad espacial a medida que el glaciar retrocede y pierde

masa. La respuesta de los glaciares al clima varía mucho, posiblemente debido a una combinación de condiciones climáticas (precipitación, temperatura, humedad, viento, etc.).

Este estudio intentó comprender el papel de los parámetros topográficos y de detritos en el retroceso glaciar del nevado Chicón. Este nevado es una montaña del Perú que está ubicada a una altitud de 5,530 msnm. Asimismo, este se sitúa en los Andes del Perú, en la Región Cusco. Estos glaciares se clasificaron según la dirección del flujo, el área de cobertura, la pendiente y la cobertura de escombros. Las causas del retroceso constante de los nevados en general se derivaron por muchos factores, sin embargo, entre los más representativos se encuentran la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub>, el transporte y la deforestación de forma agregada provocan que el planeta tierra incremente su temperatura y se fundan los glaciares. Asimismo, se observó que su causa global no solo depende del contexto específico y geográfico del glaciar, sino que es un problema general del comportamiento humano. Es por ello que su incremento es mayor y constante en los últimos años, por lo que se requiere y es necesario investigar el tiempo de permanencia del mismo y su retroceso glaciar a través de los años. Si bien es cierto que la investigación fue del tipo aplicado y de diseño no experimental, se tuvo que diagnosticar el proceso del retroceso glaciar afín de obtener un hallazgo empírico sobre un problema que acontece a nivel internacional en la cual la región del Cusco no es ajeno, es ello que desde este aporte empírico se desea que los datos conseguidos en la investigación puedan servir de diagnóstico y concientización sobre la población en general y sobre todo los funcionarios que poseen de toma de decisiones en la provincia de Urubamba orientados a la conservación y protección del medio ambiente, debido a que el nevado Chicón es uno de los más representativos no solo en la provincia de Urubamba.

En este sentido, la presente investigación tiene como problema general, ¿Cómo se dio la evolución del retroceso glaciar y cuál será su predicción temporal de acuerdo al análisis multitemporal del nevado Chicón, en la provincia de Urubamba, Región Cusco? Y como problemas específicos son:

- **PE1:** ¿Cuánto de área glaciar se perdió en el nevado Chicón de acuerdo a un análisis multitemporal, en la provincia de Urubamba, Región Cusco?

- **PE2:** ¿Cuánto del perímetro glaciar se perdió en el nevado Chicón de acuerdo a un análisis multitemporal, de la provincia de Urubamba, Región Cusco?
- **PE3:** ¿En cuánto tiempo la cobertura glaciar del nevado Chicón desaparecerá completamente de acuerdo a un análisis multitemporal, de la provincia de Urubamba, Región Cusco?

De acuerdo a la justificación, es útil comenzar con un argumento teórico refiriéndose a Fernández, "Profundización de los enfoques teóricos y la inquietud de los investigadores" (2020, p. 4) por lo que el enfoque teórico fue de utilidad referente dentro de los diferentes periodos y hallazgos de las desglaciaciones de nevados, asimismo se describió sus efectos y sus posibles soluciones.

Por razones prácticas, Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), afirmaron que la investigación logró hacer un aporte real e indirecto al problema en estudio o sugerir estrategias que, al ser implementadas, pudieron contribuir a la solución del problema; cómo es el caso del análisis de evolución de los años entre 1985-2021, a partir del análisis multitemporal de la cumbre Chicón en Provincia de Urubamba, Región Cusco.

En tanto a la relevancia social, la investigación tuvo predominancia en el enfoque social, puesto que los recursos que se utilizaron fueron capaces de sostener para las nuevas generaciones que vendrán más adelante, los cuales no tendrían las mismas posibilidades de aquellos que sí pudieron usarlo hoy en día, es por eso , que este enfoque permitió entender que la investigación presente no solo diagnosticó el retroceso glaciar, sino que los resultados sirven para concientizar a los funcionarios público en la toma de decisiones que realicen, los cuales frente a la problemática presentada se podrá evidenciar una finalidad social en el presente estudio.

Lo siguiente, se tiene como objetivo general, identificar la evolución del retroceso glaciar y su predicción temporal mediante el análisis multitemporal del nevado Chicón, en la provincia de Urubamba, Región Cusco. Y como objetivos específicos:

- **OE1:** Identificar la pérdida del área glaciar del nevado Chicón de acuerdo a un análisis multitemporal, en la provincia de Urubamba, Región Cusco.

- **OE2:** Identificar la pérdida del perímetro glaciar del nevado Chicón de acuerdo a un análisis multitemporal, en la provincia de Urubamba, Región Cusco.
- **OE3:** Estimar el tiempo en el que la cobertura glaciar del nevado Chicón desaparecerá completamente de acuerdo a un análisis multitemporal, en la provincia de Urubamba, Región Cusco.

Como Hipótesis general, el análisis multitemporal de acuerdo al programa de información geográfico ArcGIS identifica la evolución del retroceso glaciar del nevado Chicón desde 1985 a 2021.

- **HP1:** El análisis multitemporal de acuerdo al programa de información geográfico ArcGIS permite cuantificar el área de pérdida del nevado Chicón desde 1985 a 2021.
- **HP2:** El análisis multitemporal de acuerdo al programa de información geográfico ArcGIS permite cuantificar el perímetro de pérdida del nevado Chicón desde 1985 a 2021.
- **HP3:** El análisis multitemporal de acuerdo al programa de información geográfica ArcGIS permite estimar la permanencia del nevado Chicón de la provincia de Urubamba, Región Cusco.

## II. MARCO TEÓRICO

Antecedentes internacionales poseemos a Rico (2019), en su estudio denominado Los glaciares de los Pirineos: Estudio glaciológico y dinámica actual en el contexto del cambio global se ha centrado en glaciares de montaña y de valle medianos a grandes, con pocos datos experimentales y de investigación sobre pequeños glaciares de montaña. Se llevó una investigación para cuantificar el avance reciente de los glaciares en los Pirineos y percibir la variabilidad de la respuesta de los glaciares al clima, utilizando el siguiente enfoque: enfoque integrado para medidas in situ, teledetección y climatología y parámetros topográficos, y evaluación de opciones y limitaciones para el uso de escáneres láser terrestres (TLS), GPS diferencial (DGPS). La aplicación de TLS y GPR a tales glaciares es generalmente prometedora, pero se han identificado limitaciones en el uso de DGPS como técnica para monitorear la respuesta de los glaciares en menos de una década. Finalmente, reafirmar la importancia de mantener un programa de seguimiento del permafrost a lo largo del tiempo, incorporando métodos, técnicas y estándares para comprender mejor la respuesta de los glaciares pirenaicos, el permafrost y las cuevas de hielo en el cambiante paisaje global actual. La investigación mencionada permite tener una mejor amplitud sobre lo que sucede a nivel internacional con los nevados de diferentes países, lo cual permite precisar la metodología de identificación de estas disminuciones de coberturas glaciares.

Según Huss et al. (2017) las nevadas en las regiones montañosas están disminuyendo rápidamente, una tendencia que se espera que se acelere en las próximas décadas debido al cambio climático antropogénico. Se producirá una cascada de efectos, que se extenderá desde las montañas hasta las tierras bajas, con impactos asociados en los medios de vida humanos, la economía y los ecosistemas. Con el ascenso de la temperatura del aire y el aumento del forzamiento radiativo, los glaciares se harán más pequeños y, en algunos casos, desaparecerán, el área de suelo congelado disminuirá, la proporción de nieve y lluvia disminuirá y el tiempo y la magnitud de los máximos y mínimos. el caudal cambiará. Estos cambios afectarán las tasas de erosión, el flujo de sedimentos y nutrientes, y la biogeoquímica de los ríos y lagos proglaciares, todos los cuales influyen en la calidad del agua, el hábitat acuático y las comunidades bióticas. Los cambios en la duración de la temporada de crecimiento permitirán que las plantas

y los animales de baja altitud amplíen sus áreas de distribución hacia arriba. Las fallas en las laderas debido al deshielo del permafrost alpino y las inundaciones repentinas de lagos represados por glaciares y morrenas amenazan a las poblaciones río abajo. Las sociedades incluso mucho más allá de las montañas requieren el agua del deshielo de los glaciares y la nieve para el suministro de agua potable, riego, minería, energía hidroeléctrica, agricultura y recreación.

Salas & Duarte (2018) Este documento muestra un análisis del comportamiento glaciar en el tiempo del nevado Ruíz. El objetivo del trabajo fue estimar la pérdida de glaciares mediante imágenes satelitales de los sensores TM, ETM y OLI, en los satélites Landsat 5, 7 y 8, para los años 1999, 2002, 2014 y 2016, se permite acercarse el comportamiento de la regresión glaciar durante un período de 17 años. Gracias al procesamiento digital de las imágenes, los promedios de las imágenes satelitales se clasifican utilizando el clasificador de distancia mínima y al realizar la homogeneización por radiación se generaron las imágenes para compararlas entre sí, se confirmó la calidad del clasificador con el coeficiente Kappa. A partir de la región de cuatro períodos, buscamos ajustar la tendencia de derretimiento en una regresión para poder conocer el año de pérdida total de hielo.

El glaciar Walker frente a la costa norte de la isla de Ellesmere en la meseta ártica canadiense (el borde de la tierra del 'último hielo') está experimentando una rápida erosión del hielo en respuesta al cambio climático. Usamos métodos culturales y moleculares para estudiar la diversidad de hongos al final de los glaciares. El análisis de la composición del microbioma reveló que los aislamientos del glaciar Walker se dividieron en dos grupos: la superficie del hielo y el primer plano del glaciar. Los sedimentos de primer plano expuestos recientemente tienen menos diversidad de hongos y difieren de los sedimentos glaciares, con la excepción de cinco especies que se encuentran en ambos hábitats. Como resultado, la pérdida de la capa de hielo de los glaciares del Ártico ha provocado la pérdida del hábitat de los hongos que viven en el frío. La diversidad fúngica es un recurso biológico potencialmente rico en ecosistemas glaciares con taxones únicos. La rápida pérdida de hábitats glaciares destaca la necesidad urgente de estudios genómicos de la diversidad de hongos en las tierras altas del Ártico y la necesidad de un mayor

aislamiento de cepas y criopreservación de muestras de microorganismos en el medio ambiente para futuras investigaciones y conservación (Tsuji, 2022).

Este proyecto de nivel se enfoca en estudiar el análisis multitemporal de imágenes satelitales, del comportamiento del retroceso del hielo del nevado Mururata, entre los años 1988 y 2018, ubicado en la región de La Paz, entre las provincias de Murillo y Sud Yungas, las ciudades autónomas de Palca, Yanacachi e Irupana, que forman parte de la Cordillera Real Boliviana. El rápido cambio climático se ha presentado en nuestro planeta, permitiéndonos observar lo que está ocurriendo en los nevados de nuestro país, en el caso del nevado Mururata, forma uno de los nevados más importantes de la montaña de la provincia de La Paz, con el presente estudio, mediante los procesos de teledetección, permite monitorear el manto de nieve en los años 1988, 1993, 1998, 2003, 2008, 2014 y 2018, y predecir su comportamiento durante treinta años consecutivos. años por interpolación matemática (2048). Así, se obtuvieron imágenes satelitales Landsat 5 TM y Landsat 8 OLI y se utilizaron técnicas y métodos de teledetección, como NDSI (Normal Snow Difference Index) y clasificación no supervisada, estas herramientas muy útiles para recopilar información sobre la cubierta de hielo. En este sentido, los resultados del análisis multitemporal del Nevado Mururata sugieren que si hay un retroceso de hielo desde 1988 hasta 2018 en su cubierta de hielo de 41%, siguiendo la tendencia glaciar del Nevado Mururata, hasta todo el año en 2048, tendrá sólo el 17,6% de su cubierta de hielo, y para 2061 tendrá una pérdida total de hielo (Quisbert 2019).

Díaz & Bejarano (2017) su tesis trata de analizar el comportamiento glaciar del volcán nevado Cotopaxi, para determinar la pérdida del hielo a partir de imágenes satelitales Landsat 5 y Landsat 7 ETM, conseguidas para los siguientes años 1998, 2007 y 2016; arriba para que se pueda realizar un análisis del comportamiento del deshielo glaciar por un total de 18 años y parcialmente por un período de 9 años. Esto causado por el aumento de temperatura que se ha producido en nuestro planeta. Estos cambios han sido demostrados a través de estudios y aplicaciones de sensores remotos y utilizando imágenes satelitales, señalando el área de fusión de los glaciares en diferentes regiones del mundo. En base a esta investigación, quisimos determinar el comportamiento glaciar del volcán nevado Cotopaxi, utilizando software ArcGIS, y sus diversas funciones, para calcular la superficie de

hielo. De esta forma, no solo es posible obtener valores aproximados de la zona de pérdida de hielo de los volcanes nevados durante el período activo, sino que, en base a eso, se puede realizar una predicción de la pérdida de hielo. del volcán cubierto de nieve se espera que llegue a 2025.

Antecedentes Nacionales tenemos a Díaz et al. (2017) El objetivo del estudio fue un análisis multitemporal de 1975 a 2015, de los cambios en la capa de hielo en las cordilleras Allin Capac y Chichi Capac, Perú. “El área cubierta por glaciares se estimó utilizando un método de clasificación supervisada para imágenes Landsat 2 y un índice de diferencia de nieve normalizado para imágenes Landsat 5 y Landsat 8”. una fuerte disminución de la cubierta de hielo en las cadenas montañosas Allin Capac y Chichi. Capacidad Así, en 1975 el área cubierta por glaciares era de 52,3 km<sup>2</sup>, en 2015 disminuyó a 16,9 km<sup>2</sup>, perdiendo un total de 35,6 km<sup>2</sup>. En 1975, el 35% del área glaciar estaba por debajo de los 5000 m.s.n.m., en 2015 esto era solo el 9% del área total del glaciar. La mayor disminución fue evidente entre las últimas tres décadas del siglo 20, con una disminución menor en las dos primeras décadas del siglo 21. Se concluyó que, durante los últimos 40 años, la capa de hielo de los picos montañosos Allin Capac y Chichi La capa de nieve de Capac ha disminuido un 67%, lo que equivale a una disminución del 17% por década y una velocidad promedio de 0,89 km<sup>2</sup>/año.

Paucar (2018) Centrándose en el retroceso de los glaciares de la Reserva Nacional Ampere y su impacto en la agricultura en la comunidad de Huayllabamba, este estudio multitemporal de la evolución utiliza ArcGIS 10.3 como herramienta, con los glaciares y la producción agrícola como factores cambiantes. La investigación tuvo como objetivo evaluar el impacto del retroceso de los glaciares en la producción agrícola de la comunidad de Huayllabamba en el Monte Ampay y la región de Abancay”. La investigación se realiza como investigación básica o sustantiva, con una estructura longitudinal no empírica. Las observaciones y la encuesta de 18 preguntas se utilizaron para medir la conciencia y la producción agrícola en la comunidad de Huayllabamba. Usando imágenes Landsat 5, 7 y 8 registradas por la NASA, se recopilaron 10 imágenes Landsat entre 1991 y 2017, usando un proceso similar en geo informática, para identificar áreas agrícolas de una comunidad destinada a determinar el impacto del retroceso de los glaciares en la agricultura,

no Se utilizó estadística paramétrica para probar la hipótesis, RHO Pearson, ya que el alcance de la prueba fue causal. Se ha encontrado que el retroceso actual del Glaciar Ampay tiene impactos negativos y negativos en la agricultura en la comunidad de Huayllabamba. Palabras clave: retroceso glaciar, producción agrícola, impactos y Landsat.

(Gaita 2017) la idea fundamental de este estudio es mostrar y explicar el estado actual de la flora y fauna de la cuenca del río Lullan entre los sistemas de información geográfica y la teledetección; a partir de ahí se pueden conformar alternativas de solución para el manejo y operación integral ante el retroceso de cuencas. Así (así), la retirada del hielo se cuantificó a partir del análisis multitemporal de imágenes durante un período de 27 años; De esta forma, los mapas cubren los siguientes años: 14, 2001, 2009 y 2014. De igual manera, se estima la influencia de las variables climáticas (precipitación y temperatura); variables físicas (hidrología, geología, geomorfología, geografía y mayor uso del suelo y topografía); variables biológicas (hábitats y cobertura vegetal); y variables demográficas (área poblada e infraestructura) del área de estudio. Esto permitirá el desarrollo de un modelo de riesgo para identificar áreas y poblaciones propensas a deslizamientos de tierra.

Antecedente Local tenemos a Follanos & Sarmientos (2020) En esta investigación se tuvo como idea principal identificar el retroceso glaciar en las montañas de Verónica y Salkantay entre los años 1990-2020 a través del análisis multitemporal del Cusco. El estudio de caso utiliza métodos de investigación no empíricos, descriptivos, longitudinales y comparativos. Asimismo, toda el área de hielo incluyendo los nevados de La Verónica y Salkantay. “Se utilizaron imágenes satelitales del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) de 1990, 1997, 2004, 2011 y 2020” para elaborar mapas temáticos mediante el software ArcGIS 10.6”. Concluye que los nevados representan un deshielo significativo de los hielos altos en un periodo de 30 años (1990-2020), donde se puede verificar que se han perdido 1691,65 hectáreas (16,9165 km) de superficie de hielo por la nieve. cumbres coronadas del Salkantay. montañas y 1851,47 ha en el pico nevado Verónica (18,5147 km<sup>2</sup>), por lo que la variabilidad de las dos montañas nevadas es grande, con cambios climáticos frecuentes en los últimos años, se espera que el

retiro del hielo continúe siendo exponencial, lo que tendrá muchos efectos negativos consecuencias para todos los habitantes de las cuencas de estos nevados.

Según el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC 2001), un glaciar es cualquier cuerpo de agua en estado sólido natural, con una duración mínima de diez años, con potencial para la nieve y la nieve superficial estacional., con o sin escombros de rocas superficiales o compuestas y que muestren evidencia de flujos actuales o pasados, independientemente de su tamaño, geometría y ubicación.

Según (Ryu y Hong 2020), la nieve es un componente esencial del ciclo del agua y representa una parte significativa de la precipitación total en las regiones de alta montaña. Desempeña un papel importante en la alimentación de los glaciares. Y reducir la absorción de los glaciares de la radiación solar debido a su alta reflectividad.

Silverio y Jacquet (2005), identifican la importancia del mapeo de zonas glaciares multitemporales para identificar con precisión las reservas de agua dulce, además de proporcionar un indicador del cambio climático.

Según Zhang et al. (2021) La cubierta de hielo y los glaciares se pueden monitorear utilizando imágenes satelitales de lentes múltiples, lo que proporciona un enfoque práctico para monitorear la diversidad de glaciares y nieve en las cadenas montañosas. Se han aplicado varias escalas de banda para el mapeo de la capa de hielo y el mapeo de la extensión de los glaciares, como el infrarrojo cercano (NIR)/infrarrojo de onda corta (SWIR) y el mapeo de la cubierta de nieve roja/SWIR capturados desde principios de 1989 con los primeros experimentos con varios escáneres. MSS) imágenes satelitales, para el uso reciente de datos MODIS diarios para obtener series temporales de la capa de nieve.

Google Earth Engine (GEE) es una plataforma que proporciona una amplia gama de productos y datos satelitales, y permite a los usuarios visualizar y analizar datos a través de un sistema basado en la web (Gorelick et al. 2017). “La plataforma es una interfaz de sistematización de aplicaciones que utiliza un grupo de scripts y funciones de Java para procesar y analizar los datos presentados al usuario”.

GEE es una poderosa herramienta para el procesamiento y análisis geoespacial, no solo porque es computacionalmente eficiente, sino también por la creciente disponibilidad de muchos recursos de código abierto y conjuntos de datos geoespaciales. Se ha utilizado ampliamente para mapear glaciares y cuerpos de agua y para detectar incendios forestales, entre otras aplicaciones. Para explorar la relación entre la capa de nieve y los cambios en el área glacial, realizamos este estudio utilizando Google Earth Engine.

Una forma de medir la capa de hielo es usar el Índice de Nieve Diferencial Natural (NDSI).

El algoritmo de umbral NDSI es capaz de distinguir efectivamente nieve y hielo de otras características de la superficie, incluida la discriminación de nieve y glaciares de nubes y sombras.

La nieve y el hielo tienen una alta reflectividad en los rangos visibles y una baja reflectividad en el infrarrojo cercano, razón por la cual los umbrales NDSI se usan ampliamente para el mapeo de la capa de nieve. Como Mishra et al. (Zhang et al. 2021) evaluó el rango de valores NDSI para la nieve del Himalaya y descubrió que el NDSI puede variar entre 0,04 y 0,92 con el aumento de la capa de nieve. Se sugirió que un umbral de 0,35 NDSI es el umbral óptimo que se utilizará en la meseta tibetana en función de las mediciones diarias de la profundidad de la nieve durante el período 2003-2013. Para los metaanálisis, siempre se recomienda un umbral NDSI de 0,4, según lo informado por Riggs et al. (Riggs, Hall y Román 2017). En este estudio, también utilizamos un límite estándar para un NDSI de 0,4.

#### Caracterización de la cobertura Glaciar

El glaciar se subdivide en dos regiones primordiales a lo largo de su perfil altimétrico (Rivera et al. 2012); “Áreas de depósito” (aumento neto de volumen después de un año hidrológico) y “zonas de degradación”. El inicial de estas líneas crece desde las fuentes hasta la línea de equilibrio vertical, llamada ELA (en inglés, término para la altura del equilibrio de Línea) o la línea de equilibrio, que representa los puntos del río. El hielo tiene una masa de equilibrio "cero" debido a la acumulación y la ablación de equilibrio. El área de resección se desarrolla a partir de esta línea aislada hacia delante o hacia el final. Según (Cuffey y Paterson 2010), en los

glaciares templados (donde no hay una capa de hielo), la ELA suele encontrarse cerca de la línea de hielo a fines del verano. En los glaciares ocurre una acumulación interna que es imperceptible, la ELA corresponde a la línea de nieve media anual. Calcular los niveles de ELA en el campo es el método más exacto y preciso, pero es un trabajo tedioso y no siempre es factible en los grandes glaciares. Por esta razón, es útil utilizar imágenes satelitales existentes (por ejemplo, imágenes aéreas, Landsat ETM, SAR, etc.) La relación entre la superficie de acreción y la superficie total del glaciar, conocida como AAR (Área Accrual Ratio), es otro parámetro significativo a considerar para describir el balance de masa de un glaciar. La ganancia (acumulación) o pérdida (ablación) de masa se produce tanto en la superficie como en los niveles interno y basal. Sin embargo, los procesos dentro y debajo del hielo tienden a pasarse por alto.

Región de Nieve Seca: No se derrite la nieve en esta área, incluso en verano. La línea de hielo seco marca el fin entre una zona y otra.

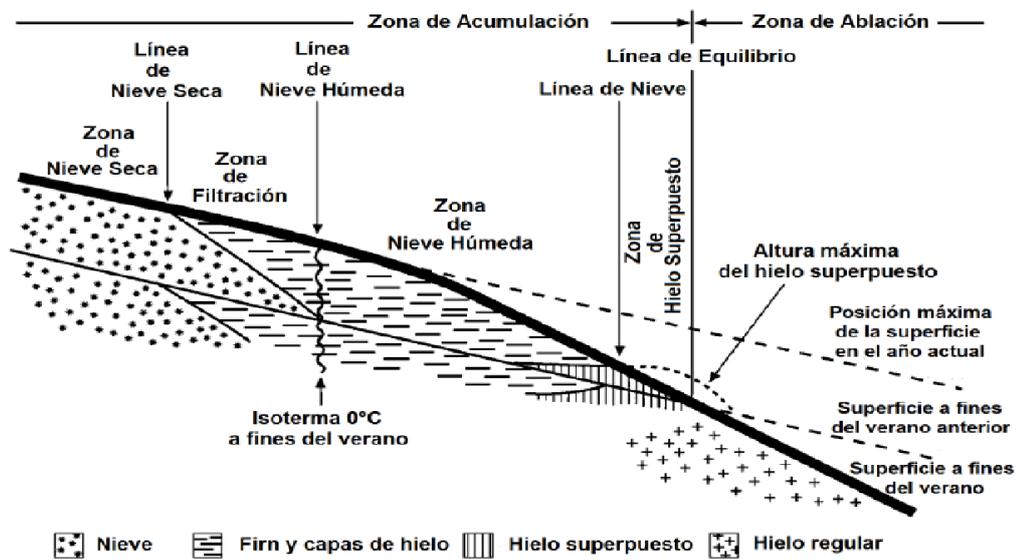
Zona de aislamiento: Zona en donde se derrite un poco de nieve en la superficie.

(Cuffey y Paterson 2010) menciona que esta agua puede filtrar la nieve hasta una cierta altura a temperaturas inferiores a 0°C, donde retorna a congelarse. Si el agua está en una capa impenetrable, el agua puede esparcirse horizontalmente. Cuando se vuelve a congelar, se forma una capa de hielo o una lente helada. Cuando llega el verano, el punto de fusión alcanza las capas más profundas de hielo. El agua de deshielo incrementa en verano con la disminución de la altitud. De esta forma, en el fondo del glaciar se llegaría eventualmente a un punto en el que a finales del verano toda la nieve que se había ido depositando desde finales del verano pasado había alcanzado la temperatura de fusión. En este sitio, la línea de nieve húmeda aleja el área húmeda del área de nieve húmeda. Región de nieve húmeda: en esta región, al final del verano, toda la nieve estacional se ha derretido. Esta agua derretida penetra más profundamente en el glaciar o fluye hacia abajo del glaciar, donde puede congelarse como hielo en la parte superior. Zonas de hielo apilado: En regiones de nieve discretas y húmedas, el material consiste en casquetes, lentes y glándulas de hielo separados por capas y masas de nieve y solidificada (nieve vieja o hielo congelado). Sin embargo, en elevaciones más bajas, se produce tanto derretimiento que las capas de hielo se fusionan en una masa perenne, conocida

como capa de hielo. La glaciación superior se limita al área en la que se produce un aumento anual de la glaciación superior en la superficie. El límite entre las áreas de nieve húmeda y la capa superior de hielo se llama línea de nieve. El límite inferior de la barra superior se le denomina la línea de equilibrio.

Área de resección: Es el área que se encuentra por debajo de la línea de equilibrio, ya que esta zona de la superficies de los glaciares, comienza a descender cada fin del año, por ende en esta zona se pueden distinguir laminas glaciares.

Figura 1: Zonas de un glaciar



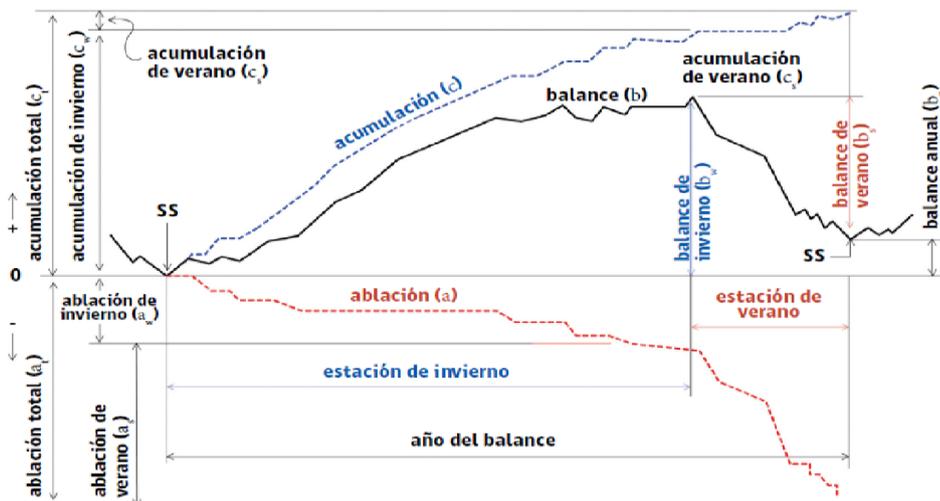
Fuente: (Cuffey y Paterson 2010)

El balance de masa del glaciar fue determinado por la adición algebraica de las cantidades de depósito y ablación (Fig. 2). Si es positivo, aumenta el tamaño del glaciar; Si es negativo, su magnitud reduce como describen (Cuffey y Paterson 2010). Por su parte, Franco y Boyd (Francou y Pouyaud 2015) argumentan que el equilibrio de masas representa cuánta agua es igual a lo que gana o pierde un glaciar en un momento dado. La entrada principal en la ecuación del balance de masa es la precipitación en forma de nieve. Esta entrada en el sistema es a su vez una función de las condiciones climáticas. La alteración de los regímenes de temperatura y precipitación conducirá a cambios significativos en estas inserciones, lo que dará como resultado cambios en los patrones de acumulación de ablación superficial en el hielo. En otras palabras, (Gurgiser et al. 2013) el modelo de

balance de masa de los glaciares se puede fraccionar en un modelo de acumulación y fusión. Uno y otro piden datos de entrada precisos sobre el clima (como la precipitación y la temperatura).

Una desventaja de implementar escalas masivas son los costos logísticos, humanos y financieros de las mediciones directas de acumulación y destrucción de hielo en una red de señalización dispuesta en el glaciar. Otro ejemplo es calcular las curvas de equilibrio que requieren expediciones de mucha mano de obra y una importante financiación del trabajo de campo, por lo que la recopilación de información sobre el equilibrio de masas se limita a algunos glaciares. Para amortiguar este tipo de estudios hoy en día se están modelando los balances de masa de un gran número de glaciares, utilizando varios métodos indirectos, como los métodos geodésicos. Esto se basa en comparar la topografía de la superficie del hielo en diferentes períodos de tiempo con una superficie sin cambios; Facilita la estimación del balance de masa de todo el glaciar (Rivera et al. 2012). De hecho, la teledetección se posiciona como una herramienta útil para el análisis en tales casos.

Figura 2 *Condiciones de equilibrio de masas en un año de equilibrio y variación estacional de un glaciar medio o moderado*



Fuente: Adaptado de Wilson et al. (Wilson, Carrión y Rivera 2017)

## La cobertura de nieve desde el espacio y Geomática

Para Gómez (2010), la nieve es una colección de partículas de hielo y el aire, cuando está próximo de su punto de fusión en relación con su nivel de presión. La nieve puede contener partículas químicas, impurezas, polvo, carbono, polen y otras materias vegetales, así como trazas de algunos aniones y cationes. Por lo tanto, las propiedades ópticas de la nieve dependen del tamaño y la forma de las partículas de hielo, las impurezas líquidas en el agua y las impurezas sólidas y disueltas (Gómez 2010). Por otro lado, el rango de detección de la capa de nieve parte de su respuesta espectral, ya que su conducta muestra alta reflectividad en los rangos visibles, y decrece al aumentar la longitud de onda. Sin embargo, el tamaño de la reflexión se rige por factores como el tamaño de las partículas, la profundidad, la densidad y la cantidad de impurezas, como se detalla en (Ariza 2006).

En cuanto a la teledetección da ventajas en recabar información dada por los satélites, el concepto de precisión debe definirse como la capacidad de distinguir información detallada en una imagen. En el cual existe cuatro tipos de resolución: “espacial, espectral, radiativa y temporal”:

**Resolución espacial:** Hace referencia a la unidad de información más pequeña que puede recopilar un sensor. El tamaño del píxel en la superficie se considera la enumeración. **Resolución espectral:** se refiere al número de bandas contenidas en un elemento o sensor e incluye la banda espectral que cubre cada elemento. **Precisión radiométrica:** Se refiere a la sensibilidad del sensor para distinguir las diferencias de iluminación espectral que cubre cada sensor. **Precisión de tiempo:** corresponde a la frecuencia de cobertura proporcionada por el sensor.

Para que se realicen estudios multitemporal con tecnología de teledetección, el sistema del sensor debe proporcionar una cobertura periódica, en el mismo rango espectral, y con similares condiciones de visualización similares (altitud, tiempo, ángulo de adquisición). Normalmente estos requisitos los cumplen la mayor parte de los satélites de recursos naturales.

Este tipo de análisis de cambio de cobertura proporciona información importante para la planificación, la gestión del territorio, la evaluación del impacto ambiental en determinadas zonas, entre otras cosas.

La mayor parte de comparaciones multitemporales entre imágenes se realizan comparando píxeles por píxeles con los ND de las diferentes fechas. Por lo tanto, debe anticiparse los cambios en la escena tanto como sea posible del ND que no produjeron cambios reales en la cobertura. Esto implica asegurarse de estar en la misma área para ambas fechas y que la variable que está comparando se refiera a la misma escala.

## **Teledetección**

### **Definición de teledetección**

La teledetección es una técnica para conseguir información sobre un objeto, área terrestre, fenómeno o proceso ecosistémico adquirido por un dispositivo sin que esta esté en contacto con el objeto (Lillesand, Kiefer y Chipman 2015).

### **Componentes de un sistema de teledetección**

El sistema de teledetección se define de la siguiente manera (Thapa 2020).

- Fuente de energía: Sol, irradiancia de los materiales de la tierra que se utiliza en teledetección pasiva; RADAR, irradiancia generada artificialmente fuentes de energía, que se utiliza en la teledetección activa.
- Plataformas: El vehículo que lleva un sensor, es decir, globo, avión, transbordador espacial, satélite, estación espacial internacional, etc.
- Sensores: Dispositivo que recibe radiación electromagnética y la convierte en una señal que puede ser registrada y mostrada como numérica datos o una imagen (cámara, escáner, radar, etc.).
- Procesamiento: Manejo de datos de señal teledetectados, es decir, fotográficos, digital, etc.
- Institucionalización: Organización para la ejecución en todas las etapas tecnología de teledetección para conectar el espacio con la aldea.

### **Tipos de sensores**

Estos sensores se clasifican en base a (Bravo 2017).

- Sensores pasivos: son aquellas que reciben señales emitidas por los objetos de detección y las reflejan de forma natural. Estas señales son generadas por la radiación solar natural, pueden proporcionar información viable sobre los objetos detectados. Como ejemplo se tiene a:
  - ASTER
  - LandSat

- MODIS
- SENTINEL
- Sensores activos: el sensor emite a los objetos de estudio una radiación en el cual estos reflejan información del objeto detectado y estos son medidas por el sensor.  
Como ejemplo se tiene a:
  - Lidar
  - Radar
  - Sonar

### **Clasificación digital**

La clasificación numérica en teledetección se refiere a la asignación de píxeles a clases y clases diferentes según el valor de su ND (Número Digital), permitiendo su interpretación. El resultado de esta clasificación es una nueva imagen en la que cada uno de los píxeles originales se establece en un número específico de clase (Chuvieco 2019).

Los grados pueden representar diferentes tipos de cobertura en el área de estudio o intervalos del mismo tipo. Las categorías no se identifican con un único número, sino con una serie de números que suelen estar muy juntos. Las capas resultantes son regiones en un mapa o imagen que aparecen como un mosaico de celdas homogéneas, cada una distinguida por un color diferente para cada uno.

Por tanto, a la clasificación digital se le definirá por dos tipos de clasificación, los cuales son:

- Clasificación supervisada: un completo intérprete que guía la clasificación a través de la identificación de áreas de estudio previamente reconocidas en campo y que pertenecen a sus respectivas categorías, es decir, la clasificación supervisada incluye la asignación de capas de cobertura previas al conocimiento previo de Topografía.

Clasificación no supervisada: es identificar conjuntos de píxeles mediante el uso de información espectral del sensor de cada banda, este proceso lo realiza un clasificador en una serie de pasos y se pueden obtener tipos de clasificadores que varían según las instrucciones del intérprete.

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

El tipo de investigación caracterizado en el presente estudio se identifica como aplicada, es decir se centra en obtener hallazgos que puedan ser contrastados con el conocimiento científico en base a metodologías, procesos y tecnologías. Este tipo de investigaciones se caracterizan porque tienen la capacidad de ser materializados, es decir que sus resultados pueden servir para ser aplicados en la resolución de problemas, en el caso de la investigación, identificar la evolución del retroceso glaciar de acuerdo a un análisis multitemporal tiene por objetivo conocer, la degradación glaciar de forma estricta, lo cual permitirá diagnosticar la realidad, así como la proyección del tiempo de permanencia del mismo (CONCYTEC 2018).

En tanto al enfoque de la investigación, se caracteriza como cuantitativa debido a que necesariamente se tendrá que cuantificar la regresión glaciar y la proyección del tiempo de permanencia del mismo, por lo que se requiere usar métodos matemáticos para determinar la regresión y proyección. El enfoque cuantitativo se caracteriza porque se tiene que medir las variables a través de la representación en tablas y figuras de la misma (Hernández y Mendoza 2018).

En el presente estudio se van a describir las propiedades, predicciones y características del retroceso glaciar, y la estimación del mismo a través de su comportamiento mediante un análisis multitemporal.

El diseño de la investigación será no experimental longitudinal de tendencia, puesto que no se pueden modificar de ninguna forma las variables, es decir que el investigador no tiene capacidad para modificar las variables a su criterio, y se ajusta a poder ver su comportamiento y la proyección de estas en el tiempo. El diseño no experimental, comprende la no modificación de las variables, y se sujeta a observar y describir su comportamiento (Hernández y Mendoza 2018).

Finalmente, la investigación será longitudinal, es decir, este tipo de investigaciones se centran en poder medir el comportamiento de las variables no en un tiempo determinado, sino a lo largo del mismo, es decir observar la dinámica de comportamiento del nevado, en función a los periodos de 1985 a 2021 (Hernández y Mendoza 2018).

### **3.2. Variables y operacionalización**

**V.1:** Retroceso de cobertura glaciar

**V.2:** Permanencia de cobertura glaciar

#### **Operacionalización de variables**

##### **Definición Conceptual de Retroceso de cobertura glaciar**

Se considera al ascenso de la línea inferior de la consolidación de cobertura glaciar (nieve) que se encuentran en altas montañas, hasta desaparecer por completo en algunos casos por fusión glaciar o deshielo (Radoane, Dumitriu y Ichim 2020).

##### **Definición operacional de Retroceso de cobertura glaciar**

El retroceso de la cobertura glaciar se medirá a través de la tendencia de retroceso glaciar a partir del área y perímetro del mismo que se medirán a través del software ArcGIS en el campo de los “Sistemas de Información Geográfica”.

##### **Definición conceptual de Permanencia de cobertura glaciar**

Es la estimación del retroceso de la cobertura glaciar expresado como el tiempo máximo en el cual desaparecerá por completo la cobertura glaciar (Monterroso-Tobar, Londoño-Bonilla y Sansonov 2018).

##### **Definición operacional de Permanencia de cobertura glaciar**

La predicción de la cobertura glaciar se medirá a través del análisis multitemporal del 1985 al 2021, el cual a partir de la obtención de información geográfica se estimará el tiempo máximo en el cual desaparecerá por completo la cobertura glaciar del nevado Chicón.

La operacionalización de variables se encuentra en anexos.

### **3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis**

Menciona Aguilar & Paz (Aguilar y Paz 2019) es la totalidad del ámbito a estudiar, que tienen características similares que los permiten ser agrupados y por ende ser objeto de estudio, en el caso de la presente investigación está constituido por el nevado Chicón que se encuentra en la Provincia de Urubamba.

### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

La técnica de recolección de datos será la observación directa, es decir que a través de la percepción visual sobre las imágenes satelitales que se tomara en cuenta para la determinación de la regresión glaciaria, y poder probar las hipótesis planteadas en el estudio.

Para el presente estudio se realizará a partir de la captura de imágenes satelitales, lo cual mediante un análisis multitemporal se podrá identificar a variación del nevado, para lo cual se tendrá una ficha de observación, en el cual se podrán especificar datos precisos del cambio de la cobertura glaciaria del nevado Chicón. El instrumento utilizado se validó anteriormente, para una mejor obtención de información.

### **3.5. Procedimiento**

En tanto al procedimiento se hará uso de la teledetección por medio de la herramienta del GIS, el cual permita llevar a cabo el análisis multitemporal, aplicando un método semi automatizado, que sea capaz de identificar la dinámica temporal de la cobertura glaciaria con el mayor porcentaje de exactitud posible.

Así mismo se llevó a cabo el procesamiento por medio de ArcGis, en el cual se pudo identificar el área medida en metros cuadrados respecto, a la cobertura glaciaria por años, el cual de acuerdo a la data histórica permitió poder proyectar en años, el tiempo de permanencia del nevado Chicón.

Según Díaz (2017) menciona que para el estudio de nevados mediante imágenes satelitales se deben descargar imágenes en tiempos de estiaje (mayo, junio, julio y agosto) ya que en ese tiempo es donde el nevado se encuentra en un punto de equilibrio.

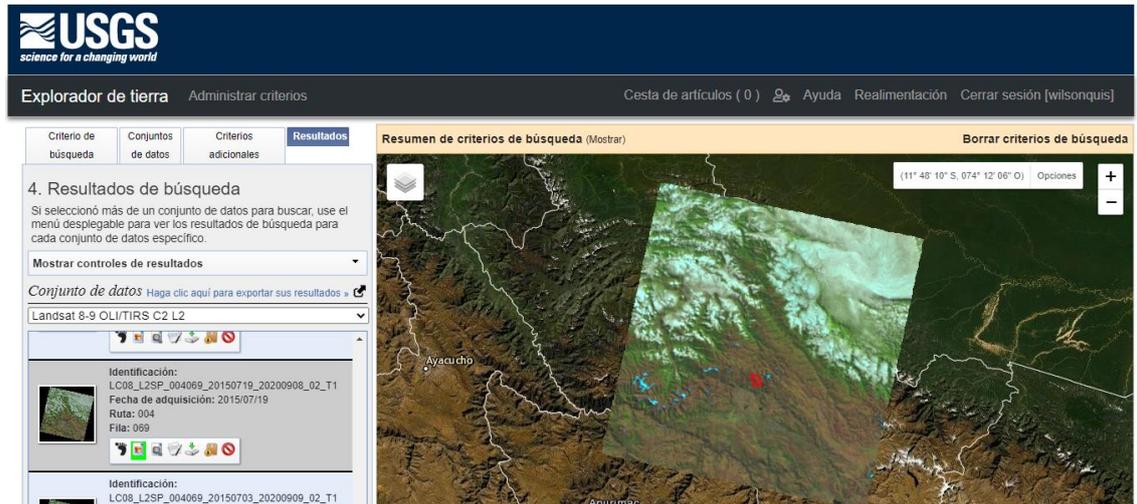
Descarga de imágenes satelitales.

Las imágenes satelitales fueron conseguidas de la base de datos del Servicio Geológico de los Estados Unidos o USGS por sus siglas en inglés (United States Geological Survey), <https://earthexplorer.usgs.gov/>

En el cual por las diferentes opciones que da dicha página en mención se comienza a delimitar el área estudiada; así mismo, la fecha específica y para ser más precisos se disminuye la cubierta de nube aun 50% ya que el área estudiada tiene que estar libre de nubes para un buen estudio del área.

Ya habiendo configurado se procede a identificar el satélite deseado según al inicio de orbita y del año de funcionamiento, ya que para el año 1985 se descargó del Landsat 4 y 5, año 2000 se descargó del Landsat 7 y año 2014 para adelante hasta 2021 Landsat 8.

*Figura 3 Pagina del Servicio Geológico de los Estados Unidos o USGS*

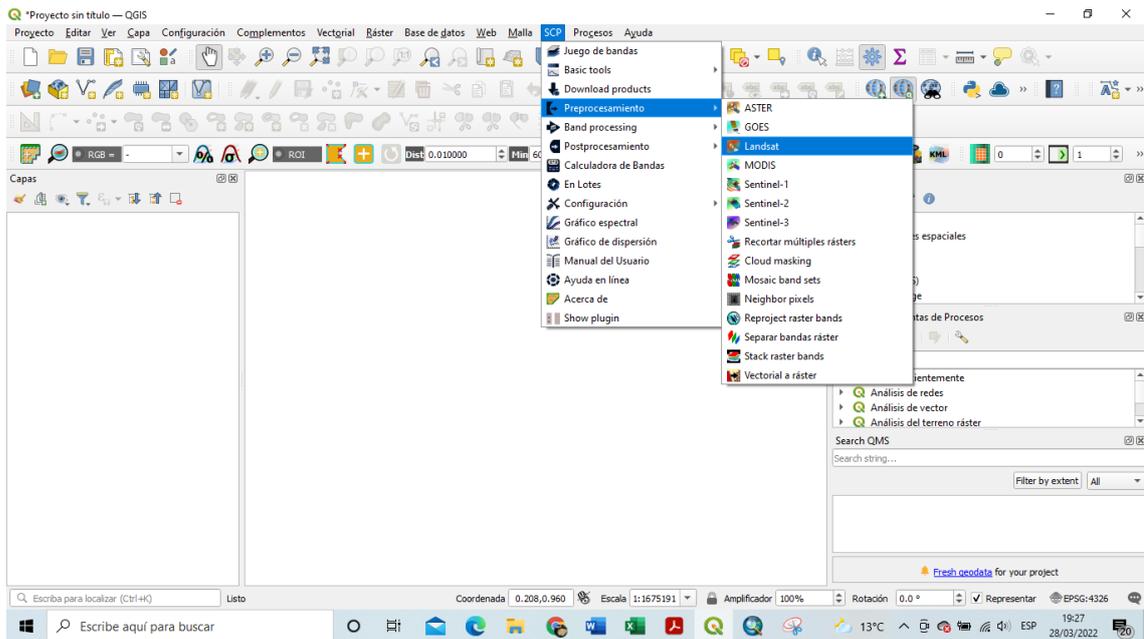


*Fuente: Elaboración propia*

Al haber descargado la imagen satelital de una fecha que corresponde a la zona estiaje se procede a realizar la corrección atmosférica esto para eliminar efectos de aerosoles de la imagen satelital en el cual esto se realizó con el método dos1 del Software Qgis para Landsat 5, Landsat 7 y Landsat 8 esto con la cuestión de que en el área de estudio no exista ningún tipo de interferencia para calcular el NDSI.

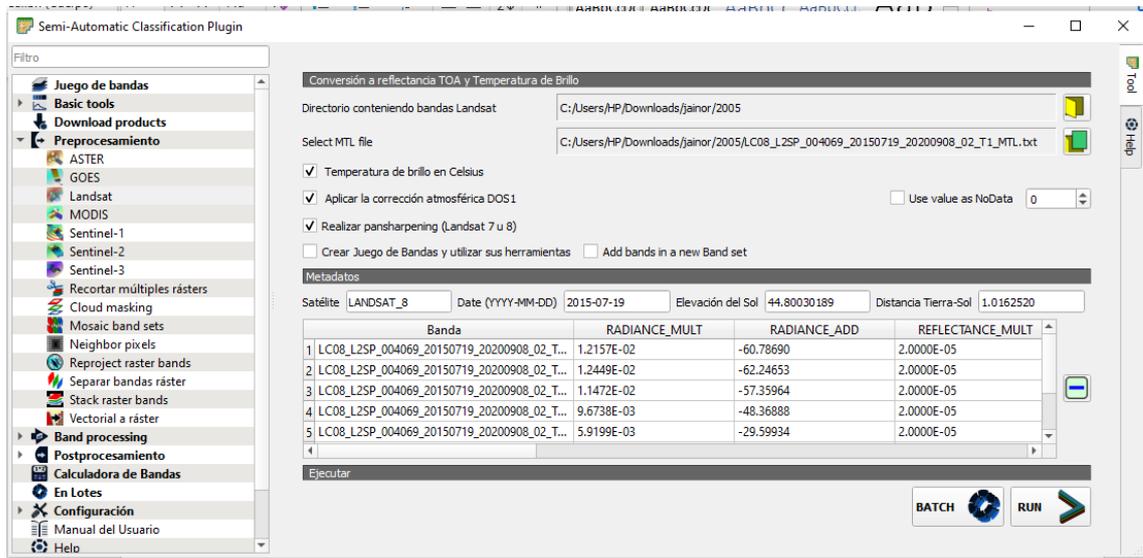
Puede encontrar una de las herramientas de corrección atmosférica de Landsat en las opciones del complemento QGIS SCP. Un completo plugin que, además de permitirte realizar correcciones atmosféricas de Landsat, también te ayuda a procesar los componentes RGB de sus bandas, realizar reclasificaciones supervisadas o descargar imágenes satelitales en vivo de la NASA y el USGS (Gis&Beers, 2016).

Figura 4 Automatic Classification plugin



Fuente: Elaboración propia

Figura 5 Corrección atmosférica



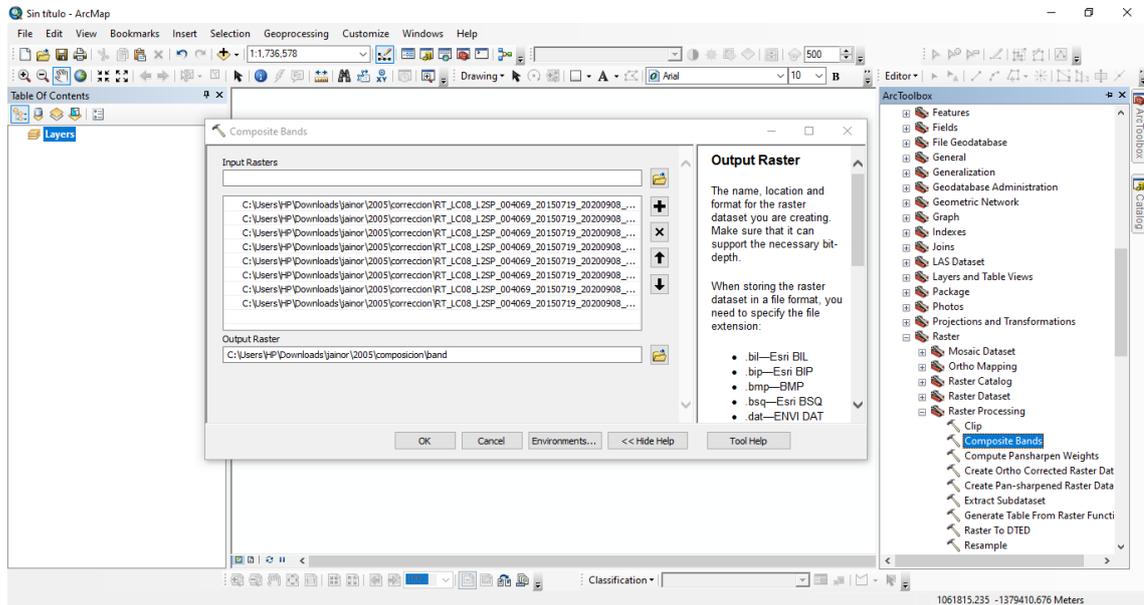
Fuente: elaboración propia

### Composición de bandas

Habiendo realizado la corrección atmosférica se procede a la composición de bandas, esto con la finalidad de poder combinar bandas y identificar el área de estudio de una manera apropiada; así mismo, para poder recortar las bandas del área de estudio.

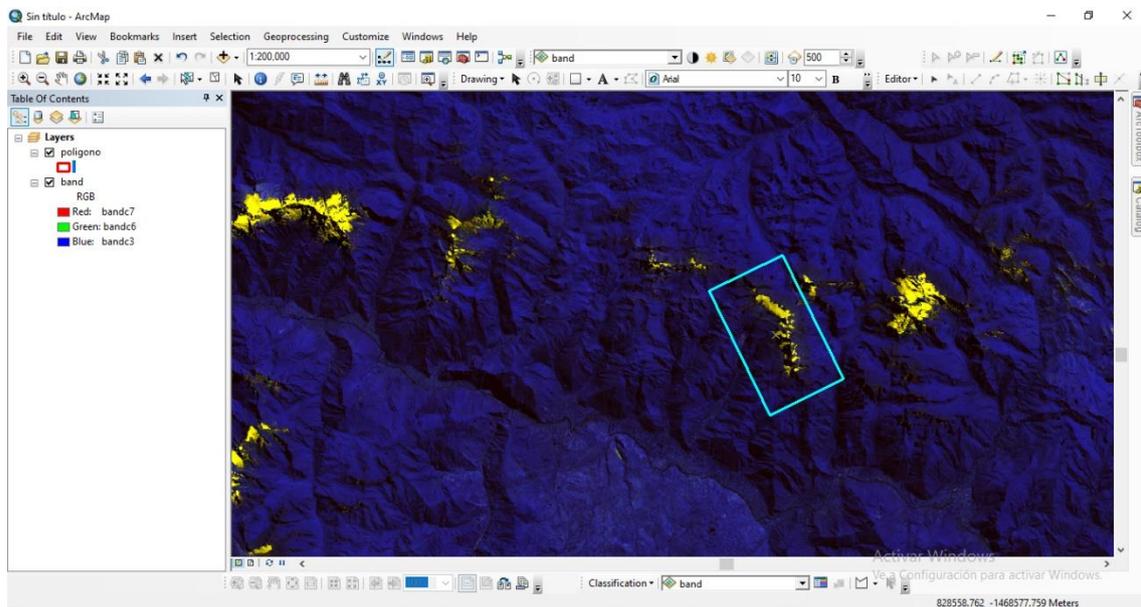
Procedimiento: Arc toolbox >> data management Tools >> Raster >> Raster processing >> Composite Bands.

Figura 6 Procedimiento para la composición de bandas



Fuente: Elaboración propia

Figura 7 Resultado de la composición de bandas y área delimitada



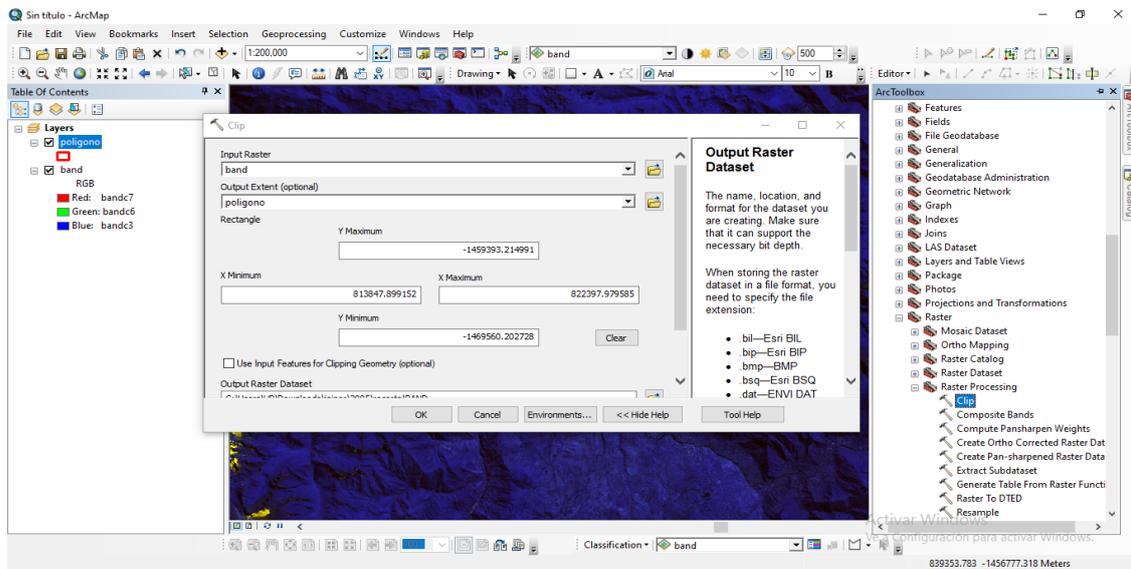
Fuente: Elaboración propia

## Recorte del área estudio

Teniendo la composición de bandas y haber delimitado con un polígono el área de estudio se procede a cortar las bandas con la función de excluir zonas no deseadas para el cálculo de NDSI esto con las siguientes herramientas.

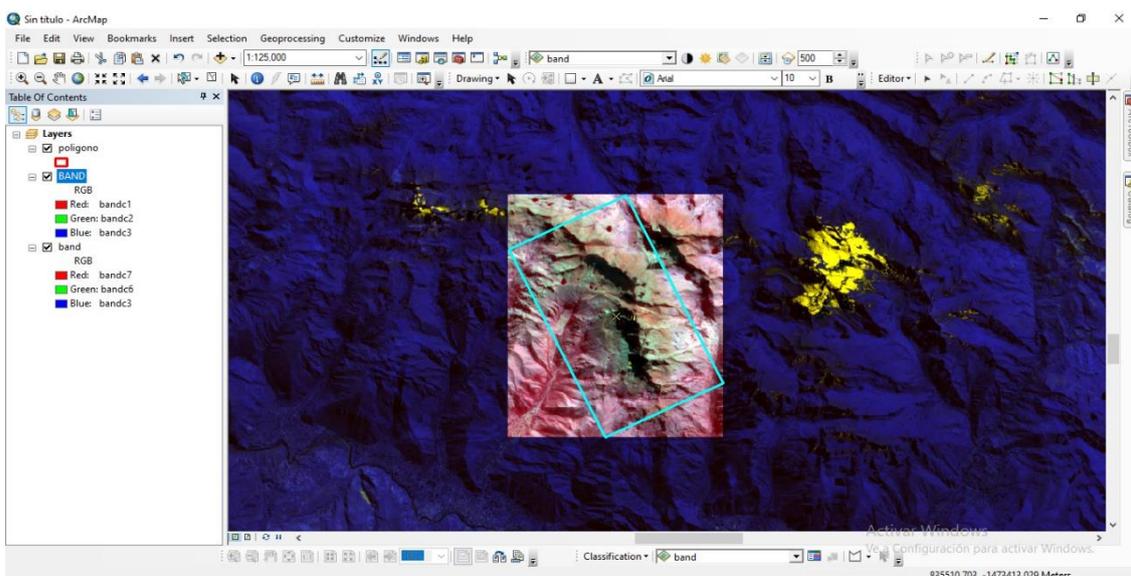
Procedimiento: Arctoolbox >> data management Tools >> Raster >> Raster processing>> Clip

Figura 8 Procedimiento para el recorte



Fuente: Elaboración propia

Figura 9 Resultado del recorte



Fuente: Elaboración propia

## Cálculo de NDSI (Normal Snow Difference Index)

Se utiliza la herramienta ráster calculator en el software ArcGIS para calcular el NDSI en donde se utilizará dos bandas (una en las partes del espectro visible y otras en el infrarrojo cercano o infrarrojo de onda corta).

Fórmula matemática del cálculo NDSI (Normal Snow Difference Index)

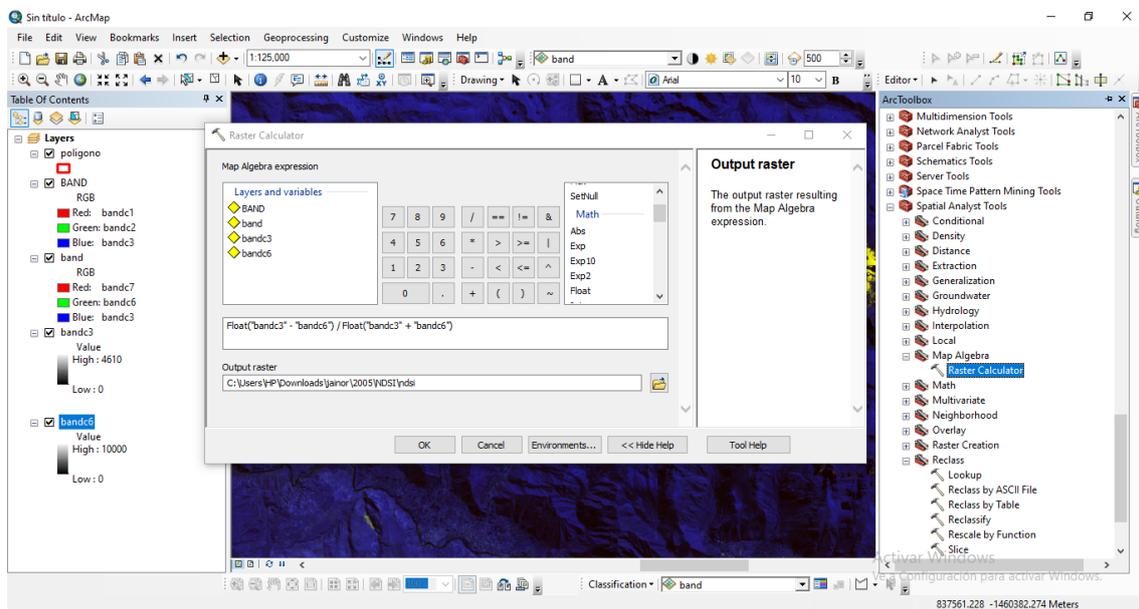
$$\text{NDSI}=\text{LANDSAT5} = (B2 - B5) / (B2 + B5)$$

$$\text{NDSI}=\text{LANDSAT7} = (B2 - B5) / (B2 + B5)$$

$$\text{NDSI}=\text{LANDSAT8} = (B3 - B6) / (B3 + B6)$$

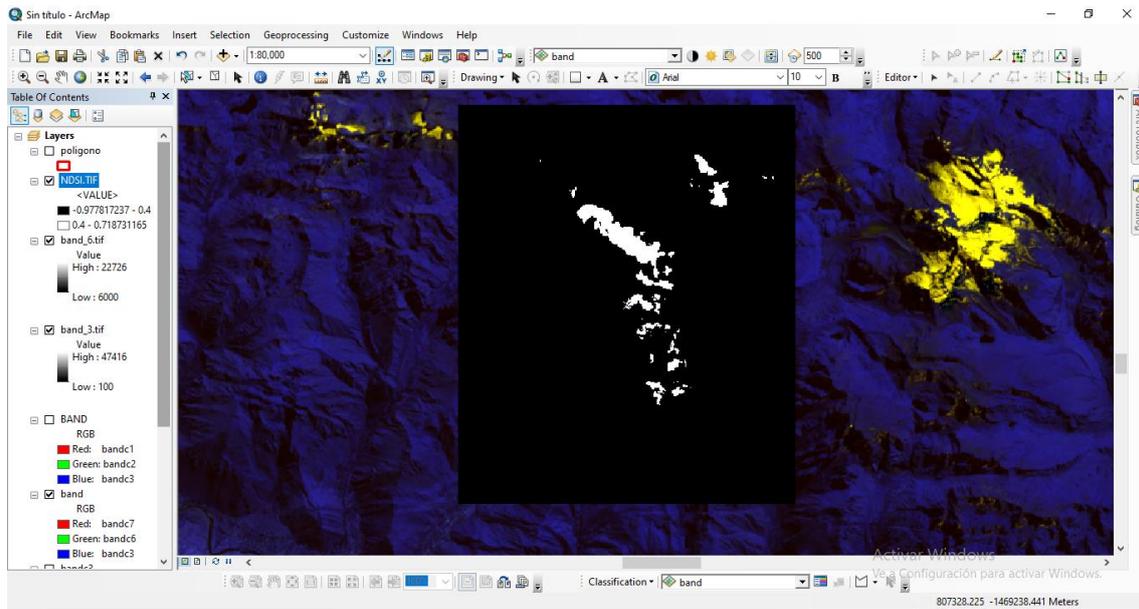
Procedimiento: Arctoolbox >> Spatial Analyst Tools >>Map Algebra >> Raster Calculator.

Figura 10 Procedimiento para calcular el NDSI



Fuente: Elaboración propia

Figura 11 Resultado del cálculo del NDSI



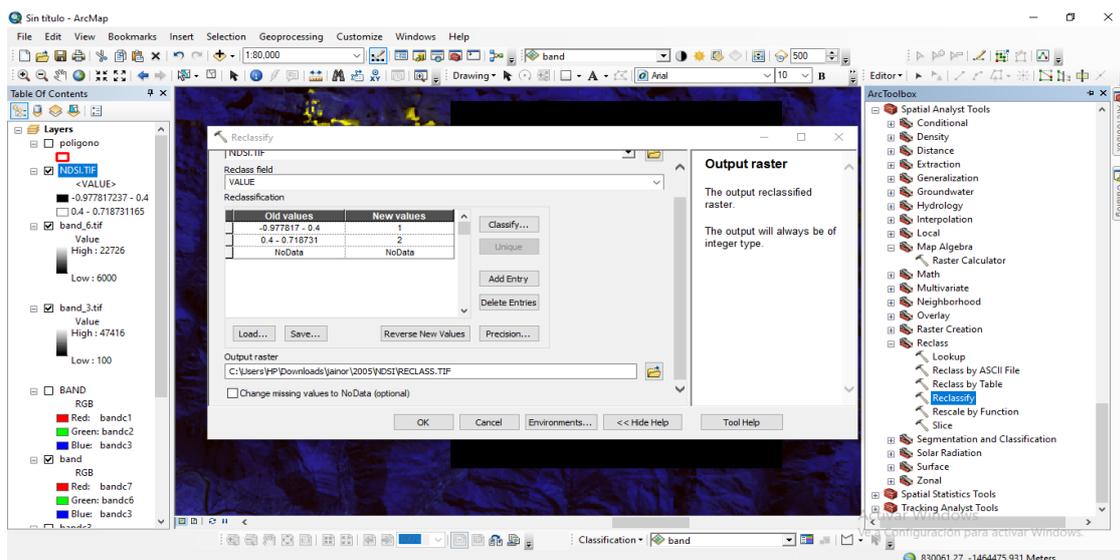
Fuente: Elaboración propia

### Reclasificación del ráster NDSI

Se comienza a reclasificar el NDSI esto solamente con 2 valores ya que a nosotros solo nos importa las zonas de nieve y roca en el cual utilizaremos el umbral de 0.4 que recomienda (Hall y Román 2017) para obtener el área del nevado Chicón.

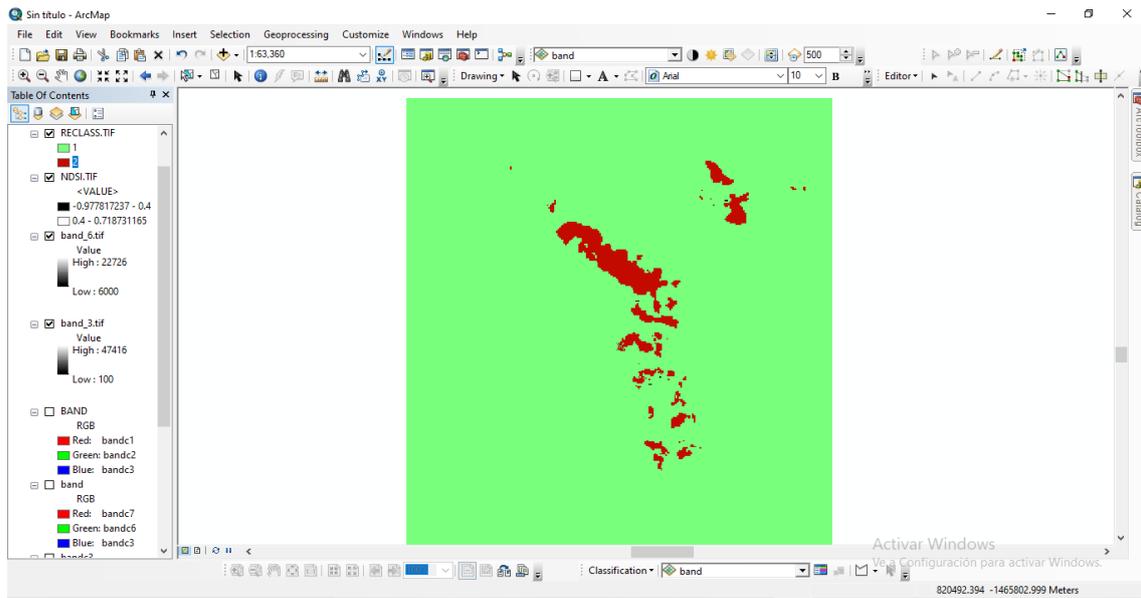
Procedimiento: Arctoolbox >> Spatial Analyst Tools >>Reclass >>Reclassify

Figura 12 Procedimiento del cálculo de NDSI



Fuente: Elaboración propia

Figura 13 Resultado de reclasificación



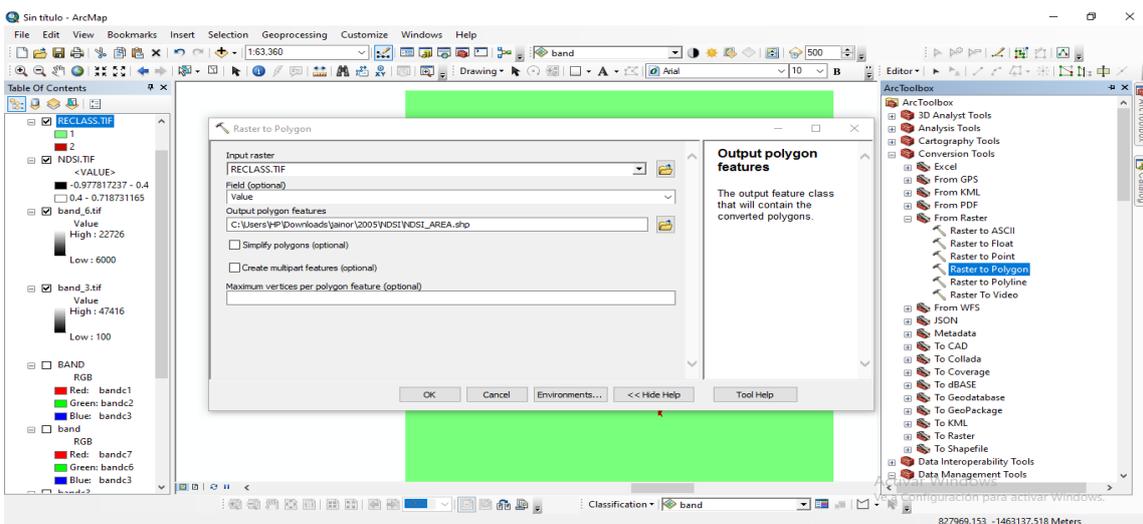
Fuente: Elaboración propia

## Conversión de Ráster a Polígono

Habiendo reclasificado se procede a convertir nuestro Ráster a polígono en otras palabras a polígonos, ya que al convertir a polígono podremos calcular el área y el perímetro en nuestra tabla de atributos.

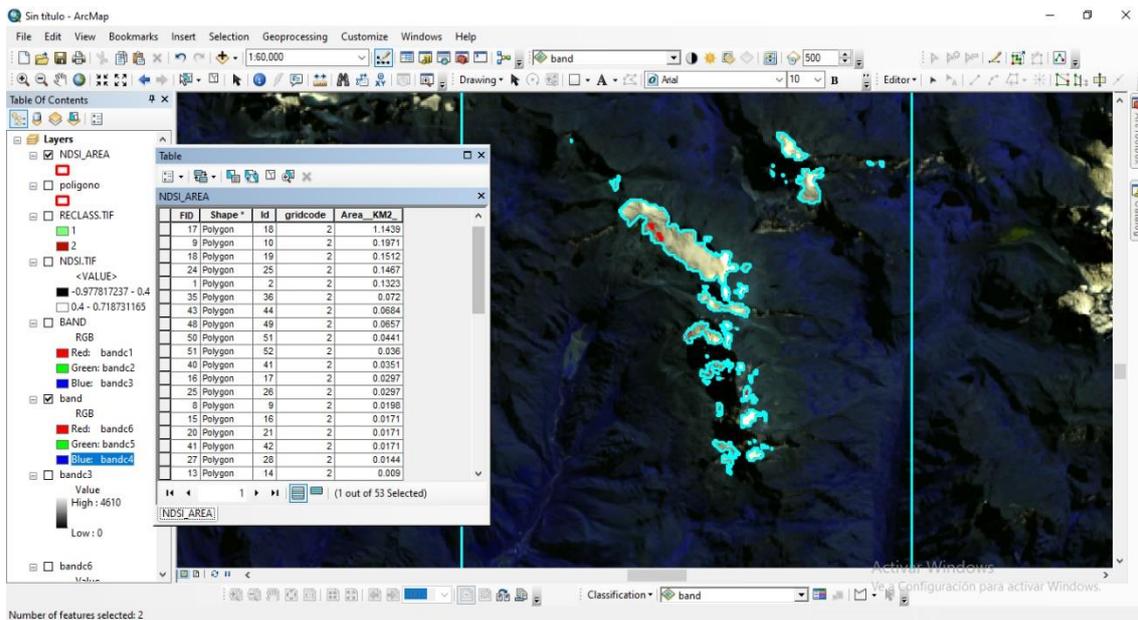
Procedimiento: Arctoolbox >> Conversion Tools >> From Raster >> Raster to Polygon

Figura 14 Procedimiento de la conversión de Ráster a polígono



Fuente: Elaboración propia

Figura 15 Resultado de la conversión de Ráster a Polígono



Fuente: Elaboración propia

### 3.6. Método de análisis de datos

La predicción de la cobertura glaciar se medirá a través del análisis multitemporal del 1985 al 2021, el cual a partir de la obtención de información geográfica se estimará el tiempo máximo en el cual desaparecerá por completo la cobertura glaciar del nevado Chicón. Cada versión de Landsat tiene varias bandas, Landsat 5 con sensor TM tiene 7 bandas, 3 bandas visibles, 3 bandas infrarrojas y 1 banda térmica, y a diferencia de sus predecesores, la resolución espacial es de 120 m y se utiliza para calcular la temperatura superficial. Landsat 8 es adquirido por sensores OLI y TIRS e incluye 11 Bandas espectrales donde están presentes las bandas 1 a 7 y la banda 9. La resolución espacial es de 30 metros, es importante señalar que la escala es 1. El llamado "azul costero" es útil para estudios costeros y de aerosoles. Se aplicó en este estudio, mientras que la banda 9 es apropiada para divisar nubes solares o nublado, las bandas de calor 10 y 11 son apropiadas para hallar la temperatura más precisa que la superficie y con una precisión de 100 metros, la condición.

### 3.7. Aspectos éticos

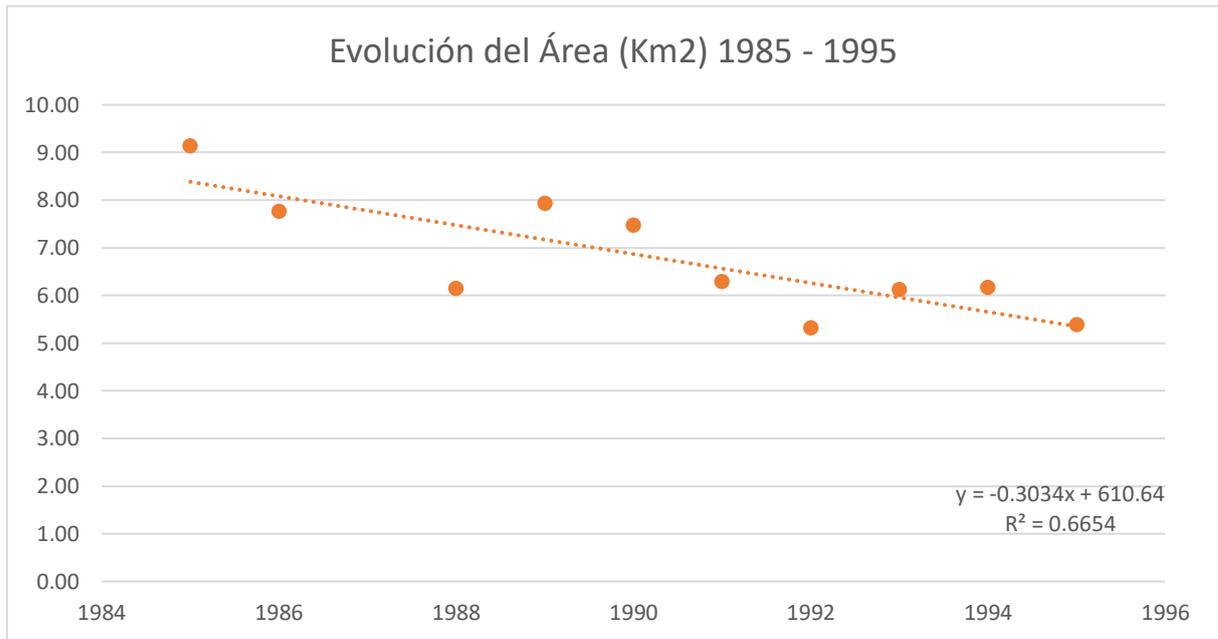
El estudio presente usará los principios éticos de investigación, en primera instancia se indicó que el objetivo del estudio es netamente académico y

ambiental, puesto que tratará de determinar el retroceso glaciar y su estimación de permanencia, la cual cumple con los principios de beneficencia y no maleficencia. Por otra parte, la investigación citará a todos los autores que se nombraran en la misma, otorgando los créditos por su aporte al conocimiento, estableciendo el principio de justicia.

#### IV. RESULTADOS

Los resultados se subdividirán a nivel descriptivo como inferencial, es decir primero el mostrará, la variabilidad de las áreas como perímetros por cada 10 años, y conjuntamente la tendencia en todos los años. Después se evidenciará,

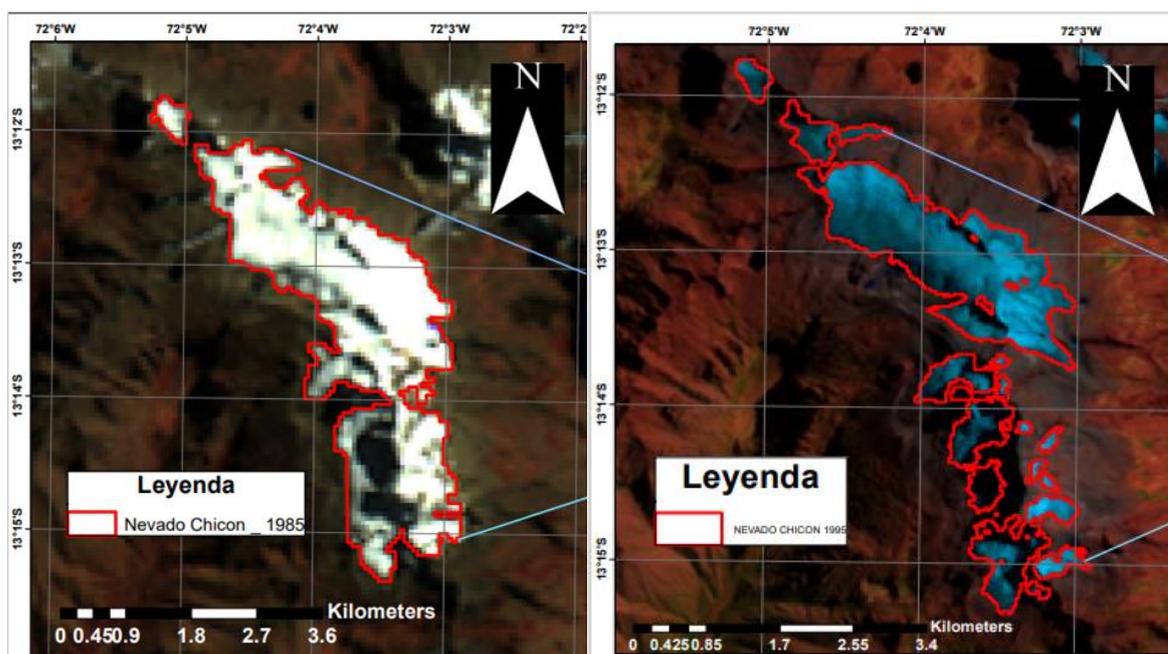
*Figura 16 Comportamiento del área en km<sup>2</sup> del glaciar del nevado Chicón de 1985 - 1995*



*Fuente: Elaboración propia*

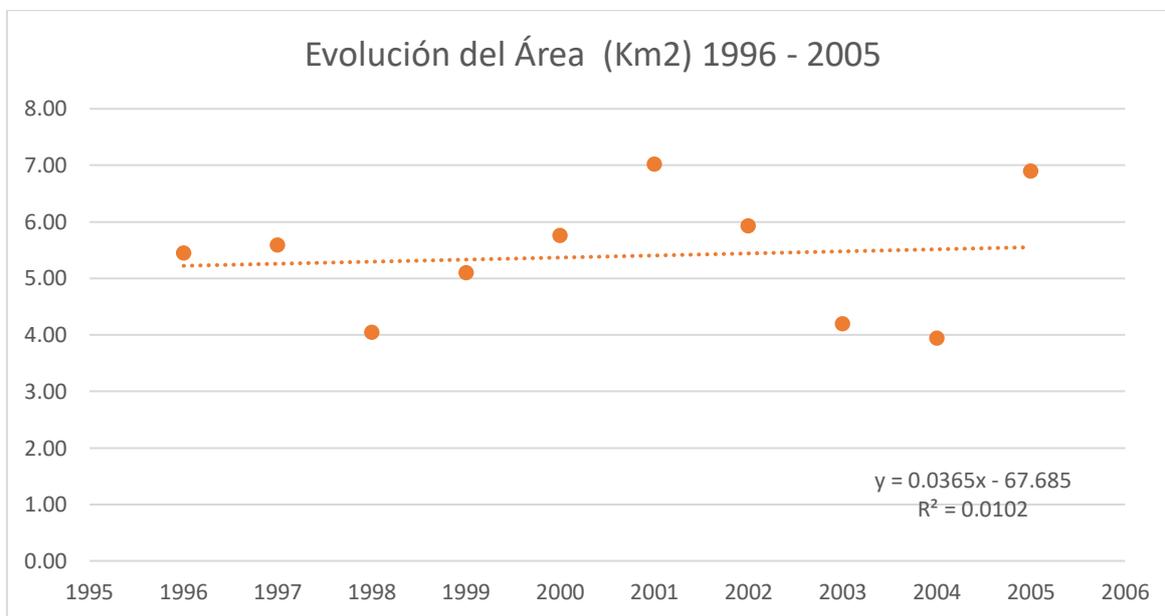
En la figura Nro. 16 se observa el comportamiento del área en km<sup>2</sup> del glaciar del nevado Chicón durante los años 1985 al 1995. Se evidencia una tendencia notable a la baja dentro de estos años, siendo el punto más bajo en el año 1992 con 5.32 km<sup>2</sup>, así mismo se observa una tendencia a bajar en el último periodo.

Figura 17 Comparación del 1985 – 1995



Fuente: Elaboración propia

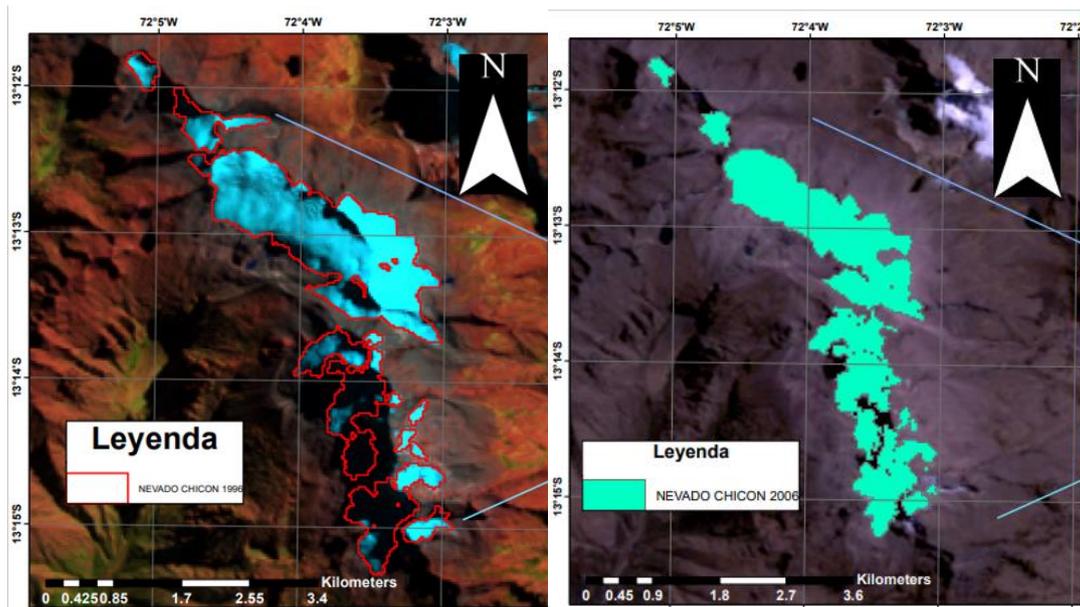
Figura 18 Comportamiento del área en km2 del glaciar del nevado Chicón durante los años 1996 al 2005



Fuente: Elaboración propia

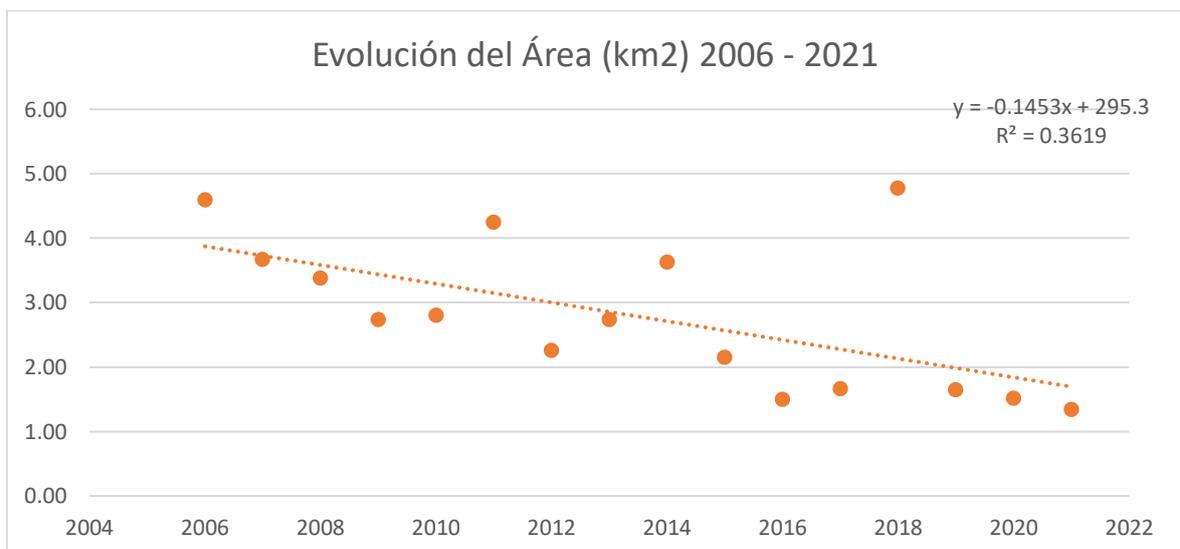
En la figura Nro. 18 se observa el comportamiento del área en km<sup>2</sup> del glaciar del nevado Chicón durante los años 1996 al 2005. Se evidencia una tendencia que se recupera y cae dentro de estos años, siendo el punto más bajo en el año 2004 con 3.94 km<sup>2</sup>, así mismo se observa una tendencia a subir en el último periodo.

Figura 19 Comparación del 1996 - 2006



Fuente: Elaboración propia

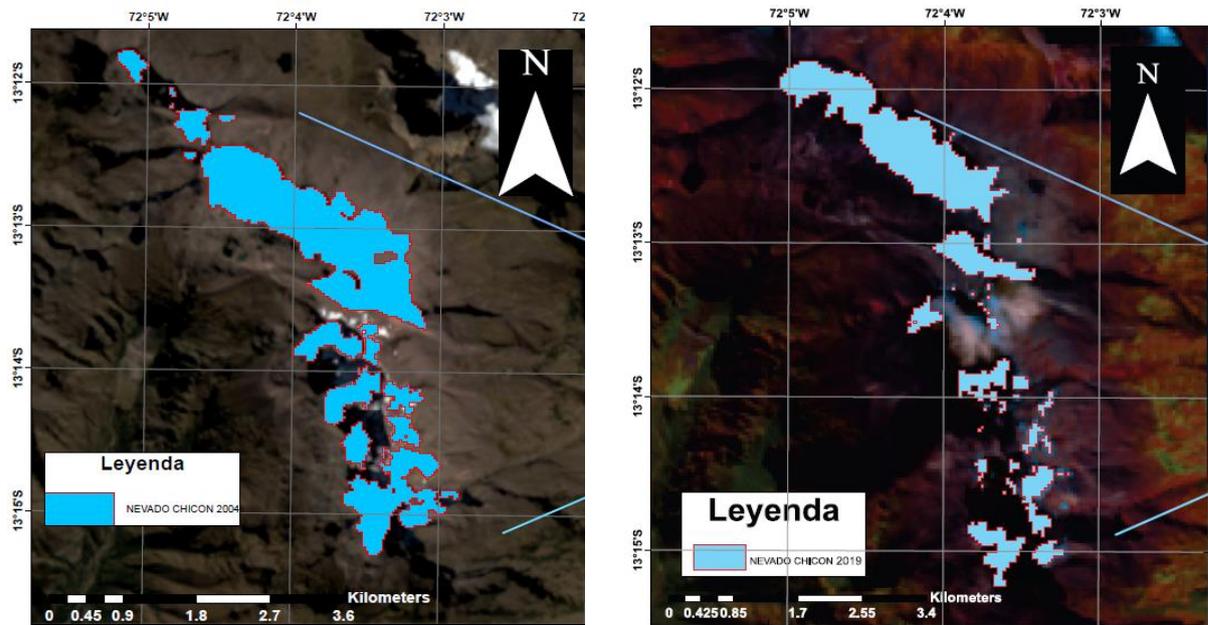
Figura 20 Comportamiento del área en km<sup>2</sup> del glaciar del nevado Chicón durante los años 2006 al 2021



Fuente: Elaboración propia

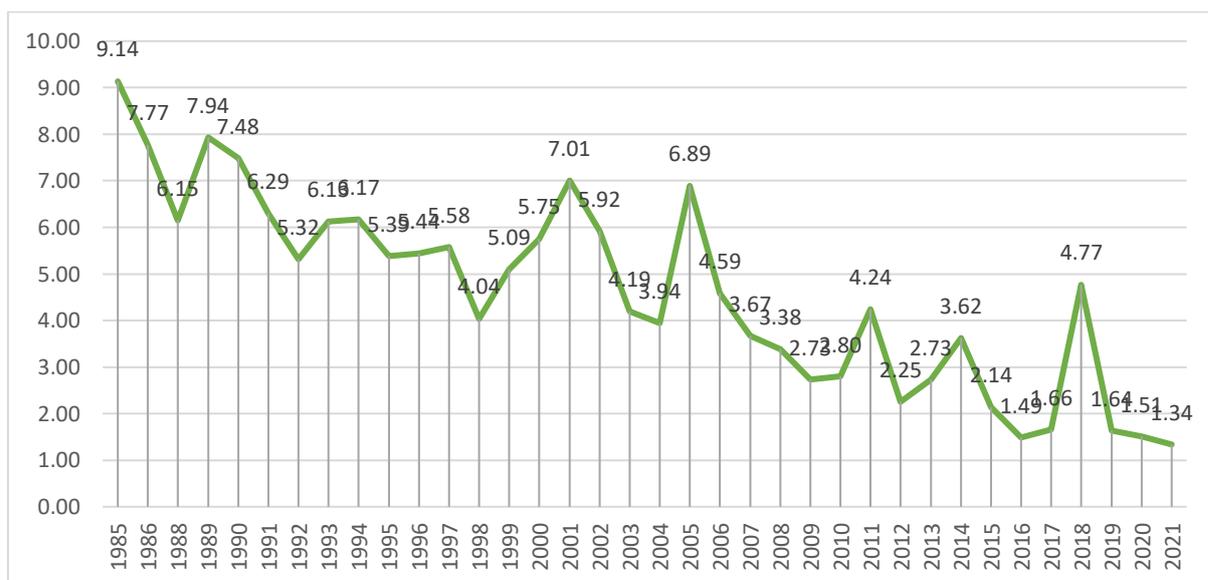
En la figura Nro.20 se observa el comportamiento del área en km<sup>2</sup> del glaciar del nevado Chicón durante los años 2006 al 2021. Se evidencia una tendencia a disminuir dentro de estos años, siendo el punto más bajo en el año 2016 con 1.49 km<sup>2</sup>, así mismo se observa una tendencia a subir en el último periodo.

Figura 21 Comparación del 2004 - 2019



Fuente: Elaboración propia

Figura 22 Evolución del comportamiento del área de nieve del nevado Chicón 1985 - 2021



Fuente: Elaboración propia

Tabla 1: Área por años

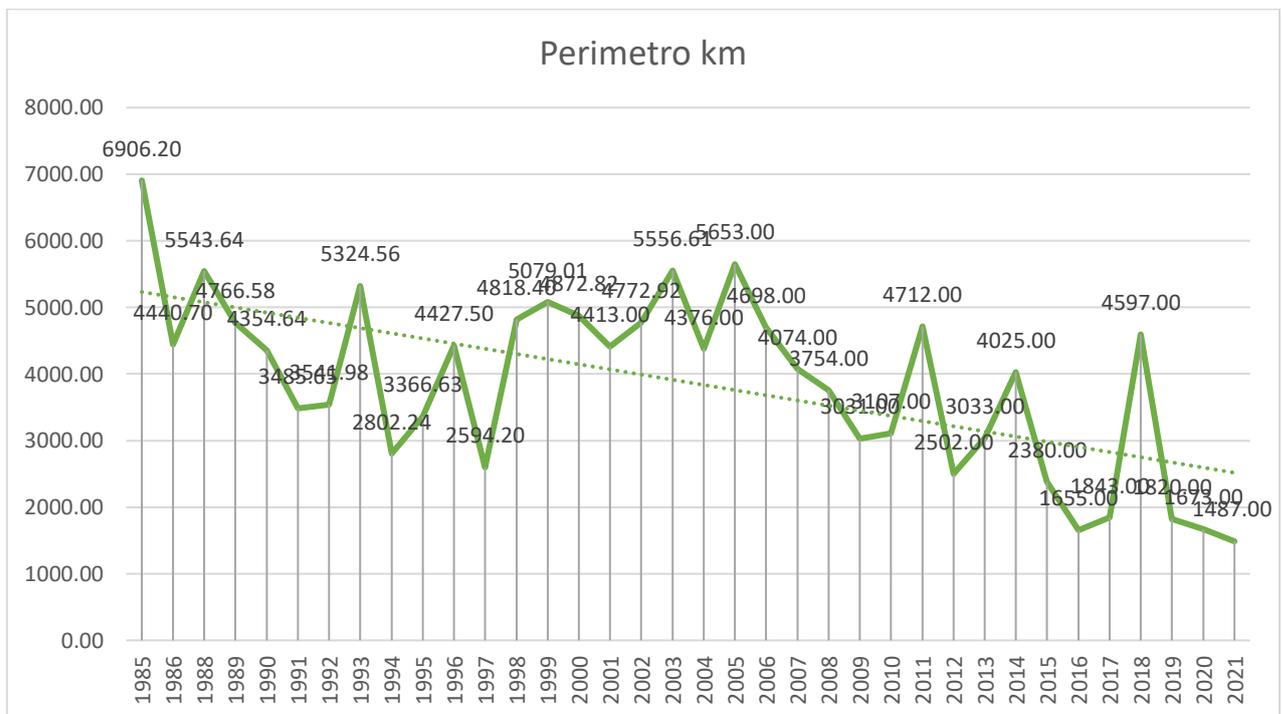
<b>AÑO</b>	<b>SATÉLITE</b>	<b>SENSOR</b>	<b>ÁREA (km2)</b>
1985	LANDSAT_5	TM	9.1355
1986	LANDSAT_5	TM	7.7661
1987	LANDSAT_5	TM	6.9900
1988	LANDSAT_5	TM	6.1524
1989	LANDSAT_5	TM	7.9362
1990	LANDSAT_5	TM	6.8757
1991	LANDSAT_5	TM	6.2928
1992	LANDSAT_5	TM	5.3190
1993	LANDSAT_5	TM	6.1303
1994	LANDSAT_5	TM	6.1733
1995	LANDSAT_5	TM	5.3858
1996	LANDSAT_5	TM	5.4423
1997	LANDSAT_5	TM	5.5783
1998	LANDSAT_5	TM	4.0390
1999	LANDSAT_5	TM	5.0949
2000	LANDSAT_5	TM	5.7534
2001	LANDSAT_7	ETM	7.0104
2002	LANDSAT_7	ETM	5.9230
2003	LANDSAT_7	ETM	4.1902
2004	LANDSAT_7	ETM	3.9384
2005	LANDSAT_7	ETM	6.8877
2006	LANDSAT_7	ETM	4.5882
2007	LANDSAT_7	ETM	3.6666
2008	LANDSAT_7	ETM	3.3786
2009	LANDSAT_7	ETM	2.7279
2010	LANDSAT_7	ETM	2.7963
2011	LANDSAT_7	ETM	4.2408
2012	LANDSAT_7	ETM	2.2518

<b>2013</b>	LANDSAT_7	ETM	2.7297
<b>2014</b>	LANDSAT_8	OLI_TIRS	3.6225
<b>2015</b>	LANDSAT_8	OLI_TIRS	2.142
<b>2016</b>	LANDSAT_8	OLI_TIRS	1.4895
<b>2017</b>	LANDSAT_8	OLI_TIRS	1.6587
<b>2018</b>	LANDSAT_8	OLI_TIRS	4.7673
<b>2019</b>	LANDSAT_8	OLI_TIRS	1.638
<b>2020</b>	LANDSAT_8	OLI_TIRS	1.5057
<b>2021</b>	LANDSAT_8	OLI_TIRS	1.3383

*Fuente: Elaboración propia*

En la figura Nro.22 Se observa todo el comportamiento del área de nieve del nevado Chicón, el cual se evidencia una clara tendencia a la disminución, teniendo el punto más alto en 1985 con 9.14 km<sup>2</sup> y el punto más bajo en 2021 con 1.34 km<sup>2</sup>. De la misma forma se observa que el periodo inicial como el periodo final se sitúan, el punto más alto como el más bajo correspondientemente.

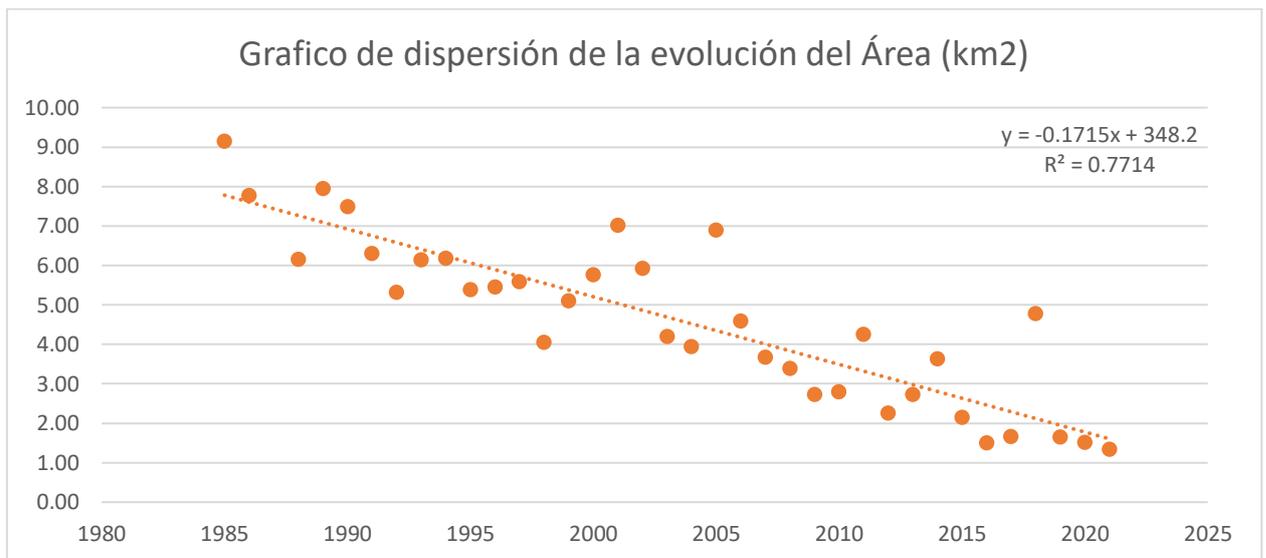
*Figura 23 Evolución del comportamiento del perímetro de nieve del nevado Chicón 1985 – 2021*



*Fuente: Elaboración propia*

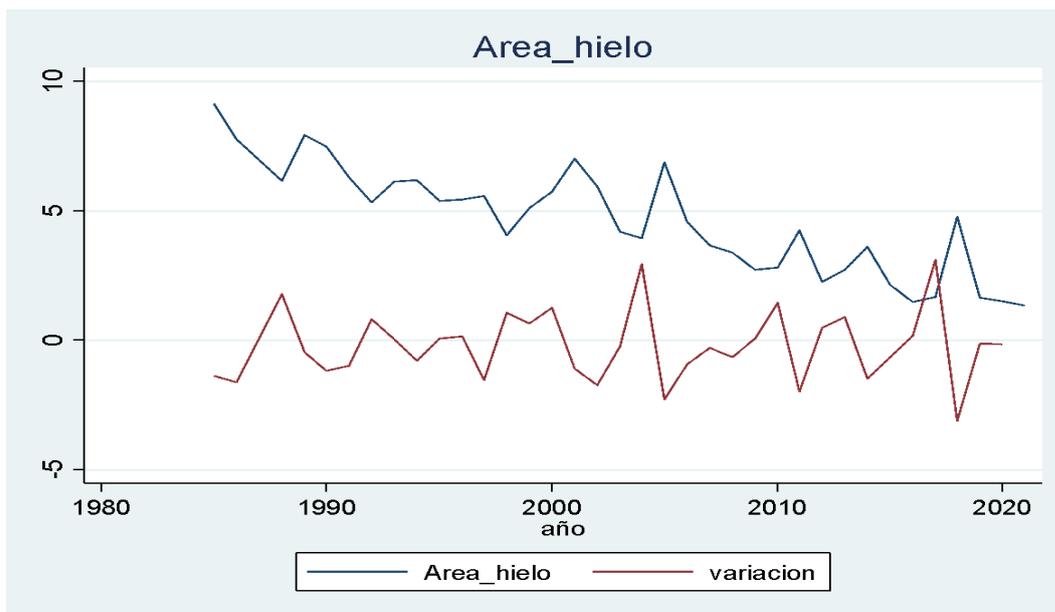
En la figura Nro. 23 se observa todo el comportamiento del perímetro de nieve del nevado Chicón, el cual se evidencia una clara tendencia a la disminución, teniendo el punto más alto en 1985 con un perímetro de 6906.20 y el punto más bajo en 2021 con perímetro de 1487.00. De la misma forma se observa que el periodo inicial como el periodo final se sitúan, el punto más alto como el más bajo correspondientemente.

Figura 24 Gráfico de dispersión de la evolución del Área (km<sup>2</sup>)



Fuente: Elaboración propia

Figura 25 Variación del Área - Hielo



Fuente: Elaboración propia

Tabla 2 Modelo de regresión

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	36
Model	116.319354	1	116.319354	F(1, 34)	=	114.72
Residual	34.4751642	34	1.01397542	Prob > F	=	0.0000
				R-squared	=	0.7714
				Adj R-squared	=	0.7647
Total	150.794518	35	4.30841481	Root MSE	=	1.007

Area_hielo	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
año	-.1714979	.016012	-10.71	0.000	-.2040383	-.1389575
_cons	348.2024	32.07966	10.85	0.000	283.0087	413.3961

Fuente: Elaboración propia

En la tabla se muestra el resumen del modelo, donde el estadístico  $R^2 = 0.7714$ , esto indica que el modelo tiene un buen ajuste; es decir las variables independientes, años, describe o explica la variabilidad del área total en  $\text{km}^2$  del nevado Chicón. Así mismo, el modelo presenta un R cuadrado ajustado, el cual está basado en el número de casos y variables independientes utilizados (grados de libertad), en el cual tiene un valor de 0.7647, el cual afirma que el nivel de explicación del modelo es muy bueno, que explica la variabilidad del área total en  $\text{km}^2$  del nevado Chicón en un 76.47 %.

Respecto a la prueba de  $(\text{Prob} > F) = 0.00$ , se afirma que el modelo es significativo y que la variable independiente, años, influye en la variación del área de total del nevado Chicón.

Además, se evidencia la significancia individual, mediante la P- value  $(P > /t) = 0.000$ . indica que con suficiente certeza estadística al 95% de confianza, se afirma que existe una influencia del tiempo en el área total del nevado. Mediante el coeficiente Beta = -0.1714, se establece que existe una relación negativa; es decir, ante un incremento de los años causa una disminución del nevado en  $\text{km}^2$ . El efecto ante un incremento de un año causa una disminución en un 0.17  $\text{km}^2$  en el área total del nevado.

- **Prueba de autocorrelación serial**

H0: No existe autocorrelación serial

H1: Existe autocorrelación

---

Variables	Datos	Durbin-Watson d-statistic
2	37	1.801672

---

*Fuente: Elaboración propia*

El estadístico de Durbin – Watson es igual al valor de 1.801, es una prueba para evaluar la existencia de auto correlación. Este estadístico oscila entre 0 y 4, los valores menores a 2 indican autocorrelación serial positiva, y mayores de 2 autocorrelación serial negativa. Se puede asumir que el modelo cumple con el supuesto de independencia entre los residuos cuando este estadístico oscila entre los valores 1.5 y 2.5; en este caso, afirmamos que el modelo cumple con el supuesto de independencia.

- **Predicción**

Ecuación lineal

$$Y_i = 348.2024 - 0.1714(x_1) + u$$

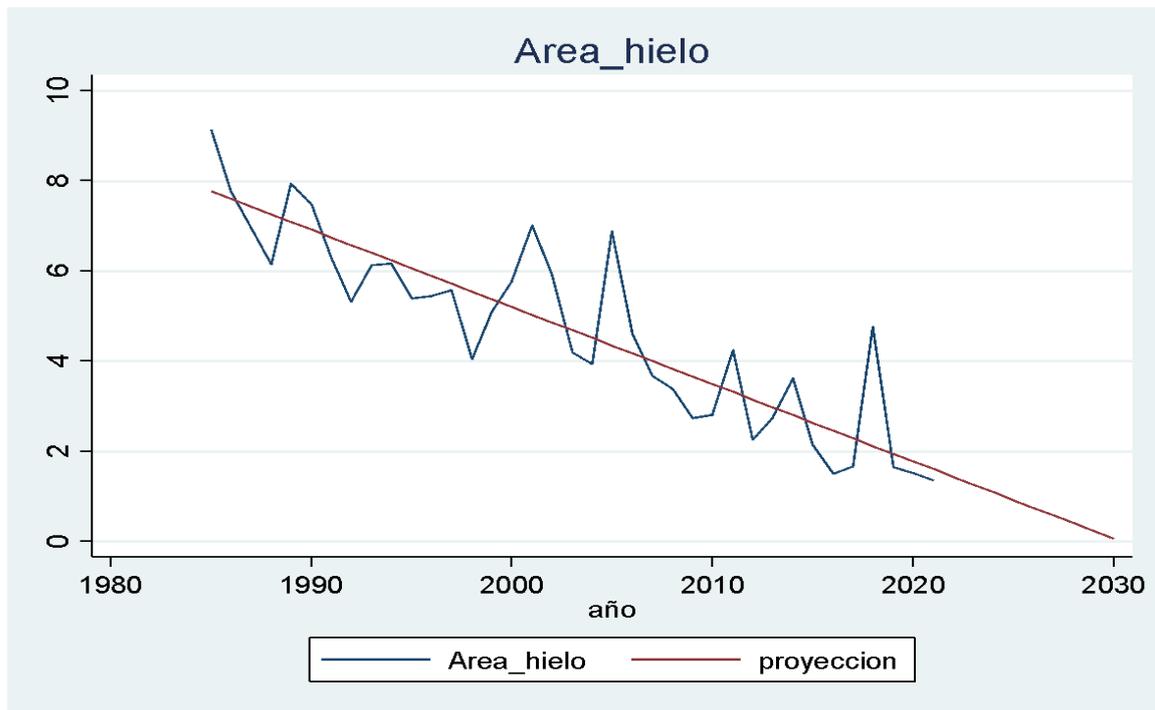
Dónde:

$y$  : *Area total del nevado* (VD)

$x_1$  : *Años* (VI)

$u$  : *Termino de error*

Figura 26 Proyección de la Área - Hielo



Fuente: Elaboración propia

Mediante la ecuación se estimada la predicción de la variación de la desglaciación del área total del nevado de Chicón en el periodo 1985-2021, se ha observado una disminución del área glacial de aproximadamente el 85% en relación al año 2021 y la tendencia del ritmo de cambio es de una disminución lineal. Con las mismas condiciones climáticas, el área total se reduciría totalmente en aproximadamente en 10 años.

## V. DISCUSIÓN

En relación al desarrollo del análisis se observa que en estudio indica que todo el comportamiento del área de nieve del nevado Chicón muestra una evidencia clara de tendencia a la disminución, teniendo el punto más alto en 1985 con 9.14 km<sup>2</sup> y el punto más bajo en 2021 con 1.34 km<sup>2</sup>. Por otro lado, se evidencia que el periodo inicial como el periodo final se sitúan, el punto más alto como el más bajo correspondientemente, en base a ello se puede comparar con el estudio de Quisbert (2019) que menciona en su resultado del análisis del comportamiento del retroceso del hielo del nevado Mururata, entre los años 1988 y 2018, el cual menciona que los resultados del análisis multitemporal del Nevado Mururata sugieren que si hay un retroceso de hielo desde 1988 hasta 2018 en su cubierta de hielo de 41%, puesto que dicho estudio es realizado en base al cambio climático que se ha presentado en nuestro planeta, permitiéndonos observar lo que está ocurriendo en los nevados del país de Bolivia, en el caso del nevado Mururata. Como se observa en nuestro estudio se aprecia una disminución según a cada año y es similar al estudio de Quisbert (2019) que menciona que del año 1988 al 2018 hubo dicha disminución.

Por otro lado, según nuestro resultado se observa el comportamiento del área en km<sup>2</sup> del glaciar del nevado Chicón durante los años 1996 al 2005. Se logra evidencia una tendencia que se recupera y cae dentro de estos años, siendo el punto más bajo en el año 2004 con 3.94 km<sup>2</sup>, así mismo se observa una tendencia a subir en el último periodo. En base a ello también se evidencia en los años posteriores que se observa el comportamiento del área en km<sup>2</sup> del glaciar del nevado Chicón durante los años 2006 al 2021. En base a estos años se logra evidenciar una tendencia a disminuir dentro de estos años, siendo el punto más bajo en el año 2016 con 1.49 km<sup>2</sup>, así mismo se observa una tendencia a subir en el último periodo. En base a ello podemos citar el estudio de Díaz et al. (2017), debido a que esta investigación al utilizar similares dimensiones permiten comparar los resultados, del retroceso glaciar, el cual muestra un análisis de que hubo una fuerte disminución de la cubierta de hielo en las cadenas montañosas Allin Capac y Chichi, en 1975 el área cubierta por glaciares era de 52,3 km<sup>2</sup>, en 2015 disminuyó a 16,9 km<sup>2</sup>, perdiendo un total de 35,6 km<sup>2</sup>, según estos datos se logró analizar que, en el año 1975, el 35% del

área glaciar estaba por debajo de los 5000 m.s.n.m., en 2015 esto era solo el 9% del área total del glaciar. La mayor disminución fue evidente entre las últimas tres décadas del siglo 20, llegando a sintetizar el estudio en que los picos montañosos Allin Capac y Chichi. La capa de nieve de Capac ha disminuido un 67%, lo que equivale a una disminución del 17% por década, como se observa en nuestros resultados nos muestra que al pasar los años dicha área va en disminución, tal como en el estudio de Díaz et al. (2017) menciona una similitud de que en determinadas áreas de glaciares al pasar los años se observa una disminución.

En base al análisis de predicción se observa la que la variación de la desglaciación del área total del nevado de Chicón en el periodo 1985-2020, se ha observado una disminución del área glaciar de aproximadamente 85% en relación al año 2020, el cual el área total se reduciría totalmente en aproximadamente 10 años. En concordancia al estudio de (Quisbert 2019) se evidencia que, si hay un retroceso de hielo desde 1988 hasta 2018 en su cubierta de hielo de 41%, siguiendo la tendencia glaciar del Nevado Mururata, hasta todo el año en 2048, tendrá sólo el 17,6% de su cubierta de hielo, y para el 2061 tendrá una pérdida total de hielo. Como se observa en nuestro estudio se hace una predicción que para el año 2031 no habrá hielo en el área glaciar establecida, como es similar que al pasar de los años como en el estudio de (Quisbert 2019) que para el 2061 no habrá hielo en su área de estudio.

En relación a los resultados se observa en el análisis estadístico  $R^2 = 0.7714$ , esto indica que las variables independientes, años, describe o explica la variabilidad del área total en  $\text{km}^2$  del nevado Chicón. Así mismo, el modelo presenta un R cuadrado ajustado, el cual está basado en el número de casos y variables independientes utilizados (grados de libertad), en el cual tiene un valor de 0.7647, el cual afirma que el nivel de explicación del modelo es muy bueno, que explica la variabilidad del área total en  $\text{km}^2$  del nevado Chicón en un 76.47%. En base a ello en el uso del software ArcGIS 10.6" el cual se considera para determinar el área y perímetro de la superficie de hielo. En concordancia a ello se logra comprar con el estudio de Follanos & Sarmientos (2020) el cual para su estudio se utilizaron imágenes satelitales del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) de 1990, 1997, 2004, 2011 y 2020" para elaborar mapas

temáticos mediante el software ArcGIS 10.6”, el cual indica que los nevados representan un deshielo significativo de los hielos altos en un periodo de 30 años (1990-2020), donde se puede verificar que se han perdido 1691,65 hectáreas (16,9165 km) de superficie de hielo por la nieve. cumbres coronadas del Salkantay. montañas y 1851,47 ha en el pico nevado Verónica (18,5147 km<sup>2</sup>), por lo que la variabilidad de las dos montañas nevadas es grande, con cambios climáticos frecuentes en los últimos años, como se muestra es similar a nuestro estudio puesto que se utiliza el mismo Software y lo expresa en un determinado año al 2020, que en anterioridad era el año actual de dicho estudio, tal como el nuestro.

Por tanto, toda la investigación se corroboró en base a los sucesos pasados, claro ejemplo son los nevados y glaciares de Mururata. Debido a ello, se puede respaldar esta investigación con los antecedentes ya antes vistos, así mismo se busca señalar que el calentamiento global sería el principal causante de la desglaciación del nevado Chicón. En efecto, esto es debido a que en la evolución de la desglaciación durante el periodo 1985-2021, se vio que en los últimos años la reducción del área total del glaciar fue disminuyendo, y en el 2021 su área total fue el más crítico, teniendo solo 1.34 km<sup>2</sup> como área total. Asimismo, se relaciona el perímetro de la nieve del nevado Chicón con el valor más bajo a partir del 1985, siendo este valor de 1487.00m y también se dio en el año 2021.

## **VI. CONCLUSIONES**

De acuerdo a los resultados obtenidos en el capítulo anterior, se llega a la conclusión siguiente:

Primero: De acuerdo al objetivo general propuesto se concluye que, en el año 1985 el glaciar contaba con área de 9.14 km<sup>2</sup>, sin embargo, se ha observado que, con el paso de los años, esta área ha ido disminuyendo, un claro ejemplo es en el año 1992 que tuvo solo un área de 5.32 km<sup>2</sup>, mientras que en el año 2001 tuvo un incremento de 7.01 km<sup>2</sup>; en el año 2018 el área del nevado tuvo un total de 4.77 km<sup>2</sup>, pero en la actualidad que es el año 2021 esta área llegó a 1.34 km<sup>2</sup>, por lo que a pesar de los incrementos que hubo en determinados años, estos no han llegado al área inicial, por lo que se observa una pérdida progresiva del glaciar con el tiempo. Por otra parte, se identificó la proyección y la pendiente negativa, el cual fue -0.1714, con el cual se puede proyectar la disminución por años del nevado.

Segundo: De acuerdo al primer objetivo específico donde se señala la determinación de pérdida del área glaciar del nevado Chicón, ha tenido muchas variaciones con el paso de los años, en los que se ha observado que en ocasiones disminuye como también se incrementa, pero a pesar de ello, la tendencia que se tiene es que, entre variaciones, va reduciendo su área en un aproximado de 0.17 km<sup>2</sup>, por lo que hasta el año 2021, ha perdido un total de 7.80 km<sup>2</sup>.

Tercero: Se concluye de acuerdo a la determinación de la pérdida del perímetro del nevado que de acuerdo a los resultados se observa todo el comportamiento del área de nieve del nevado Chicón, el cual se evidencia una clara tendencia a la disminución, teniendo el punto más alto en 1985 con un perímetro de 6906 km y el punto más bajo en 2021 con perímetro de 1487 km.

Cuarto: de acuerdo a los resultados obtenidos se ha evidenciado que, con el paso de los años, el área glaciar no se ha mantenido de forma constante, en algunos años ha incrementado como en otros ha disminuido, sin embargo, la tendencia a la reducción si se ha mantenido constante, ya que en ningún año se ha podido observar que llegue o por lo menos se aproxime a su área inicial, por lo que el tiempo estimado para que el glaciar desaparezca completamente en el año 2031.

## **VII. RECOMENDACIONES**

Primero: se recomienda que tanto el municipio como la población tomen de medidas de mitigación para evitar la acelerada desglaciación, como la implementación del cuidado ambiental, la disminución de la basura, además de que el ingreso turístico sea para un número restringido de personas, como también incentivar la conciencia ambiental en todas las personas.

Segundo: Tanto las autoridades como la población en general, debe ser consciente de que la desglaciación es un hecho irreversible, sin embargo, se debe tener en cuenta que puede retrasarse la disminución del área glaciario, por medio de diversas estrategias, como es la conciencia ambiental por parte de los pobladores, sobre todo de los que viven en la zona, ya que ellos tienen un contacto más directo con la zona, por lo que deben de evitar su contaminación, así como también establecer protocolos ambientales para la visita de los turistas.

Tercero: se recomienda que las autoridades deben tomar medidas para que el perímetro del glaciar no disminuya en los años posteriores, puesto que se debe cuidar dicho glaciar para conservar un ecosistema sostenible.

Cuarto: para que la desglaciación completa se retrase unos años más, se recomienda que las autoridades desarrollen proyectos ecológicos, que sean viables tanto presupuestalmente como en la ejecución, ya que en muchos países han optado por diversas soluciones, como es el caso del continente europeo, que decidió usar mantas.

## REFERENCIAS

- AGUILAR, M. y PAZ, J., 2019. *Juegos tradicionales para fortalecer el desarrollo de la dimensión emocional en niños y niñas de 5 a 6 años en situación de vulnerabilidad en la institución educativa ciudad córdoba ubicado en la ciudad de santigo de cali*. S.l.: Santiago de Cali.
- ARIZA, A., 2006. Analisis del retroceso de glaciares tropicales en los Andes Centrales de Colombia mediante imágenes Landsat. *Revista Politechne.*, vol. 13, no. 1, pp. 33-43.
- ARZHANOV, M. y MALAKHOVA, V., 2021. Assessment of the accumulation of gas hydrates under the glacier cover. *Ecology. Economy. Informatics. System analysis and mathematical modeling of ecological and economic systems*, vol. 1, no. 6, pp. 70-74. ISSN 2500395X. DOI 10.23885/2500-395X-2021-1-6-70-74.
- BRAVO, F., 2017. *Teledeteccion espacial*. S.l.: s.n.
- CAUVY, S. y DANGLES, O., 2019. A global synthesis of biodiversity responses to glacier retreat. *Noviembre*,
- CHUVIECO, E., 2019. *Teledetección ambiental: La observación de la Tierra desde el Espacio*. Digital Re. S.l.: s.n.
- CONCYTEC, 2018. Reclamento de ciencia, tecnología e innovación tecnológica. [en línea]. Perú: Disponible en: [https://portal.concytec.gob.pe/images/renacyt/reglamento\\_renacyt\\_version\\_final.pdf](https://portal.concytec.gob.pe/images/renacyt/reglamento_renacyt_version_final.pdf).
- CUFFEY, K.M. y PATERSON, W.S.B., 2010. The physics of glaciers. Fourth edition. Amsterdam, etc., Academic Press. *Journal of Glaciology*, pp. 704. ISSN 0022-1430.
- DÍAZ, R., SANCHEZ, S., LUJANO, E. y LUJANO, A., 2017. Análisis multi-temporal entre 1975 y 2015 sobre cambios de la cobertura glaciar en los nevados Allin Capac y Chichi Capac, Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, vol. 19, no. 3, pp. 265-274. ISSN 23068582. DOI 10.18271/ria.2017.291.

- DÍAZ, V. y BEJARANO, F., 2017. *Análisis multitemporal del retroceso glaciar del Volcán Nevado Cotopaxi - Ecuador entre los años 1998, 2007 y 2016*. S.l.: Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales.
- FELL, S., CARRIVICK, J., CAUVY, S., CRESPO, V., HOOD, E., RANDALL, K., NICHOLASS, K., TIEGS, S., DUMBRELL, A. y BROWN, L., 2021. Fungal decomposition of river organic matter accelerated by decreasing glacier cover. *Nature Climate Change*, vol. 11, no. 4, pp. 349-353. ISSN 1758-678X. DOI 10.1038/s41558-021-01004-x.
- FERNÁNDEZ, B.V.H., 2020. Tipos de justificación en la investigación científica. *Espí-ritu Emprendedor TES*, vol. 4, no. 3, pp. 65-76. ISSN 2602-8093. DOI 10.33970/eetes.v4.n3.2020.207.
- FOLLANOS, A. y SARMIENTOS, J., 2020. *Evaluación de la regresión glaciar de los nevados Salkantay y Veronica mediante el análisis multi-temporal entre los años 1990-2020, Cusco*. S.l.: Universidad Cesar Vallejo.
- FRANCOU, B. y POUYAUD, B., 2015. Métodos de observacion de glaciares en los Andes tropicales - Mediciones de terreno y procesamientos de datos. *Institut de Recherche ur le Développement po GREAT-ICE*, no. May. DOI 10.13140/RG.2.1.4220.8164.
- GAITA, M., 2017. *Cuantificación e impacto del retroceso glaciar sobre los recursos naturales determinados mediante el SIG y teledetección - Microcuenca Lullán, Ancash - Perú*. S.l.: Universidad Nacional Agraria la Molina.
- GIS&BEERS, 2016. Corrección atmosférica de Landsat en QGIS. [en línea]. España: Disponible en: <http://www.gisandbeers.com/correccion-atmosferica-de-landsat-en-qgis/>.
- GÓMEZ, M., 2010. *Variaciones de la cubierta de nieve en Chile centro - sur (30° - 41°s) y su relación con el fenómeno ENSO*. S.l.: s.n.
- GORELICK, N., HANCHER, M., DIXON, M., ILYUSHCHENKO, S., THAU, D. y MOORE, R., 2017. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, vol. 202, pp. 18-27. ISSN 0034-4257. DOI 10.1016/J.RSE.2017.06.031.

- GURGISER, W., MARZEION, B., NICHOLSON, L., ORTNER, M. y KASER, G., 2013. Modeling energy and mass balance of shallap glacier, Peru. *Cryosphere*, vol. 7, no. 6, pp. 1787-1802. ISSN 19940416. DOI 10.5194/tc-7-1787-2013.
- HERNÁNDEZ, S.R. y MENDOZA, T.C.P., 2018. *Metodología de la Investigación: Las Rutas Cuantitativas, Cualitativa y Mixta*. I. Ciudad de México: s.n. ISBN 9781456260965.
- HUSS, M., BOOKHAGEN, B., HUGGEL, C., JACOBSEN, D., BRADLEY, R.S., CLAGUE, J.J., VUILLE, M., BUYTAERT, W., CAYAN, D.R., GREENWOOD, G., MARK, B.G., MILNER, A.M., WEINGARTNER, R. y WINDER, M., 2017. Toward mountains without permanent snow and ice. *Earth's Future*, vol. 5, no. 5, pp. 418-435. ISSN 23284277. DOI 10.1002/2016EF000514.
- IPCC, 2001. Tercer Informe de Evaluación del Cambio Climático 2001. ,
- LILLESAND, T., KIEFER, R. y CHIPMAN, J., 2015. *Remote sensing and image interpretation*. S.I.: s.n.
- MOLANO, S., CARDENAS, D., GÓMEZ, H., ALVARADO, D., GALINDO, A., SANABRIA, J. y GÓMEZ, J., 2022. Evaluación del retroceso glaciar de la Sierra Nevada del Cocuy, Colombia a partir de la clasificación de imágenes multisensor. , vol. 44.
- MONTERROSO-TOBAR, M.F., LONDOÑO-BONILLA, J.M. y SANSONOV, S., 2018. Estimación del retroceso glaciar en los volcanes Nevado del Ruiz, Tolima y Santa Isabel, Colombia a través de imágenes ópticas y Din-SAR. *DYNA* [en línea], vol. 85, no. 206, pp. 329-337. ISSN 2346-2183. DOI 10.15446/dyna.v85n206.66570. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/66570>.
- PAUCAR, J., 2018. *Estudio de retroceso glaciar en el santuario nacional de ampay y determinación de su influencia en la agricultura de la comunidad de huayllabamba, distrito de Abancay, año 2016*. S.I.: Universidad Tecnológica de los Andes.
- PITMAN, K., MOORE, J., SLOAT, M., BEAUDREAU, A., BIDLACK, A., BRENNER, R., HOOD, E., PESS, G., MANTUA, N., MILNER, A., RADIC, V., REEVES, G.,

- SCHINDLER, D. y WHITED, D., 2020. Glacier Retreat and Pacific Salmon. *BioScience*, vol. 70, no. 3, pp. 220-236. ISSN 0006-3568. DOI 10.1093/biosci/biaa015.
- QUISBERT, J., 2019. *Análisis multitemporal del retroceso glaciar del nevado Mururata de la Cordillera Real de los Andes periodo (1988-2018)*. S.l.: Universidad Mayor de San Andrés.
- RADOANE, M., DUMITRIU, D. y ICHIM, I., 2020. Geomorfologie - Relieful glaciar. [en línea], no. December, pp. 317-359. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/347999239\\_Geomorfologie\\_-\\_Relieful\\_glaciar](https://www.researchgate.net/publication/347999239_Geomorfologie_-_Relieful_glaciar).
- RICO, I., 2019. Los glaciares de los Pirineos. Estudio glaciológico y dinámica actual en el contexto del cambio global. [en línea]. España: Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=223663>.
- RIGGS, G.A., HALL, D.K. y ROMÁN, M.O., 2017. Overview of NASA's MODIS and Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) snow-cover Earth System Data Records. *Earth Syst. Sci. Data*, vol. 9, pp. 765-777. DOI 10.5194/essd-9-765-2017.
- RIVERA, A., KOPPES, M., BRAVO, C. y ARAVENA, J.C., 2012. Little Ice Age advance and retreat of Glaciar Jorge Montt, Chilean Patagonia. , vol. 8, pp. 403-414. DOI 10.5194/cp-8-403-2012.
- RYU, H.-S. y HONG, S., 2020. Remote sensing Sea Fog Detection Based on Normalized Difference Snow Index Using Advanced Himawari Imager Observations. , DOI 10.3390/rs12091521.
- SALAS, C. y DUARTE, Ka., 2018. Análisis del retroceso glaciar del volcán nevado del Ruíz, mediante un estudio multitemporal de imágenes satelitales del periodo 1999-2016. *Enero*, pp. 9-16.
- SILVERIO, W., 2018. Impacto del Cambio Climático en el Nevado Coropuna (Cordillera Ampato, Arequipa, Perú) y en el Recurso Hídrico. *Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña*, no. 4. DOI 10.36580/rgem.i4.43-56.
- SILVERIO, W. y JAQUET, J.M., 2005. Glacial cover mapping (1987-1996) of the

Cordillera Blanca (Peru) using satellite imagery. *Remote Sensing of Environment*, vol. 95, no. 3, pp. 342-350. ISSN 00344257. DOI 10.1016/j.rse.2004.12.012.

THAPA, R., 2020. Remote Sensing Concepts and Applications. . S.l.: s.n., pp. 16.

TIEL, M., KOHN, I., VAN LOON, A. y STAHL, K., 2020. The compensating effect of glaciers: Characterizing the relation between interannual streamflow variability and glacier cover. *Hydrological Processes*, vol. 34, no. 3, pp. 553-568. ISSN 0885-6087. DOI 10.1002/hyp.13603.

TSUJI, M., VINCENT, W., TANABE, Y. y UCHIDA, M., 2022. Glacier Retreat Results in Loss of Fungal Diversity. *Sustainability*, vol. 14, no. 3, pp. 1617. ISSN 2071-1050. DOI 10.3390/su14031617.

WILSON, R., CARRIÓN, D. y RIVERA, A., 2017. Detailed dynamic, geometric and supraglacial moraine data for Glaciar Pio XI, the only surge-type glacier of the Southern Patagonia Icefield. , DOI 10.1017/aog.2016.32.

ZHANG, J., JIA, L., MENENTI, M., ZHOU, J., REN, S. y ARNOLD, N., 2021. Glacier Area and Snow Cover Changes in the Range System Surrounding Tarim from 2000 to 2020 Using Google Earth Engine. , DOI 10.3390/rs13245117.

## ANEXOS

### Anexos 1: Matriz de operacionalización de variables

<b>Estimación del retroceso y predicción del tiempo de permanencia del nevado Chicón mediante el análisis multitemporal entre los años 1985-2021, Cusco</b>					
<b>VARIABLES DE ESTUDIO</b>	<b>DEFINICIÓN CONCEPTUAL</b>	<b>DEFINICIÓN OPERACIONAL</b>	<b>DIMENSIÓN</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>ESCALA DE MEDICIÓN</b>
<b>V.D. Retroceso de cobertura glaciar</b>	Se considera al ascenso de la línea inferior de la consolidación de cobertura glaciar (nieve) que se encuentran en altas montañas, hasta desaparecer por completo en algunos casos por fusión glaciar o deshielo (Radoane, Dumitriu y Ichim 2020).	El retroceso de la cobertura glaciar se medirá a través de la tendencia de retroceso glaciar a partir del área y perímetro del mismo que se medirán a través del software ArcGIS en el campo de los Sistemas de Información Geográfica.	Espacial	Perímetro	Km
				Área	Km <sup>2</sup>
<b>V.I. Permanencia de cobertura glaciar</b>	Es la estimación del retroceso de la cobertura glaciar expresado como el tiempo máximo en el cual desaparecerá por completo la cobertura glaciar (Monterroso-Tobar, Londoño-Bonilla y Sansonov 2018).	La predicción de la cobertura glaciar se medirá a través del análisis multitemporal del 1985 al 2021, el cual a partir de la obtención de información geográfica se estimará el tiempo máximo en el cual desaparecerá por completo la cobertura glaciar del nevado Chicón.	Temporal	Anual (Permanencia en años de la cobertura glaciar)	Años

**Anexos 2:** Matriz de consistencia interna

<b>Estimación del retroceso y predicción del tiempo de permanencia del nevado Chicón mediante el análisis multitemporal entre los años 1985-2021, Cusco</b>			
<b>MATRIZ DE CONSISTENCIA INTERNA</b>			
<b>PROBLEMA</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>HIPOTESIS</b>	<b>MÉTODO</b>
<b>General</b>	<b>General</b>	<b>General</b>	<b>Tipo de investigación</b>
¿Cómo se dio la evolución del retroceso glaciar y cuál será su predicción temporal de acuerdo al análisis multitemporal del nevado Chicón, en la provincia de Urubamba, Región Cusco?	Identificar la evolución del retroceso glaciar y su predicción temporal mediante el análisis multitemporal del nevado Chicón, en la provincia de Urubamba, Región Cusco.	El análisis multitemporal de acuerdo al programa de información geográfico ArcGIS identifica la evolución del retroceso glaciar del nevado Chicón.	Tipo de investigación es Aplicado Nivel de investigación es descriptiva
<b>Específico</b>	<b>Específico</b>	<b>Específico</b>	<b>Diseño de investigación</b>
¿Cuánto de área glaciar se perdió en el nevado Chicón de acuerdo a un análisis multitemporal, en la provincia de Urubamba, Región Cusco?	Identificar la pérdida del área glaciar del nevado Chicón de acuerdo a un análisis multitemporal, en la provincia de Urubamba, Región Cusco.	El análisis multitemporal de acuerdo al programa de información geográfico ArcGIS permite cuantificar el área de pérdida del nevado Chicón.	El diseño de investigación es no experimental longitudinal. Enfoque cuantitativo  <b>Variables</b> Retroceso de cobertura glaciar Predicción de cobertura glaciar

<p>¿Cuánto del perímetro glaciar se perdió en el nevado Chicón de acuerdo a un análisis multitemporal, de la provincia de Urubamba, Región Cusco?</p>	<p>Identificar la pérdida del perímetro glaciar del nevado Chicón de acuerdo a un análisis multitemporal, en la provincia de Urubamba, Región Cusco.</p>	<p>El análisis multitemporal de acuerdo al programa de información geográfico ArcGIS permite cuantificar el perímetro de pérdida del nevado Chicón.</p>	<p><b>Población/ Muestra:</b> El nevado Chicón</p>
<p>¿En cuánto tiempo la cobertura glaciar del nevado Chicón desaparecerá completamente de acuerdo a un análisis multitemporal, de la provincia de Urubamba, Región Cusco?</p>	<p>Estimar el tiempo en el que la cobertura glaciar del nevado Chicón desaparecerá completamente de acuerdo a un análisis multitemporal, en la provincia de Urubamba, Región Cusco.</p>	<p>El análisis multitemporal de acuerdo al programa de información geográfico ArcGIS permite estimar la permanencia del nevado Chicón de la provincia de Urubamba, Región Cusco.</p>	<p><b>Técnica:</b> Observación</p>

**Anexo 3:** validación de instrumentos de recolección de datos



**SOLICITUD:** Validación de instrumento de recojo de información.

**ING. HUMBERTO VIVEROS DEZA**

Yo Aedo Tapia Jainor y Quispe Curasco Wilson, identificados con los DNI N°72553380 y 71544633, alumnos de la EAP de Ingeniería Ambiental, a usted con el debido respeto me presento y le manifiesto:

Que siendo requisito indispensable el recojo de datos necesarios para la tesis que vengo elaborando titulada: **“Estimación del retroceso y predicción del tiempo de permanencia del nevado Chicón mediante el análisis multitemporal entre los años 1985-2021, Cusco”**, solicito a Ud. Se sirva validar el instrumento que le adjunto bajo los criterios académicos correspondientes. Para este efecto adjunto los siguientes documentos:

- Ficha de evaluación
- Instrumento
- Matriz de operacionalización de variables

Por tanto:

A usted, ruego acceder mi petición.

Lima, 05 de marzo del 2022

A handwritten signature in blue ink, appearing to be "Aedo Tapia Jainor".

Aedo Tapia Jainor

DNI: 72553380

A handwritten signature in blue ink, appearing to be "Quispe Curasco Wilson".

Quispe Curasco Wilson

DNI: 71544633

1.1. Apellidos y Nombres: Aedo Tapia Jainor y Quispe Curasco Wilson

Cargo e institución donde labora: Universidad César Vallejo

1.2. Especialidad o línea de investigación: Gestión de Riesgo y Adaptación al Cambio Climático

1.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación

1.5. Autor(A) de Instrumento: Elaboración propia

### I. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												X	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												X	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												X	

### II. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

FIRMA DEL ESPECIALISTA  
ING. Humberto Viveros Deza  
CIP :32540

### IV. PROMEDIO DE VALORACION

**SOLICITUD:** Validación de instrumento de recojo de información.

**Ing. Alcides Huaman Aparicio**

Yo Aedo Tapia Jainor y Quispe Curasco Wilson, identificados con los DNI N°72553380 y 71544633, alumnos de la EAP de Ingeniería Ambiental, a usted con el debido respeto me presento y le manifiesto:

Que siendo requisito indispensable el recojo de datos necesarios para la tesis que vengo elaborando titulada: **“Estimación del retroceso y predicción del tiempo de permanencia del nevado Chicón mediante el análisis multitemporal entre los años 1985-2021, Cusco”**, solicito a Ud. Se sirva validar el instrumento que le adjunto bajo los criterios académicos correspondientes. Para este efecto adjunto los siguientes documentos:

- Ficha de evaluación
- Instrumento
- Matriz de operacionalización de variables

Por tanto:

A usted, ruego acceder mi petición.

Lima, 05 de marzo del 2022



Aedo Tapia Jainor

DNI: 72553380



Quispe Curasco Wilson

DNI: 71544633

**I. DATOS GENERALES**

- 1.1. Apellidos y Nombres: Aedo Tapia Jainor y Quispe Curasco Wilson
- 1.2. Cargo e institución donde labora: Universidad César Vallejo
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: Gestión de Riesgo y Adaptación al Cambio Climático
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación
- 1.5. Autor(A) de Instrumento: Elaboración propia

**II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN**

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												X	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												X	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												X	

**III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

X

—

  
**Alcides Huaman Aparicio**  
 INGENIERO AGRONOMO  
 CIP 166157

**IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN**

95%

FIRMA DEL ESPECIALISTA

**SOLICITUD:** Validación de instrumento de recojo de información.

Ing. Frank Gutiérrez Valenzuela

Yo Aedo Tapia Jainor y Quispe Curasco Wilson, identificados con los DNI N°72553380 y 71544633, alumnos de la EAP de Ingeniería Ambiental, a usted con el debido respeto me presento y le manifiesto:

Que siendo requisito indispensable el recojo de datos necesarios para la tesis que vengo elaborando titulada: **“Estimación del retroceso y predicción del tiempo de permanencia del nevado Chicón mediante el análisis multitemporal entre los años 1985-2021, Cusco”**, solicito a Ud. Se sirva validar el instrumento que le adjunto bajo los criterios académicos correspondientes. Para este efecto adjunto los siguientes documentos:

- Ficha de evaluación
- Instrumento
- Matriz de operacionalización de variables

Por tanto:

A usted, ruego acceder mi petición.

Lima, 05 de marzo del 2022



Aedo Tapia Jainor

DNI: 72553380



Quispe Curasco Wilson

DNI: 71544633

**I. DATOS GENERALES**

- 1.1. Apellidos y Nombres: Aedo Tapia Jainor y Quispe Curasco Wilson
- 1.2. Cargo e institución donde labora: Universidad César Vallejo
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: Gestión de Riesgo y Adaptación al Cambio Climático
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación
- 1.5. Autor(A) de Instrumento: Elaboración propia

**II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN**

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												X	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												X	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												X	

**IV. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

X

—

  
**Frank Gutiérrez Valenzuela**  
**INGENIERO AMBIENTAL**  
**CIP: 185044**

FIRMA DEL ESPECIALISTA

**V. PROMEDIO DE VALORACIÓN**

95%

**SOLICITUD:** Validación de instrumento de recojo de información.

Ing. William Diaz Quiroz

Yo Aedo Tapia Jainor y Quispe Curasco Wilson, identificados con los DNI N°72553380 y 71544633, alumnos de la EAP de Ingeniería Ambiental, a usted con el debido respeto me presento y le manifiesto:

Que siendo requisito indispensable el recojo de datos necesarios para la tesis que vengo elaborando titulada: **“Estimación del retroceso y predicción del tiempo de permanencia del nevado Chicón mediante el análisis multitemporal entre los años 1985-2021, Cusco”**, solicito a Ud. Se sirva validar el instrumento que le adjunto bajo los criterios académicos correspondientes. Para este efecto adjunto los siguientes documentos:

- Ficha de evaluación
- Instrumento
- Matriz de operacionalización de variables

Por tanto:

A usted, ruego acceder mi petición.

Lima, 05 de marzo del 2022



Aedo Tapia Jainor

DNI: 72553380



Quispe Curasco Wilson

DNI: 71544633

**I. DATOS GENERALES**

- 1.1. Apellidos y Nombres: Aedo Tapia Jainor y Quispe Curasco Wilson
- 1.2. Cargo e institución donde labora: Universidad César Vallejo
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: Gestión de Riesgo y Adaptación al Cambio Climático
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación
- 1.5. Autor(A) de Instrumento: Elaboración propia

**II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN**

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												X	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												X	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												X	

**V. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

VI. El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación

- El Instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación



ING. WILLIAM DIAZ QUIROZ  
CIP: 253051

FIRMA DEL ESPECIALISTA

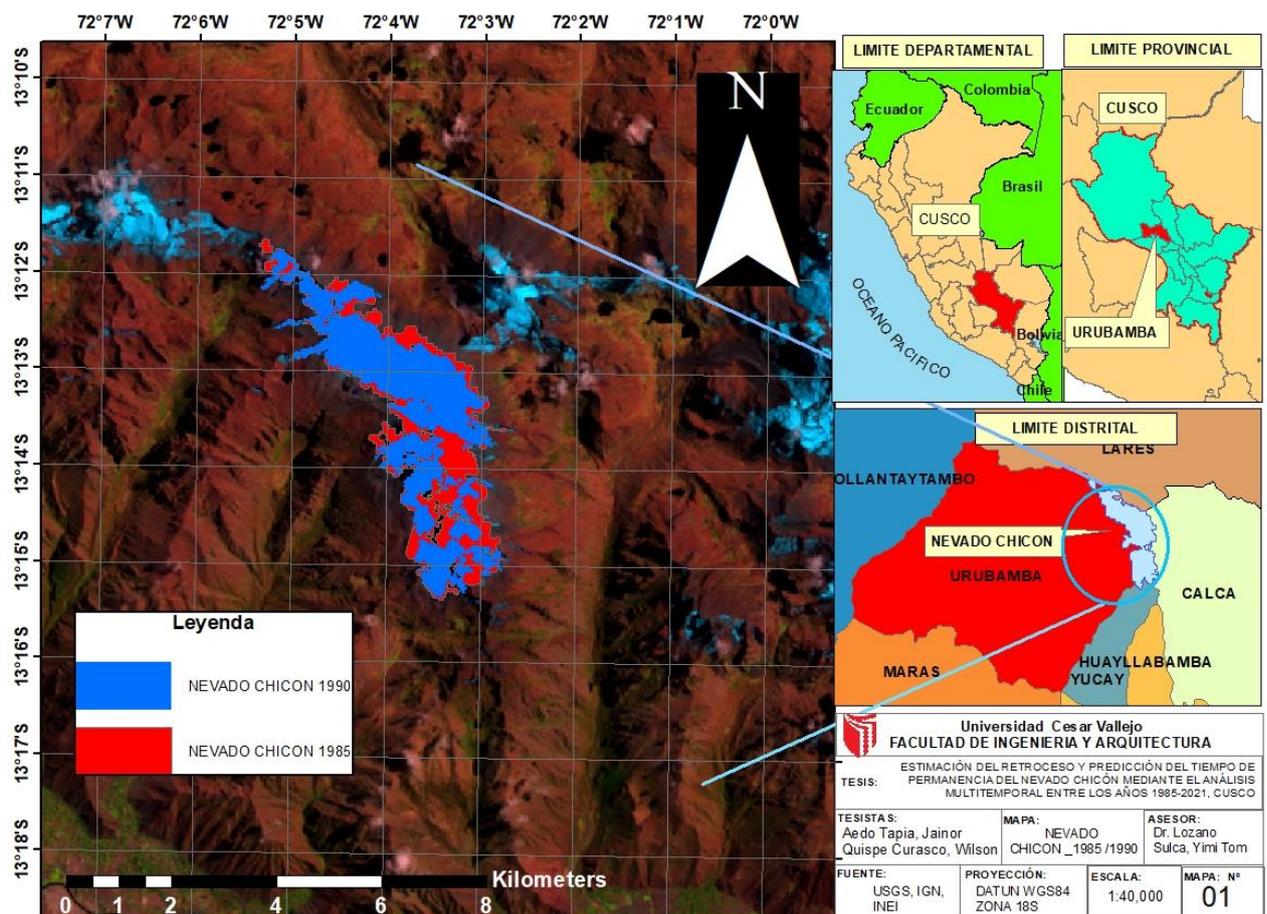
**IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN**

**Anexos 4:** Ficha de recolección de datos

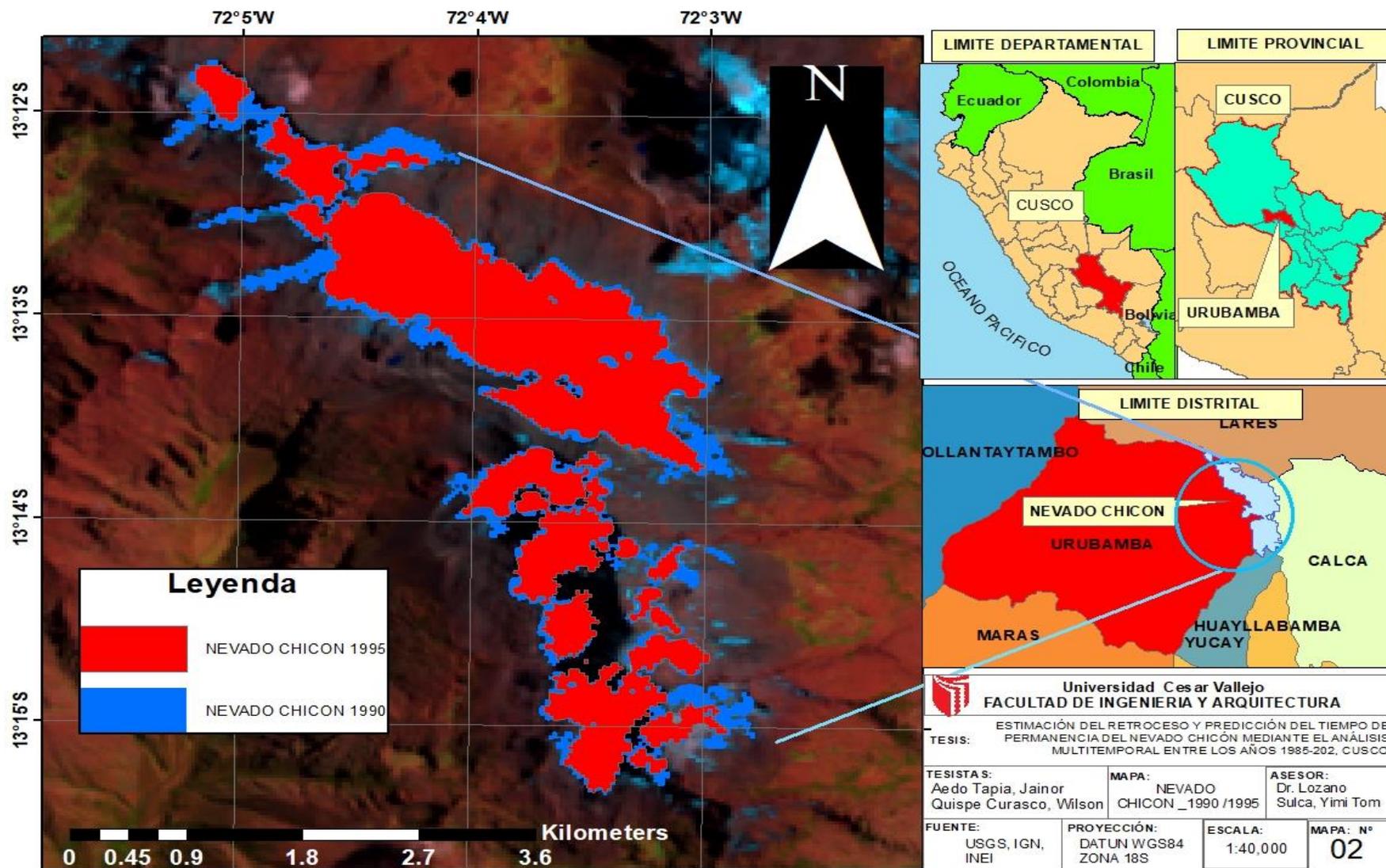
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE IMÁGENES SATELITALES</b>					
<b>Estimación del retroceso y predicción del tiempo de permanencia del nevado Chicón mediante el análisis multitemporal entre los años 1985-2021, Cusco</b>					
<b>RESPONSABLES</b>		JAINOR AEDO TAPIA			
		WILSON QUISPE CURASCO			
<b>COORDENADAS</b>		<b>SUR</b>		<b>OESTE</b>	
		13°14'12"S		72°03'22"O	
<b>ÁMBITO</b>		NEVADO CHICÓN			
<b>UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO</b>		DISTRITO DE URUBAMBA, PROVINCIA URUBAMBA, REGIÓN CUSCO			
<b>ALTITUD MAX</b>		5530 m.s.n.m			
<b>ALTITUD MIN</b>		4900 m.s.n.m			
<b>Nº</b>	<b>AÑO</b>	<b>FECHA DE IMAGEN</b>	<b>SATÉLITE</b>	<b>SENSOR</b>	<b>ÁREA (KM 2)</b>
1	1985				
2	1986				
3	1987				
4	1988				
5	1989				
6	1990				
7	1991				
8	1992				
9	1993				
10	1994				
11	1995				
12	1996				
13	1997				
14	1998				
15	1999				
16	2000				
17	2001				
18	2002				
19	2003				
20	2004				
21	2005				
22	2006				
23	2007				
24	2008				
25	2009				
26	2010				

27	2011				
28	2012				
29	2013				
30	2014				
31	2015				
32	2016				
33	2017				
34	2018				
35	2019				
36	2020				
37	2021				

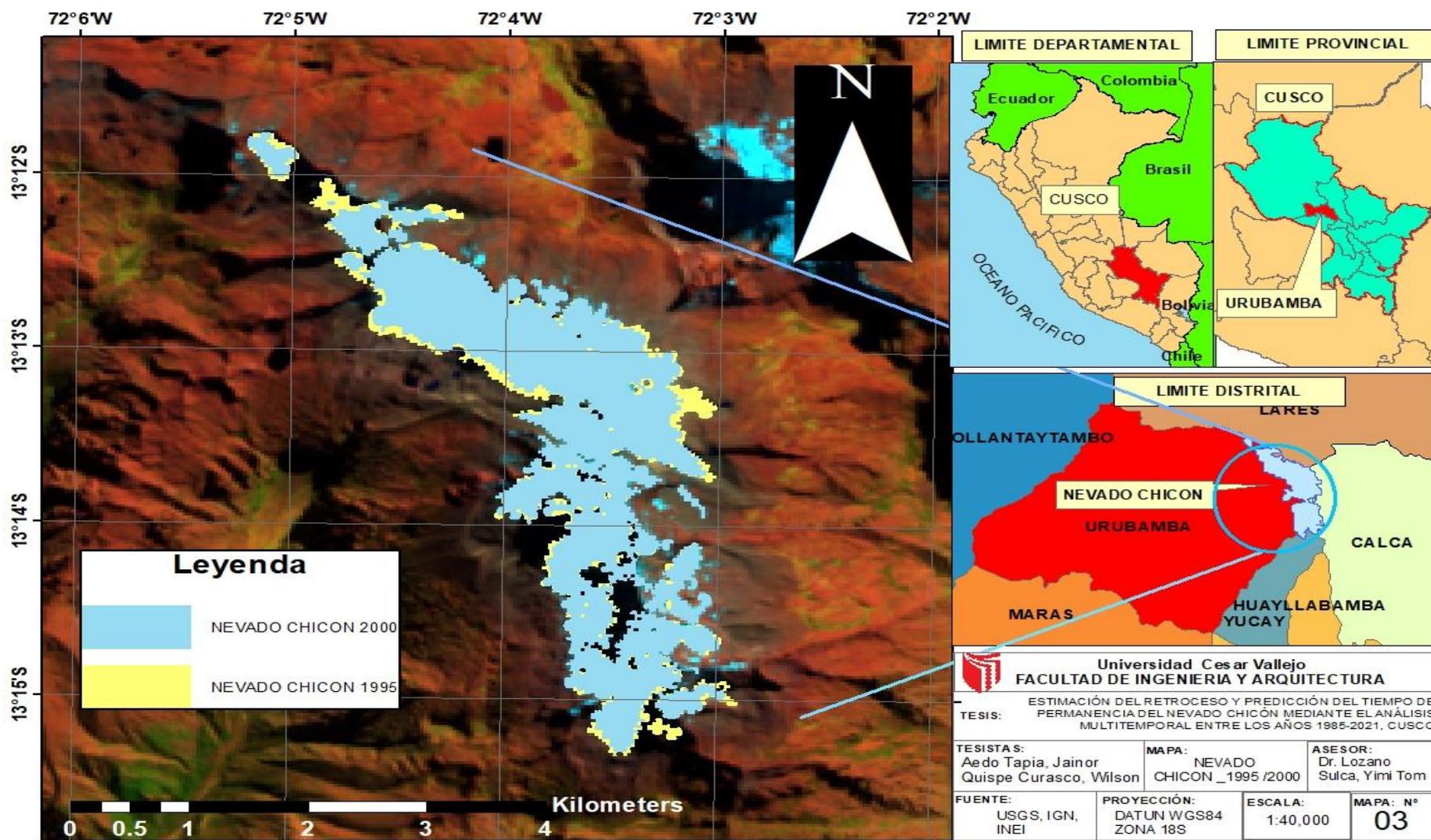
**Anexos 5:** variación del retroceso de la cobertura glaciaria del nevado chicón entre los años 1985 a 1990



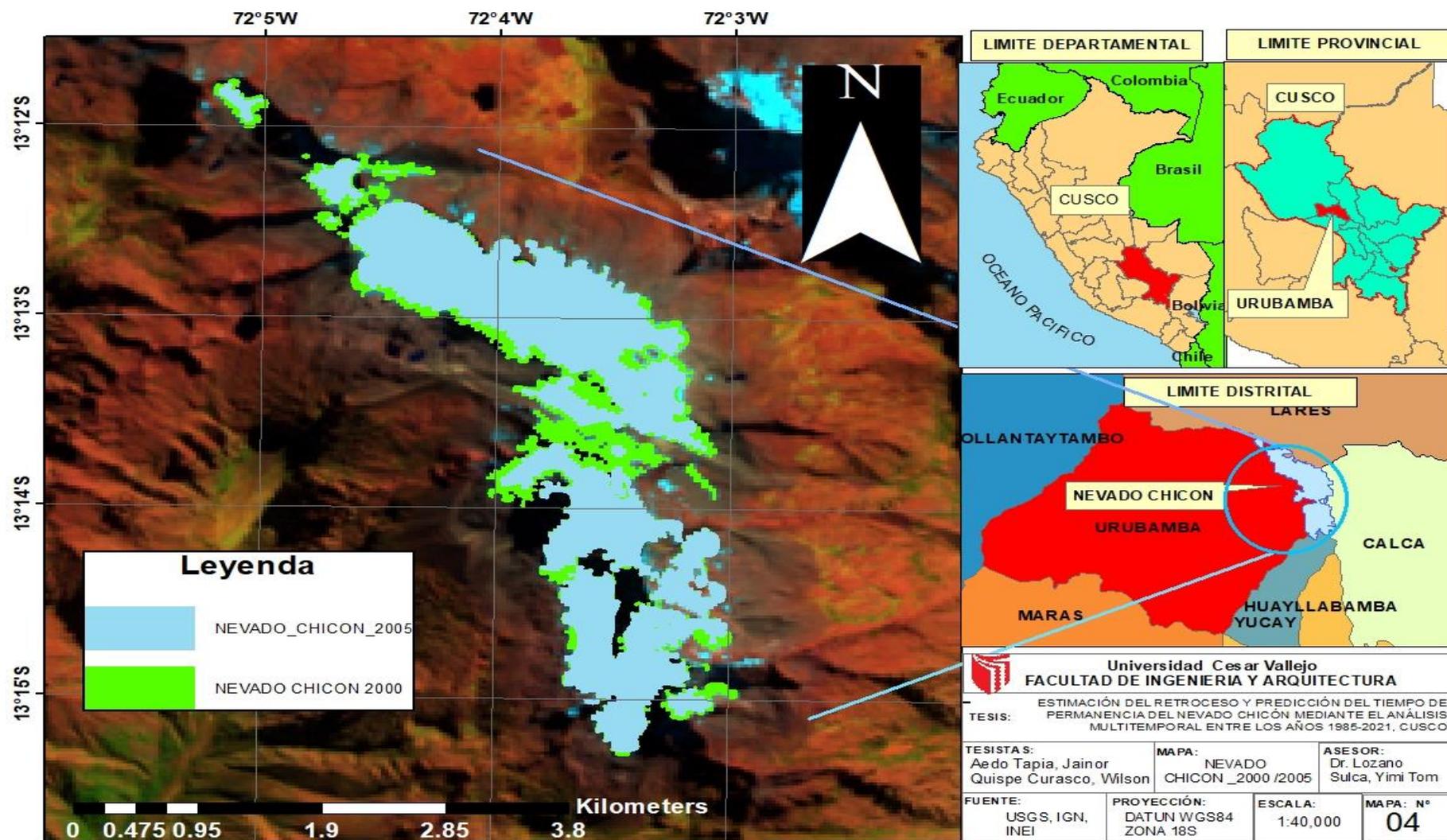
Anexos 6: variación del retroceso de la cobertura glaciар del nevado chicón entre los años 1990 a 1995



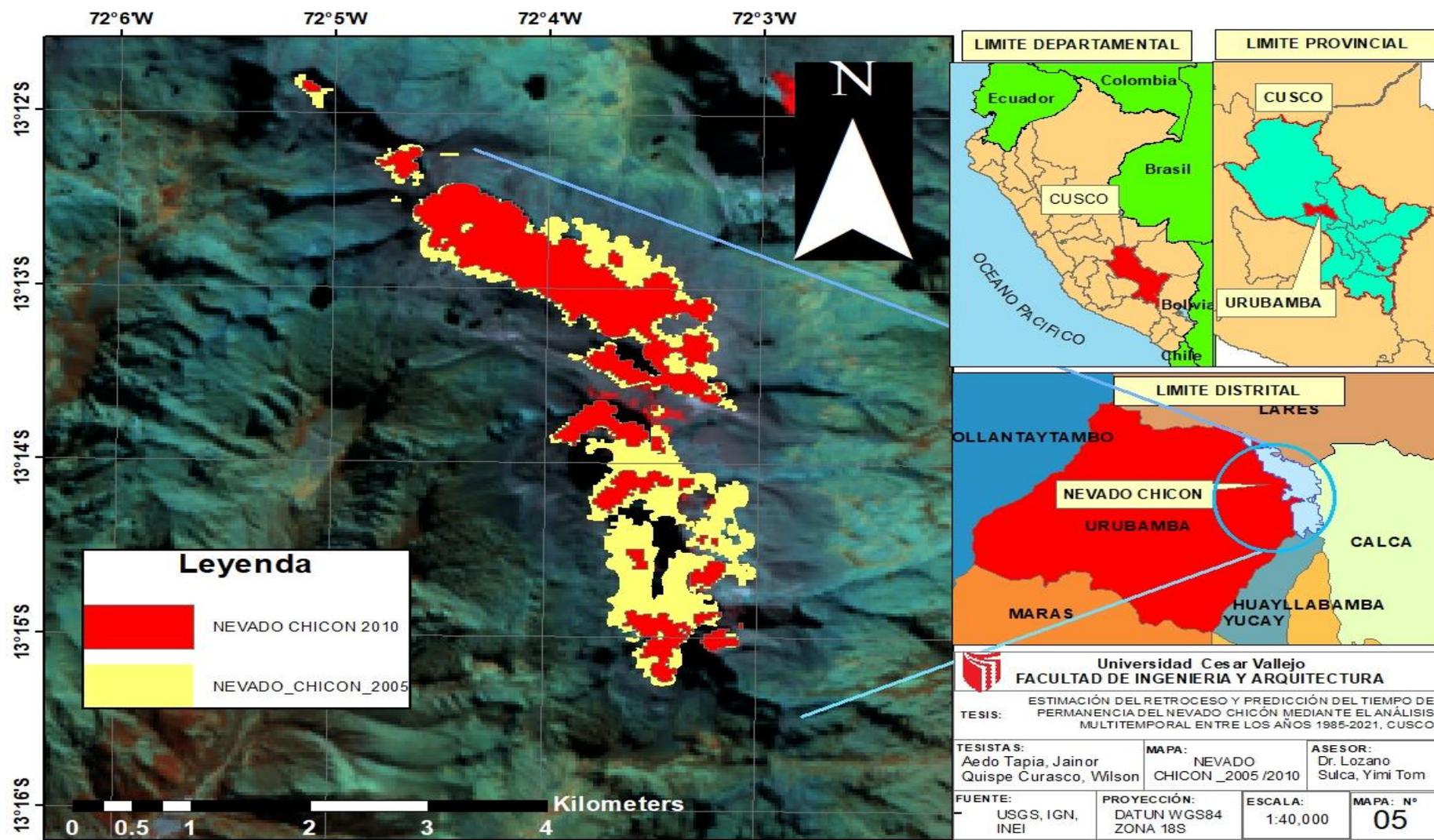
Anexos 7: variación del retroceso de la cobertura glaciар del nevado chicón entre los años 1995 a 2000



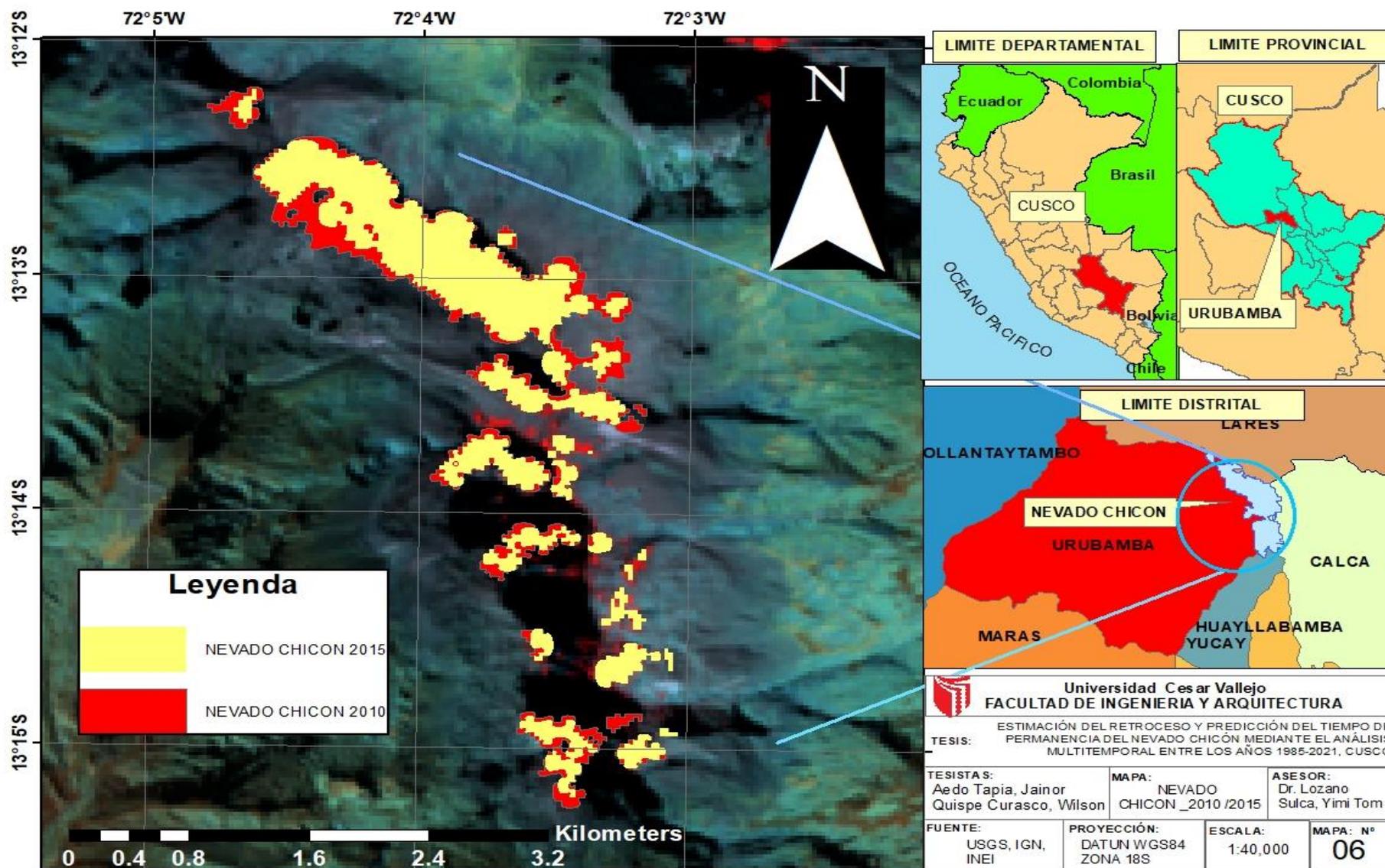
**Anexos 8:** variación del retroceso de la cobertura glaciar del nevado chicón entre los años 2000 a 2005



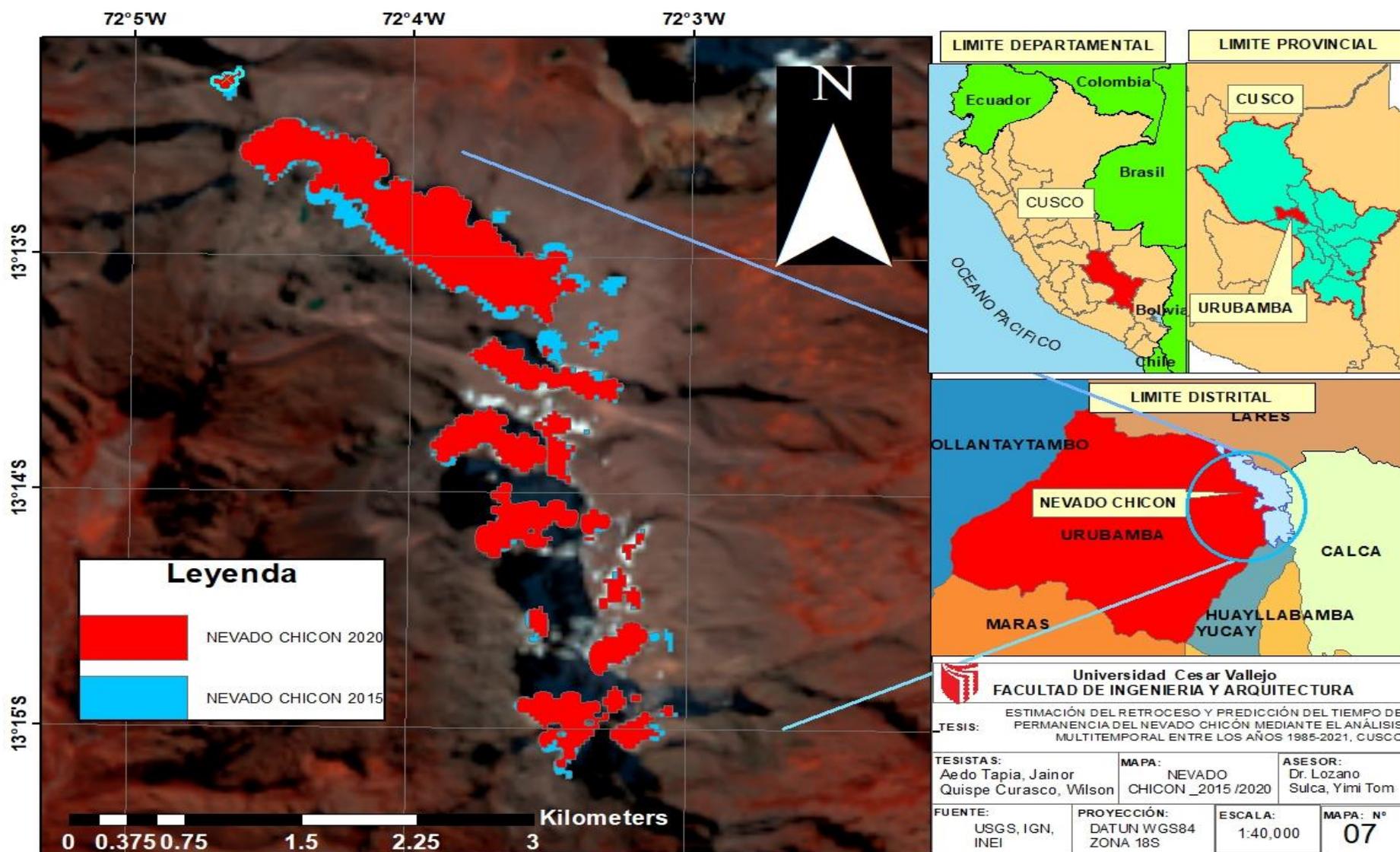
**Anexos 9:** variación del retroceso de la cobertura glaciar del nevado chicón entre los años 2005 a 2010



**Anexos 10:** variación del retroceso de la cobertura glaciar del nevado chicón entre los años 2010 a 2015



Anexos 11: variación del retroceso de la cobertura glaciar del nevado chicón entre los años 2015 a 2020



Anexos 12: variación del retroceso de la cobertura glaciar del nevado chicón entre los años 1985 a 2021

