



Universidad **César Vallejo**

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA

AMBIENTAL

**Diagnóstico de lagunas glaciares con potencial GLOF a causa del  
retroceso glaciar en el nevado Chicón-Pumahuanca, cordillera**

**Urubamba, Cusco, 2016 – 2021**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Ambiental

**AUTORES:**

Chicata Céspedes, Dagner Gustavo (ORCID: 0000-0002-5026-5934)

Cruz Huillca, Kennedy (ORCID: 0000-0001-7173-6136)

**ASESOR:**

Dr. Sernaque Aucchuasi, Fernando Antonio (ORCID: 0000-0003-1485-5854)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Gestión de Riesgos y Adaptación al Cambio Climático.

LIMA-PERÚ

2022

## Dedicatoria

Dedico esta investigación a todos/as las personas que nos apoyaron en cada etapa del proceso para su culminación. A mis padres Edgar Chicata Pacheco y Leonor Céspedes Céspedes, por el ánimo y esfuerzo brindado. **Dagner Chicata.**

A mi Padre Don Santiago Cruz que fue piedra angular y soporte en el transcurso de mis estudios académicos, a mi Madre en el Cielo quien siempre con su bendición está presente en mi diario vivir y pude llegar hasta este momento, a mis hermanos menores Jesús y Luis quienes fueron motivación para siempre seguir adelante, y a mis familiares y amigos. **Kennedy Cruz.**

## Agradecimiento

La culminación de la presente tesis fue uno de los procesos más difíciles y enriquecedores de nuestras vidas universitarias. Agradecemos a la universidad Cesar vallejo por permitir culminar este proceso de mucho valor académico, en especial a nuestro asesor Dr. Fernando Antonio Sernaque Auccahuasi quien nos acompañó en todo el proceso de construcción y corrección.

## Índice de contenido

Carátula .....	i
Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de figuras .....	vi
Índice de cuadros .....	viii
RESUMEN .....	ix
ABSTRACT .....	x
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II.MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA.....	16
3.1 Tipo y diseño de investigación .....	16
3.1.1 Tipo.....	16
3.1.2 Diseño.....	16
3.2 variables y operacionalización .....	16
3.2.1 Variables.....	16
3.3 Población, muestra y muestreo .....	17
3.3.1 Población .....	17
3.3.2 Muestra .....	17
3.3.3 Muestreo .....	18
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	18
3.5 Procedimientos .....	19

3.6 MÉTODO DE ANÁLISIS DE DATOS.....	31
IV. RESULTADOS .....	32
V. DISCUSIÓN.....	50
VI. CONCLUSIONES.....	55
VII. RECOMENDACIONES.....	56
REFERENCIAS.....	57
ANEXOS .....	65

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Proceso de la formación de una laguna glaciar con potencial de desborde. (fuente, ANA). .....	13
<b>Figura 2.</b> Componentes de un sistema de teledetección. (CHUVIECO, 2000). .....	14
<b>Figura 3.</b> Espectros electromagnéticos. (CHUVIECO, 2000). .....	15
<b>Figura 4.</b> Mapa N°1, ubicación del nevado Pumahuanca- Chicón. Elaboración propia. ....	17
<b>Figura 5.</b> Etapas para obtener la información y análisis. Elaboración propia. ....	19
<b>Figura 6.</b> Retroceso glaciar de los nevados Pumahuanca y Chicón entre los años 2016 y 2021. Elaboración propia. ....	32
<b>Figura 7.</b> Retroceso glaciar 2016-2021, nevado Chicón. Elaboración propia. ....	33
<b>Figura 8.</b> Retroceso glaciar 2016-2021, nevado Pumahuanca. Elaboración propia. ....	34
<b>Figura 9.</b> Retroceso glaciar de los nevados Pumahuanca y Chicón entre los años 2016 y 2021. Elaboración propia. ....	35
<b>Figura 10.</b> Inventario de lagunas glaciares 2016-2021. Elaboración propia. ....	36
<b>Figura 11.</b> Crecimiento de lagunas glaciares pequeñas 2016- 2021. Elaboración propia. .....	37
<b>Figura 12.</b> Crecimiento de lagunas glaciares medianas 2016-2021. Elaboración propia. ....	38
<b>Figura 13.</b> Crecimiento de lagunas glaciares grandes 2016-2021. Elaboración propia. .	39
<b>Figura 14.</b> Retroceso glaciar y crecimiento de área lagunar 2016-2021. Elaboración propia. ....	40
<b>Figura 15.</b> Lagunas glaciares con potencial GLOF según criterio: distancia laguna glaciar- área glaciar y laguna glaciar- río. Elaboración propia. ....	41
<b>Figura 16.</b> Mapa N° 2, Retroceso glaciar 2016-2021 del nevado Pumahuanca- Chicón. Elaboración propia. ....	73
<b>Figura 17.</b> Mapa N° 3, Lagunas glaciares 2021 del nevado Pumahuanca- Chicón. Elaboración propia. ....	74

<b>Figura 18.</b> Mapa N°4, Lagunas glaciares con potencial GLOF 2021 del nevado Pumahuanca- Chicón. Elaboración propia.....	75
<b>Figura 19.</b> Mapa N°5, Lagunas glaciares con potencial GLOF 2021 del nevado Pumahuanca- Chicón. Elaboración propia.....	76
<b>Figura 20.</b> Flujo de procedimiento del retroceso glaciar 2016, 2018 y 2021. Elaboración propia.....	77
<b>Figura 21.</b> Flujo de procedimiento del área lagunar 2016, 2018 y 2021. Elaboración propia.....	78
<b>Figura 22.</b> Flujo de procedimiento de la identificación de lagunas glaciares medianas y grandes .....	79
<b>Figura 23.</b> Flujo de procedimiento de lagunas glaciares con potencial GLOF 2021 en base a los criterios: distancia laguna glaciar- río y laguna glaciar- área glaciar. Elaboración propia. ....	79
<b>Figura 24.</b> Flujo de procedimiento de la pendiente del área de estudio. Elaboración propia.....	80
<b>Figura 25.</b> Flujo de procedimiento de la obtención de cuencas hidrográficas. Elaboración propia.....	81

## Índice de cuadros

<b>Cuadro 1.</b> Características de las imágenes Landsat 8 OLI TM utilizadas.....	20
<b>Cuadro 2.</b> <i>Tamaño de área lagunar glaciar.</i> .....	23
<b>Cuadro 3.</b> <i>Distancia entre laguna glaciar al río</i> .....	23
<b>Cuadro 4.</b> <i>Clasificación del nivel de riesgo según el área lagunar</i> .....	26
<b>Cuadro 5.</b> <i>Volumen del desembalse de las lagunas glaciares</i> .....	26
<b>Cuadro 6.</b> <i>Clasificación de nivel de riesgo del tipo de dique</i> .....	27
<b>Cuadro 7.</b> <i>Clasificación de pendiente</i> .....	27
<b>Cuadro 8.</b> <i>Clasificación del nivel de peligro distancia lagunar glaciar-río</i> .....	28
<b>Cuadro 9.</b> <i>Clasificación del nivel de peligro distancia lagunar- glaciar</i> .....	28
<b>Cuadro 10.</b> <i>Clasificación del nivel de peligro distancia lagunar- centro poblado</i> .....	28
<b>Cuadro 11.</b> <i>Clasificación del nivel de peligro distancia río - centro poblado</i> .....	29
<b>Cuadro 12.</b> <i>Ponderación de cada parámetro.</i> .....	29
<b>Cuadro 13.</b> <i>Nivel de riesgo de lagunas glaciares respecto a los centros poblados en base a la ponderación de parámetros de lagunas glaciares con potencial GLOF.</i> .....	30
<b>Cuadro 14.</b> <i>Lagunas glaciares según ubicación de cuenca.</i> .....	40
<b>Cuadro 15.</b> <i>Características de lagunas glaciares con potencial GLOF.</i> .....	42
<b>Cuadro 16.</b> <i>Características geomorfológicas de lagunas glaciares con potencial GLOF</i> .....	42
<b>Cuadro 17.</b> <i>Nivel de riesgo de las lagunas glaciares con potencial glof según parámetro.</i> .....	48
<b>Cuadro 18.</b> <i>Lagunas glaciares con potencial GLOF según su nivel de riesgo.</i> .....	49
<b>Cuadro 19.</b> Matriz de consistencia.....	66
<b>Cuadro 20.</b> Matriz de operalización de variable. ....	70
<b>Cuadro 21.</b> Validación de instrumentos de investigación.....	71
<b>Cuadro 22.</b> Lagunas glaciares identificadas, 2016. ....	82
<b>Cuadro 23.</b> Lagunas glaciares identificadas, 2018 .....	84
<b>Cuadro 24.</b> Lagunas glaciares identificadas, 2021 .....	86

## RESUMEN

Los glaciares de alta montaña vienen atravesando un retroceso glaciar sin precedentes, generando un acelerado crecimiento de lagunas glaciares y cambios en sus parámetros geomorfológicos que pueden generar una mayor frecuencia de situaciones de alto riesgo por desborde de lagunas glaciares con potencial GLOF. Ante este escenario, el presente estudio busca realizar el diagnóstico de lagunas glaciares con potencial GLOF a causa del retroceso glaciar en los nevados Pumahuanca y Chicón entre el 2016 y 2021, para lo cual se determinó el retroceso glaciar e identificó las lagunas glaciares mediante los procesos matemáticos de NDSI y NDWI en los nevados Chicón y Pumahuanca, además, se determinó las lagunas glaciares con potencial GLOF según los parámetros geomorfológicos y el nivel de riesgo lagunar respecto al poblado más cercano, procesos realizados mediante la herramienta de Model Builder en el software ArcGIS y Google Earth Pro. Los resultados demuestran que el nevado Pumahuanca y Chicón tuvieron un retroceso glaciar total del 21% con una tasa de retroceso anual del 4%, se determinó 59 lagunas glaciares para el 2021, de las cuales, 8 son catalogadas como lagunas glaciares con potencial GLOF con un nivel de riesgo que va de medio, alto y extremo.

**Palabras clave:** GLOF, NDSI, NDWI, Laguna glaciar, Retroceso glaciar.

## ABSTRACT

High mountain glaciers are undergoing an unprecedented glacial retreat, generating an accelerated growth of glacial lagoons and changes in their geomorphological parameters that can generate a greater frequency of high-risk situations due to glacial lagoon overflow with GLOF potential. Given this scenario, this study seeks to diagnose glacial lagoons with GLOF potential due to glacial retreat in the Pumahuanca and Chicón snow-capped mountains between 2016 and 2021, for which glacial retreat was determined and glacial lagoons were identified through the mathematical processes of NDSI and NDWI in the Chicón and Pumahuanca snow-capped mountains. In addition, the glacial lagoons with GLOF potential were determined according to geomorphological parameters and the level of lagoon risk with respect to the nearest town, processes carried out using the Model Builder tool in ArcGIS and Google Earth Pro software. The results show that the Pumahuanca and Chicón snow-capped mountains had a total glacial retreat of 21% with an annual retreat rate of 4%, 59 glacial lagoons were determined for 2021, of which 8 are catalogued as glacial lagoons with GLOF potential with a risk level ranging from medium, high and extreme.

**Keywords:** GLOF, NDSI, NDWI, Glacial lagoon, Glacial retreat.

## I. INTRODUCCIÓN

El Perú cuenta con la superficie glaciaria más grande de Sudamérica, albergando un 70% de agua dulce en estado sólido, por lo tanto, es considerado uno de los más importantes a nivel mundial (MEDINA, 2014, pág. 2), los glaciares tropicales son considerados indicadores del calentamiento global por la vulnerabilidad que sufren a cambios extremos, provocando un rápido retroceso de las áreas glaciares, evidenciado a través de registros fotográficos aéreos y satelitales en los últimos 50 años (INAIGEM, 2018, pág. 102). Entre los años 1962 y 2016 se registró un 53.56 % de retroceso glaciario a una tasa de retroceso del 1.3% en el año 2016 (INAIGEM, 2017, pág. 46), los efectos del retroceso glaciario generan la formación y crecimiento de lagunas glaciares con potencial de desborde (GLOF) alrededor del mundo, que se incrementan rápidamente a causa del cambio climático (DAN H. & BURR, 2020, pág. 939), provocando el aumento de volumen en lechos glaciares que quedan al descubierto por el deshielo generado (COLONIA & TORRES, 2017, pág. 2). Las lagunas glaciares de alta montaña son peligrosas para los habitantes de cuenca baja ya que el potencial de desborde (GLOF) puede generar una ruptura del dique morrenico por su constante crecimiento (BABU, 2013, pág. 359), en consecuencia, se pueden suscitar desastres como avalanchas, deslizamientos de tierra, flujos de escombros e inundaciones repentinas, afectando a las poblaciones ubicadas en el área de confluencia. (GUARDAMIO L., 2019, pág. 9), los efectos causados son desastrosos como el que se suscitó el 13 de diciembre de 1941 en Huaraz a causa del desprendimiento de una masa de hielo hacia la laguna Palcacocha, provocando el rompimiento de dique y desborde de dicha laguna, se registró la muerte de 1800 personas aproximadamente (Wegner, 2014, pág. 52). La tasa de retroceso en la cordillera Urubamba es cada vez más acelerado, entre los años 1970 y 2009 se perdió 25.59 km<sup>2</sup> que representa el 61.69 % de área glaciaria (ANA U. D., 2014, pág. 39) para el año 2016 la reducción de área glaciaria es más notoria, tan solo existe un 23.54 km<sup>2</sup> de área glaciaria que cubre la cordillera Urubamba con un retroceso de 1.01 km<sup>2</sup>/año (INAIGEM, 2018, pág. 230) mientras que el crecimiento y formación de nuevas lagunas son cada vez más altas, para el 2016 se registraron 272 lagunas glaciares con una superficie de 16.12 km<sup>2</sup> (ANA, 2014, pág. 9), otro claro ejemplo del potencial de desastre es el suscitado el 23 de febrero del 2020, una avalancha inicial impactó sobre la laguna Salkantaycocha provocando el

desborde y posterior desplazamiento de flujo, causando destrucción y muerte de varias personas aguas abajo (VILCA, 2021, pág. 3). El riesgo generado por las lagunas glaciares de alta montaña es de alta probabilidad, el calentamiento global es cada vez más acelerado, los cambios bruscos en cada época alteran el ciclo de precipitación sólida en época de lluvias y liberación de agua en época de estiaje (SCHAUWECKER, 2017, pág. 5) generando un estrés hídrico y peligro latente en las comunidades de cuenca baja que hacen uso de este recurso hídrico para su actividad diaria. En este sentido planteamos el siguiente problema general: ¿Cuál es el diagnóstico de lagunas glaciares con potencial GLOF a causa del retroceso glaciar en los nevados Pumahuanca y Chicón? Y problemas específicos: ¿Cuál es el área de pérdida glaciar en los años 2016-2021 en los nevados Pumahuanca y Chicón?, ¿Cuál es el crecimiento de lagunas glaciares en los nevados Pumahuanca y Chicón en los años 2016-2021?, ¿Cuáles son las características geomorfológicas de las lagunas glaciares catalogadas con potencial GLOF en los nevados Pumahuanca y Chicón para el año 2021? y ¿Cuál es el nivel de riesgo de las lagunas glaciares con potencial GLOF respecto a las poblaciones de cuenca baja en los nevados Pumahuanca y Chicón?

Es de suma importancia plantear el siguiente objetivo general: Realizar el diagnóstico de lagunas glaciares con potencial GLOF a causa del retroceso glaciar en los nevados Pumahuanca y Chicón, y objetivos específicos: Determinar la pérdida de área glaciar entre los años 2016-2020 en los nevados Pumahuanca y Chicón, determinar el crecimiento de lagunas glaciares en los nevados Pumahuanca y Chicón entre los años 2016-2021, identificar las características geomorfológicas de las lagunas glaciares catalogadas con potencial GLOF en los nevados Pumahuanca y Chicón para el año 2021 y determinar el nivel de riesgo de las lagunas glaciares con potencial GLOF respecto a las poblaciones de cuenca baja en los nevados Pumahuanca y Chicón para el 2021.

De la misma forma, planteamos la hipótesis general: Se diagnosticaron lagunas glaciares que cumplen con las características de lagunas glaciares con potencial GLOF a causa del retroceso glaciar en el periodo 2016-2021 en los nevados Pumahuanca y Chicón, e hipótesis específica: Se tiene un retroceso significativo del área glaciar entre los años 2016-2021 en los nevados Pumahuanca y Chicón, se incrementó el área lagunar de cada laguna glaciar en los nevados Pumahuanca

y Chicón entre los años 2016-2021, las características geomorfológicas de las lagunas glaciares con potencial GLOF permiten describir el estado en que se encuentran cada laguna glaciaria, por último, el 20% de lagunas glaciares tienen un nivel de riesgo alto respecto a las comunidades de cuenca baja de los nevados Pumahuanca y Chicón.

Esta justificación está enmarcada en el tipo metodológico, ya que generara una nueva base de datos actualizada respecto al estado en que se encuentran los glaciares y lagunas glaciares con potencial GLOF en los nevados Pumahuanca y Chicón, de esta manera generar planes de prevención y mitigación en las poblaciones de cuenca baja mediante proyectos que minimicen el riesgo causado por las lagunas glaciares, así mismo, servir de base para generar proyectos enmarcados al aprovechamiento hídrico de este recurso que se encuentra en plena formación.

## II.MARCO TEÓRICO

La investigación realizada por Kulkarni, Pradeep y Namboodiri (2019) en el glaciar Sikkim Himalaya, determinaron el estallido de lagos glaciares con potencial de desborde, con el objetivo de mapear posibles sitios lacustres y predecir una tasa de expansión alta en los lagos de Sikkim, se identificaron las áreas glaciares mediante imágenes satelitales del 2001 y 2002, la velocidad superficial mediante el método de COSI-Corr, profundidad con el flujo laminar, topografía con el uso de imágenes DEM y la comparación de la data obtenida del 2001 en relación al 2015 en el lago South Lhonak, todo ello en apoyo de la teledetección y recopilación de data histórica. Los resultados demuestran la expansión de cuatro lagos glaciares de las 10 que se identificaron, la velocidad media de la línea de flujo, distribución de espesor, topografía y las mediciones realizadas en el lago South Lhonak demuestran un acelerado crecimiento en los valores analizados, también la comparación de lago South Lhonak en el año 2001 y 2015 indica una expansión de lago de 0.80 a 1.30 km<sup>2</sup> además el modelo indica que se expandirá hasta 1.90 km<sup>2</sup>, finalmente los resultados obtenidos indican un aumento de potencial por el crecimiento en la mayoría de los parámetros analizados (SRINIVASALU, 2019).

Taigang, Weicai y Tanguang (2021) realizaron el estudio de futuras inundaciones repentinas a causa de lagos glaciares en la cuenca del Poiqu- Himalaya central, los niveles de potencial GLOF por los lagos glaciares, tienen un amplio historial con factores desencadenantes en el aspecto social y económico en la cuenca baja, dichos impactos pueden causar estragos tanto en China como Nepal. Por ello, determinaron el nivel de peligrosidad y posibles estallidos de los lagos glaciares generados por los factores desencadenantes, seleccionaron 7 lagos de alto riesgo para simular el potencial GLOF en diferentes escenarios mediante el uso de imágenes satelitales Landsat 5-TM, Sentinel A-2, GaoFen y DEM donde se analizó la estimación de volumen de lago, descarga máxima, tiempo de ruptura e hidrograma de ruptura de presa, para el análisis se apoyaron del módulo HEC-RAS y uso de teledetección para el procesamiento de parámetros. Los resultados que obtuvieron demuestran que los 7 lagos estudiados tienen un alto nivel de riesgo a largo plazo, se catalogaron 57,5 km de carreteras, 754 edificios, 3,3 km<sup>2</sup> de tierras de cultivo y 25 puentes que se encuentran en riesgo de sufrir daños por un evento GLOF (ZHANG, 2021).

Otra contribución es la de Naseem y Javed (2020) realizaron un análisis geoespacial y simulación de riesgo de inundación en la cuenca Shyok de Pakistán para mapear lagos potencialmente peligrosos y simular el peligro que puedan sufrir los asentamientos de cuenca baja. Utilizaron programas de apoyo como HEC-RAS, GIS y teledetección mediante el uso de imágenes satelitales Landsat 7 y DEM, los parámetros que tomaron en cuenta fueron: acumulación de flujo, crecimiento de lagos, volumen y tipo de presa de lago. Los resultados demuestran que los asentamientos de la cuenca Shyok tienen una alta amenaza de GLOF, también se determinó dos lagos potencialmente peligrosos, con una proyección en descarga de un 20% mientras el caudal es de 300 m<sup>3</sup>/s y caudal alto de 500 m<sup>3</sup>/s, puede afectar entre un 30 a 40 % del pueblo de Barah (GILANY, 2020)

Guoxiong, Martin, Adam Emmer (2020) realizaron un análisis GLOF de la repentina inundación de la laguna glacial en Jinwuco ubicado en Tíbet -China, con el objetivo de determinar las causas, impactos e implicaciones, procedieron a analizar cada parámetro, para ello hicieron uso de imágenes satelitales Landsat 1-3 MSS, Landsat-5 TM, Landsat 7 ETM+ y Landsat-8 OLI desde el año 1965 y 2020, herramientas de simulación numérica basada en GIS r.avaflow para la simulación de cadena de procesos, DEM para la simulación de inundación donde analizaron el volumen del lago, tiempo de ruptura y descarga máxima. Primeramente, analizaron las imágenes satelitales para determinar el retroceso glacial con el uso de la teledetección, procedieron a analizar los DEM para calcular los parámetros que permiten identificar el evento GLOF y la simulación empírica mediante el uso de GIS r.avaflow para determinar las escenas antes y después del evento ocurrido. Los resultados indican que desde el 1965 a 2020, la superficie glacial se amplió en 0.2 km<sup>2</sup> (+56%) a 0.56 km<sup>2</sup> y posteriormente disminuyó a 2.26 km<sup>2</sup> (-54%) después del GLOF, la reconstrucción de los hechos indican que el GLOF tenía un volumen de 10 millones de m<sup>3</sup>, un tiempo medio de rotura de 0.62 y caudal pico medio de 5602 m<sup>3</sup> en la presa, en base a las imágenes satelitales lograron identificar los hechos antes y después de evento, donde identificaron un deslizamiento originado en la morrena lateral occidental que probablemente fue causado por las extremas lluvias, los resultados indican que la desestabilidad de talud a causa del retroceso glacial produce la expansión del cuerpo de agua lagunar generando un proceso

GLOF que va en aumento y teniendo un efecto significativo cuenca abajo (ZHENG, MERGILI, & et., 2021)

Oscar V., Martin M., Adam E. (2020) realizaron un estudio en el lago glaciar Salkantaycocha ubicado en la cordillera Vilcabamba, con el objetivo de comprender los procesos involucrados en la cadena de proceso GLOF ocurrido el 23 de febrero del 2020 por el deslizamiento de roca y hielo hacia la laguna Salkantaycocha provocando su desborde y afectación a la cuenca baja. Para ello, usaron datos de campo, imágenes satelitales KIMPSAT-3 para determinar los procesos suscitados antes y después del evento ocurrido, datos meteorológicos brindados por el SENAMHI, modelos de apoyo como TanDEM-X para el terreno representado, DEM ALOS-PALSAR obtenida para las área sin cobertura, todo ello acompañado con la simulación de deslizamientos de tierra y cuerpo de agua con el programa GIS r.avaflow. Los resultados demuestran que el volumen inicial de deslizamiento fue de 1 a 2 millones de  $m^3$ , los datos meteorológicos indicaron lluvias y posible deshielo que genero el deslizamiento, la simulación demostró un arrastre de tierra de 27 m de altura, el pico de descarga GLOF alcanzo aproximadamente  $10.000 m^3$  pero se drenó menos del 10% del volumen del lago y alcanzó entre 11 a 15 m de altura. Por lo tanto, el material de derrumbe depositado a la laguna glaciar fue mucho mayor que el volumen de agua vertida, los resultados contribuyen a la comprensión de los GLOF que se desencadenan en regiones de alta montaña (VILCA, 2021).

Simon K., Ashim S., Owen R. y Guoqing Z. determinaron el peligro de inundación por estallido de los lagos Galongco y Gialongco en condiciones actuales y futuras ubicada en la cuenca transfronteriza del Himalaya. Para el procesamiento de data analizaron el volumen, profundidad y área del lago Galongco y Gialongco mediante Google Earth Imagery, para el modelado GLOF de futuros lagos hicieron uso del modelo GlabTop y modelo de elevación digital (DEM SRTM), para el proceso de simulación de estallido de la laguna glaciar hicieron uso del módulo de rotura de presa HEC\_RAS. Los resultados obtenidos indican el lago Jialongco representa una amenaza directa para la ciudad de Nyalam y las comunidades aguas abajo debido al alto potencial de una avalancha de hielo que puede desencadenar un estallido de laguna glaciar, el futuro lago en caso de un desborde tardaría 20 min

más rápido que los otros lagos con potencial de desborde en llegar a Nepal (ALLEN, 2021)

Los trabajos en Perú tienen una amplia data respecto a la formación de lagunas glaciares, por ejemplo, Lucia Guardamio y Fabian D. (2019) realizaron un estudio en la cordillera Vilcabamba con el objetivo de determinar los cambios superficiales de las lagunas glaciares. Dicho trabajo se realizó mediante el uso de imágenes satelitales Landsat TM 5 y Landsat OLI 8 en el periodo de 1991- 2014 y uso de un modelo digital de elevación (DEM), para el procedimiento delimitaron las lagunas glaciares utilizando bandas NDWI que permite determinar áreas con espejo lagunar y NDSI para áreas con cubierta glaciaria, los parámetros lagunares que tomaron en cuenta fueron: área, periodo de formación, profundidad, volumen, espesor promedio de la línea central de flujo y distancia de la laguna glaciaria, para el análisis de lagunas GLOF determinaron los parámetros de geometría, material, volumen y ubicación. Los resultados brindados indican que el área glaciaria en la cordillera Vilcabamba retrocedió en un 51% entre 1991 y 2014, con volumen inicial de 201km<sup>2</sup> se redujo hasta 98.9 km<sup>2</sup> en los años 2009, 2010 y 2014; respecto al crecimiento del número de lagunas glaciares, identificaron 329 lagunas glaciares (5.2 km<sup>2</sup>) para el 2014 con una tasa de formación de 0.8% 1991-2001 y 2.% entre el 2010-2014, lograron identificar 52 lagunas glaciares con rápido incremento en volumen entre ellos 12 lagunas ampliaron en 100% a más respecto a su área glaciaria, 45 lagunas crecieron un mínimo y 9 se extendieron en un tamaño medio, respecto al potencial efecto que puedan sufrir las poblaciones aledañas, lograron identificar 13 lagunas ubicadas en el recorrido de flujo , también dos lagunas glaciares presentan un potencial baja-mediana y 3 lagunas glaciares como amenaza mediana- alta. Por último, determinaron 14 poblados ubicados en pendiente baja de lagunas glaciares, 10 de las lagunas glaciares representan una amenaza baja-mediana y mediana- alta. (DRENKHAN, 2019).

Viani en su estudio sobre Valor socioambiental de los lagos glaciares: evaluación en el Valle de Aosta (Alpes italianos occidentales) indica que el retroceso progresivo de los glaciares puede afectar profundamente las áreas de alta montaña, sin embargo, también se están formando nuevos lagos glaciares y están surgiendo posibles oportunidades (servicios de geo sistemas) y riesgos (inundaciones) relacionados. En las últimas décadas, los lagos glaciares de los Alpes europeos

han aumentado en número y tamaño, incluso en el área de estudio (región del valle de Aosta, noroeste de los Alpes, Italia). Por ello presentaron la metodología de evaluación a escala regional para hallar el potencial de los lagos glaciares para el desarrollo socioambiental de los territorios de montaña. Los resultados demuestran que dentro del Valle de Aosta, se identificaron 337 lagos glaciares, con una superficie total de aproximadamente 1,55 km<sup>2</sup>, dichos lagos fueron evaluados numéricamente y clasificados a través de un análisis semiautomático en un entorno GIS que se basó en un conjunto de parámetros relacionados con: Valor geo ambiental, existencia de infraestructuras humanas y/o actividades cercanas a los lagos y la interacción potencial de inestabilidades naturales dentro de las áreas que rodean los lagos. Los resultados mostraron la solidez de la evaluación considerando algunos de los lagos mejor puntuados (p. ej., Lago del Miage, lagos en el glaciar Rutor, etc.) y sectores montañosos (áreas del Mont Blanc y Matterhorn).

Srinivasalu, en su estudio “Estimación del volumen de lagos glaciares existentes y potenciales, Sikkim Himalaya, India” donde adoptan un técnico para estimar la profundidad y volumen de lagos glaciares en los glaciares de Sikkim Himalaya de manera automática basándose en los parámetros de velocidad, pendiente y flujo laminar de hielo, así mismo permite predecir la expansión de los lagos glaciares existentes. Para el procesamiento de datos usaron el lenguaje de programación Python para mapear los sitios con potencial amenaza por los lagos glaciares. Los resultados demuestran que el volumen del lago South Lhonak (en 2015) se estimó en que tiene un volumen de 60Mm<sup>3</sup> y una expansión a futuro de 60 Mm<sup>3</sup> con la retirada prolongada del glaciar, es probable que el lago se expanda a un volumen máximo de  $90 \pm 16,2$  millones de m<sup>3</sup>. Dicha técnica permite brindar información para los planificadores que podrán tomar acciones más específicas y comprender el potencial de desastre de los lagos glaciares. (SRINIVASALU, 2019)

La proyección de lagunas glaciares es importante es así que Wilfriend H, Lucia G, Fabian D, Arnaldo T. y Alejo C. (2019) realizaron la proyección de lagunas glaciares en la cordillera glaciares de Perú con el objetivo de generar una base de datos geoespacial sobre posibles sitios de futuras lagunas glaciares ante el acelerado retroceso de lagunas glaciares y generar estrategias para la adaptación al cambio climático y aprovechamiento de recurso hídrico. Para ello, hicieron uso del modelo

GlabTop con el apoyo de GIS para el análisis y estimación de lagunas glaciares futuras con el apoyo de DEM SRTM para la simulación de depresiones y áreas potenciales para la formación de lagunas glaciares futuras. Llegaron a determinar 287 sitios con depresiones en lechos glaciares ubicados en 11 cordilleras peruanas, lo cual indica un volumen aproximado de 231 millones de m<sup>3</sup> teniendo a la cordillera Urubamba como mayor formador de lagunas futuras (GUARDAMIO L. , 2019).

Daniel C, Jufit t. Wilfried H. y Simone S. (2017) realizaron un inventario de profundidades de lechos glaciares y posibles nuevos lagos en áreas de desglaciación en los Andes Peruanos. Para el proceso, usaron modelo de elevación digital (DEM) e imágenes de alta resolución de Google Earth para el procesamiento mediante GIS donde consideraron el área glaciar con pendiente superficial, inicio de formación de grietas y estrechamiento lateral de dirección de flujo, se apoyaron del modelo GlabTop que permite calcular la profundidad del hielo a partir de una pendiente y determinar futuras lagunas glaciares. Los resultados demuestran que existe 201 sobre profundización es de lechos glaciares superiores a los 100 km<sup>2</sup> de las cuales 54 se encuentran en los Andes del Norte, 43 en los Andes Centrales y 104 en los Andes del Sur, la mayoría de los lagos se formaran en depresiones del lecho rocoso, por lo que se determina presas estables dependiendo del material cubierto. Finalmente determinaron que el crecimiento de lagunas glaciares es inminente por lo que sugieren un estudio (COLONIA & TORRES, 2017).

Arévalo en su tesis “Análisis multitemporal de glaciares y lagunas glaciares en la Cordillera Blanca e identificación de potenciales amenazas GLOFs” identifico los cambios que existen en el área de lagunas de origen glaciar y el nivel de riesgo para las localidades que se encuentran en la parte baja de estos cuerpos de agua catalogados como vulnerables, los años 2004, 2009 y 2014 fueron los periodos de análisis donde se empleó una metodología basada en el procesamiento de imágenes satelitales utilizando la teledetección y GIS para hallar la variación del área glaciar e identificación lagunas glaciares con amenaza GLOF. Los resultados afirmaron un retroceso de área glaciar y aumento de lagunas distribuidas cerca de los glaciares a lo largo de la Cordillera Blanca, esto debido al derretimiento de los glaciares provocado por el cambio climático. Entre el 2004 y 2014 la superficie glaciar se redujo de 515.4 km<sup>2</sup> a 484.4 km<sup>2</sup> confirmando la tendencia mundial de reducción de glaciares, además, identificaron 24 lagunas nuevas, 17 de origen

glaciar y 7 de origen antrópico a causa de la actividad minera, se investigó también las lagunas con potencial GLOF que pueden provocar: eventos catastróficos naturales como aluviones y otros, de las 812 lagunas identificadas en el área de estudio, 99 se consideran con potencial GLOF esto significa un poco más del 12% de las lagunas identificadas. Esta información puede servir para futuras investigaciones con relación a las lagunas de origen glaciar y gestión de Riesgos y Desastres (GRD). (ARÉVALO, 2015)

Tarazona (2012) en el trabajo de investigación “Aplicación de la Teledetección como una herramienta para el análisis Multitemporal del retroceso glaciar en el Nevado Pastoruri debido al Cambio Climático”, cuyo objetivo de investigación fue determinar la pérdida glaciar entre los periodos comprendidos 1988- 1999, 1999-2011 y predicción para el año 2050 del área glaciar perdida. Para dicho estudio y análisis utilizaron como herramienta principal a la teledetección que permite obtener información multitemporal y poder estudiar la desglaciación del nevado Pastoruri. Los resultados indican que existe un retroceso glaciar de 646.35 entre 1988 y 2011, una acelerada desglaciación de masa glaciar en el Nevado Pastoruri que podría ocasionar afecciones a los servicios básicos, infraestructura y además alteraría el hábitat de la flora y fauna de la zona, así mismo, existen riesgos como aluviones, avalancha y crecimiento de nuevas lagunas que pueden provocar graves consecuencias a las poblaciones bajas, para el año 2050 se tendrá aproximadamente 500 hectáreas de cubierta glaciar y para el 2064 probablemente no exista área glaciar. Los autores recalcan que dichos datos son aproximados y no totalmente ciertos, ya que la estadística no es perfecta y nunca nos dará un valor verdadero al 100%, siempre tendremos al 99.99% y lo sobrante 0.01% es donde está el error. (TARAZONA, 2012).

Castillo Martín en su trabajo de investigación “Primeros datos sobre el inventario y caracterización morfométrica de las lagunas glaciares “permanentes” del Parque Nacional de Sierra Nevada (Granada) identifica 40 lagunas glaciares catalogadas como zonas de reserva, con el objetivo de describir su morfometría: longitud, anchura, profundidad, perímetro, coeficiente de circularidad y tipo. Desarrollaron dicha investigación desde el año 2002 una investigación, cuya finalidad es instaurar una sistematización de medidas hidrológicas que puedan cuantificar el cambio climático a nivel local y regional. Los resultados mostrados indican un inventario y

caracterización morfométrica de las lagunas a partir de trabajos de campo y de medidas sobre fotografías aéreas de alta resolución, las lagunas glaciares se encuentran a una altura de 2.690 y 3.100 m con una extensión total de 14 ha, una extensión media de 0.33 ha, longitud de orillas de 8.5 km y un coeficiente de circularidad de 0.64. (CASTILLO MARTIN, 2005, pág. 26)

Según (AGUILON ÁLVAREZ, 2016, pág. 2) se define como glaciar a una gruesa capa de hielo con una masa considerable que se origina en la superficie terrestre y se da por compactación, acumulación y cristalización de la nieve, debido a que la precipitación anual de nieve supera la temporada de evaporación que se da en la época de verano y por lo cual la mayoría de estos glaciares se encuentran en zonas cercanas a los polos aunque existen también en zonas montañosas a gran altitud sobre el nivel del mar. En cambio, para el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (PLANTON, 2013, pág. 193) un glaciar es definido como una masa de hielo terrestre que fluye pendiente abajo, encerrado por los elementos topográficos que los rodean como valles o cumbres, la topografía del lecho de rocas es el principal factor que influye en la dinámica glaciar y pendiente. Un glaciar subsiste gracias la acumulación de nieve a gran altura que se compensa con la fusión de hielo.

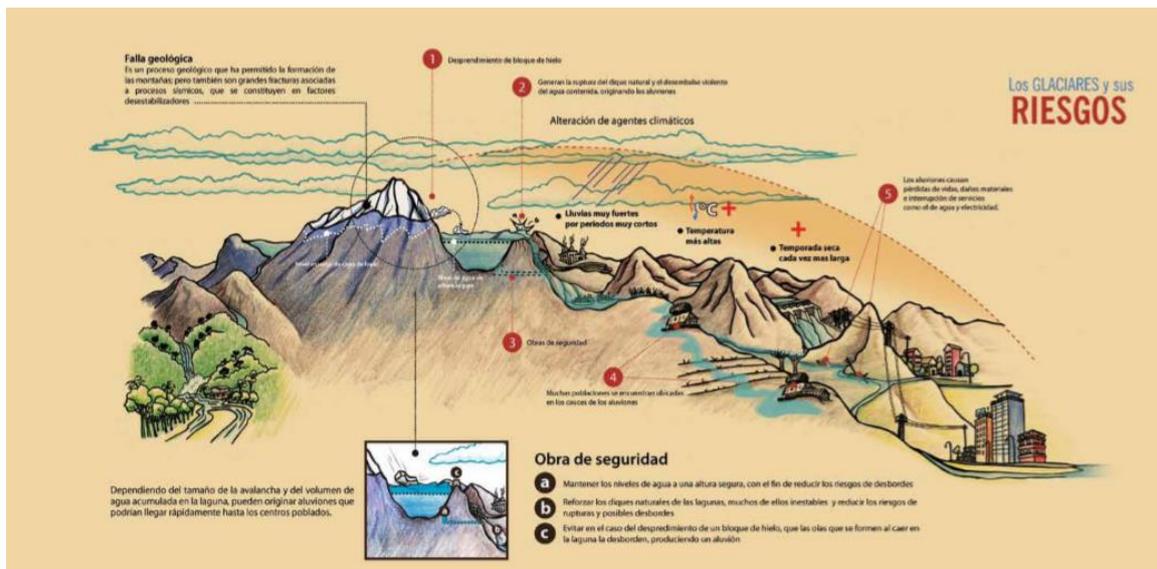
Los glaciares de alta montaña de Sudamérica representan una importante característica geográfica de carácter local que sirve de reserva hídrica para los pobladores de zona baja, además son considerados como indicadores del cambio climático por su alta susceptibilidad a cambios extremos. (DUNCAN, 2016, pág. 239). Los glaciares de alta montaña tienen características particulares como la alta sensibilidad a los cambios por factores externos, generando que la mayoría de su cobertura glaciar se encuentra temperatura de fusión lo que significa un aumento de temperatura mínimo provocando un cambio de fase (FRANCOU, 2015).

Los glaciares pueden clasificarse en dos tipos, por su origen de material: Glaciares de escombros de Talud (talus rock glaciers) que es formado por escombros provenientes de la vertiente y glaciares de escombros Morrenicos (derbis rock glaciers) que son formados por sedimentos originados en el mismo Glaciar (D. BARCSH, 1996) que están compuestos por una mezcla de 40 a 60 % de material clástico con 60% a 40% de agua congelada (formado por Hielo intersticial y de segregación) (HAEBERLI, 1985, pág. 77) estos glaciares conservan aun el

porcentaje de hielo insitu, sin embargo, dejaron de moverse probablemente por el cambio climático, aspectos geomorfológicos o hidrológicos y puede suceder el derretimiento del permafrost de un glaciar de escombros a esto se le nombra como glaciar de escombros fósil. (BRENNING, 2003, pág. 30),

Los glaciares dentro de su ecosistema cuentan con distintas características, una de ellas son la formación de lagunas glaciares donde la depresión existente permite la acumulación de agua y a la larga la formación de lagunas nacientes. Las lagunas glaciares son aquellas formaciones de embalses a causa del retroceso glaciar, adecuada topografía y geomorfometría como las depresiones que estos dejan al paso de su retroceso glaciar. Las lagunas de origen glaciar normalmente se encuentran a una altitud de 3000 a 3600 msnm, sin embargo, también podemos encontrar lagunas a una altura de 4200, para este caso se trata de pequeños cuerpos de agua represados detrás de los arcos morrénicos abandonados por los glaciares de la pequeña edad glaciar que terminó hacia 1850 d.C (FLOREZ Antonio, 1998, pág. 32). Dichas lagunas al tener un rápido crecimiento pueden generar un peligro de desborde (GLOF), por ello es importante definir su significado. Al referirnos lagunas glaciares con potencial de desborde (GLOF), primeramente, debemos definir que es un peligro. El peligro es la ocurrencia potencial de un fenómeno físico o natural que puede causar la pérdida de vidas, lesiones, daños a la salud, daños a la propiedad, alteración económica, alteración social y alteración en el medio (IPCC, 2014, pág. 9), según esta definición podemos deducir que las lagunas con potencial de desborde son aquellas lagunas de origen glaciar con la capacidad de provocar un desborde ya sea por un terremoto, degradación del permafrost, avalancha de roca o hielo, y el aumento de la presión del agua por el retroceso glaciar afectando aguas abajo a las poblaciones más cercanas causando daños económicos, sociales y ambientales (BOLCH, 2011, pág. 52). Los eventos GLOF son un área importante de investigación debido a su peligro potencial para las poblaciones cercanas, pueden alcanzar descargas de hasta 30.000 ms<sup>-1</sup> y recorrer distancias de más de 200 km generando daños significativos en infraestructura, tierras agrícolas e incluso la pérdida de vidas. (SHAUN D., 2000, pág. 31).

**FIGURA N ° 1: LAGUNAS GLACIARES CON POTENCIAL DE DESBORDE.**



**Figura 1.** Proceso de la formación de una laguna glaciar con potencial de desborde. (fuente, ANA).

Las lagunas glaciares con potencial GLOF se manifiestan por las características del entorno, cuando se da un evento GLOF es generado en su mayoría por el desprendimiento de una roca de hielo producto del retroceso glaciar, avalancha, terremoto o aumento de volumen glaciar llegando hasta el cuerpo lagunar más cercano afectando su volumen y estructura de embalse, al rebasar el punto máximo de resistencia se genera un rompimiento de dique y en consecuencia un desborde inminente afectando a las poblaciones de cuenca baja.

Según (CHUVIECO, 2000, pág. 27) la teledetección es aquella técnica que permite obtener imágenes de la superficie terrestre mediante por sensores instalados en plataformas espaciales, incluyen los siguientes elementos:

- Fuente de energía: Origen al flujo energético detectado por el sensor.
- Cubierta terrestre: Distintas formas de vegetación, suelos, construcciones, entre otros que reciben la señal energética procedentes de la fuente de energía
- Sistema sensor: Capta la energía de la cubierta terrestre para codificarla, grabarla y enviarla a un sistema de recepción.
- Sistema de recepción: Recibe la información transmitida por la plataforma.

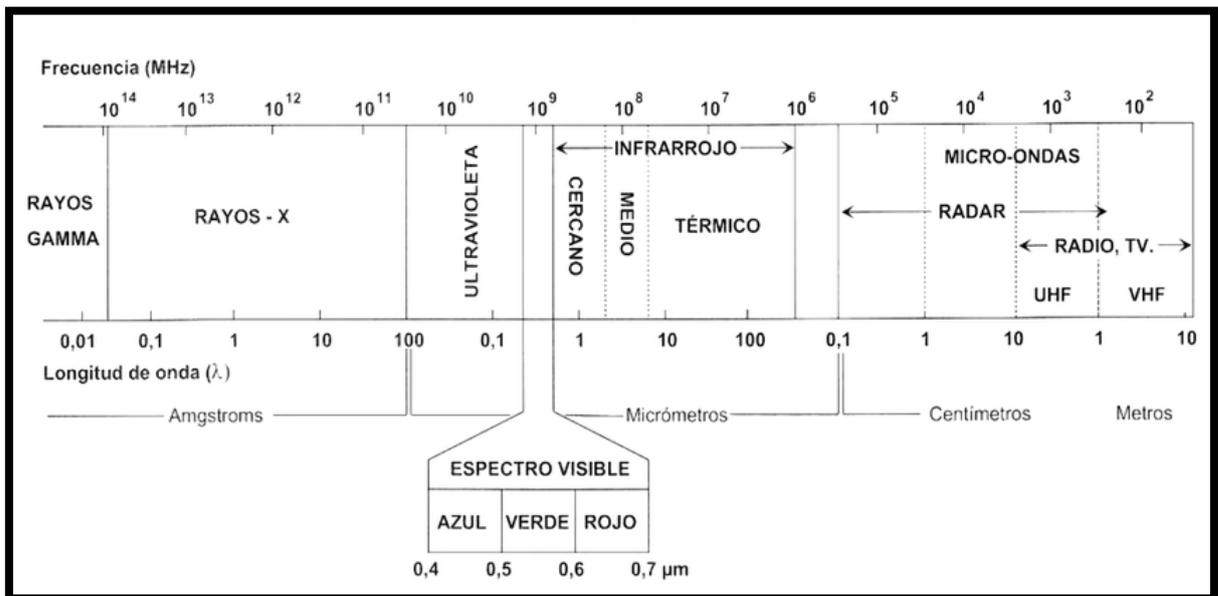


**Figura 2.** Componentes de un sistema de teledetección. (CHUVIECO, 2000).

El espectro electromagnético es el sistema que clasifica según la longitud de onda, toda la energía que se mueve, armónicamente a la velocidad de la luz. Los sensores a bordo de los satélites de teledetección abarcan el conjunto del espectro electromagnético desde las ondas más cortas (rayos gama, rayos x) hasta las kilométricas (telecomunicaciones), (NASA, 2011, pág. 55).

Según (CHUVIECO, 2000, pág. 43) Desde la teledetección, se desatacan las siguientes bandas más utilizadas:

- Espectro visible (0.4-0.7  $\mu\text{m}$ ): Radiación electromagnética visible donde se destacan tres bandas elementales: azul (0.4-0.5  $\mu\text{m}$ ), verde (0.5 – 0.6  $\mu\text{m}$ ) y rojo (0.6-0.7  $\mu\text{m}$ ).
- Infrarrojo próximo (0.7-1.3  $\mu\text{m}$ ): De importancia para la detección de masa vegetales y concentraciones húmedas.
- Infrarrojo medio (1.3-8  $\mu\text{m}$ ): Se entremezclan los procesos los procesos de reflexión solar y emisión de la superficie terrestre.
- Infrarrojo lejano o térmico (8- 14  $\mu\text{m}$ ): Porción emisiva del espectro terrestre.
- Micro-ondas (a partir de 1 mm): Tipo de energía transparente a la cubierta nubosa.



**Figura 3.** Espectros electromagnéticos. (CHUVIECO, 2000).

El índice diferencial normalizado de Agua (NDWI) es un indicador numerico desarrollado por (McFEETERS, 1996) que permite determinar superficies de agua mediante imágenes satelitales utilizando la combinación GREE- NIR (verde visible e infrarrojo cercano) para mejorar y resaltar la presencia de los cuerpos de agua, de esta manera realizar un análisis más detallada sobre los aspectos de aquellos cuerpo de agua que se determinaran.

El NDSI así llamado por sus siglas en ingles que se traduce como Índice Diferencial Normalizado de Nieve planteado por (DOZIER, 1989) sirve de indicador numérico y nos muestra la cobertura de material conformado por nieve que cubre diferentes áreas terrestres como, montañas y lugares a gran altitud sobre el nivel del mar, para ello se utiliza el SWIR que son las bandas espectrales de infrarrojos verdes y de onda corta para trazar en el mapa la cubierta por material conformado por nieve, ya que la nieve absorbe una gran parte de la radiación que incide en el SWIR mientras que las masas de nubes no lo hacen, por ello el NDSI distingue o diferencia la nieve de las nubes, esta fórmula se utiliza en la aplicación de mapas con cobertura de los glaciares (nieve y hielo) y desde luego para su respectivo monitoreo. (BMG, 2019).

### III. METODOLOGIA

#### 3.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

##### 3.1.1 TIPO

Según los criterios expuestos por la (CONCYTEC, 2020) el presente estudio es cuantitativo descriptivo ya que permite describir y cuantificar las características de las lagunas glaciares entre los años 2016-2021 y retroceso glaciar entre el año 2016-2021, también poder medir el nivel de riesgo potencial de desborde (GLOF) de las lagunas identificadas en los nevados Pumahuanca y Chicón para el 2021.

El estudio cuantitativo descriptivo busca describir las propiedades, características y únicamente del recojo de información de un grupo de variables en un contexto definido mediante datos estadísticos y matemáticos (SAMPIERI, 2018).

##### 3.1.2 DISEÑO

De acuerdo con los criterios de (HERNÁNDEZ, 2014) la presente investigación es no experimental, longitudinal de evolución de grupo ya que se analizará las mismas variables con un grupo determinado de lagunas glaciares durante el 2016 al 2021, dichas variables serán analizadas mediante imágenes satelitales tomando en cuenta el retroceso glaciar, crecimiento de lagunas glaciares desde el 2016 al 2021 y el nivel de riesgo de lagunas glaciares con potencial GLOF para el 2021.

El diseño longitudinal de evolución de grupo describe las características de una subpoblación que tiene características similares a través del tiempo, se estudiará la misma subpoblación a través de tiempo con las mismas características (SAMPIERI, 2018, pág. 219).

#### 3.2 VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN

##### 3.2.1 VARIABLES

Las variables del presente trabajo de investigación son las siguientes:

Variable N°1: Lagunas glaciares con potencial GLOF.

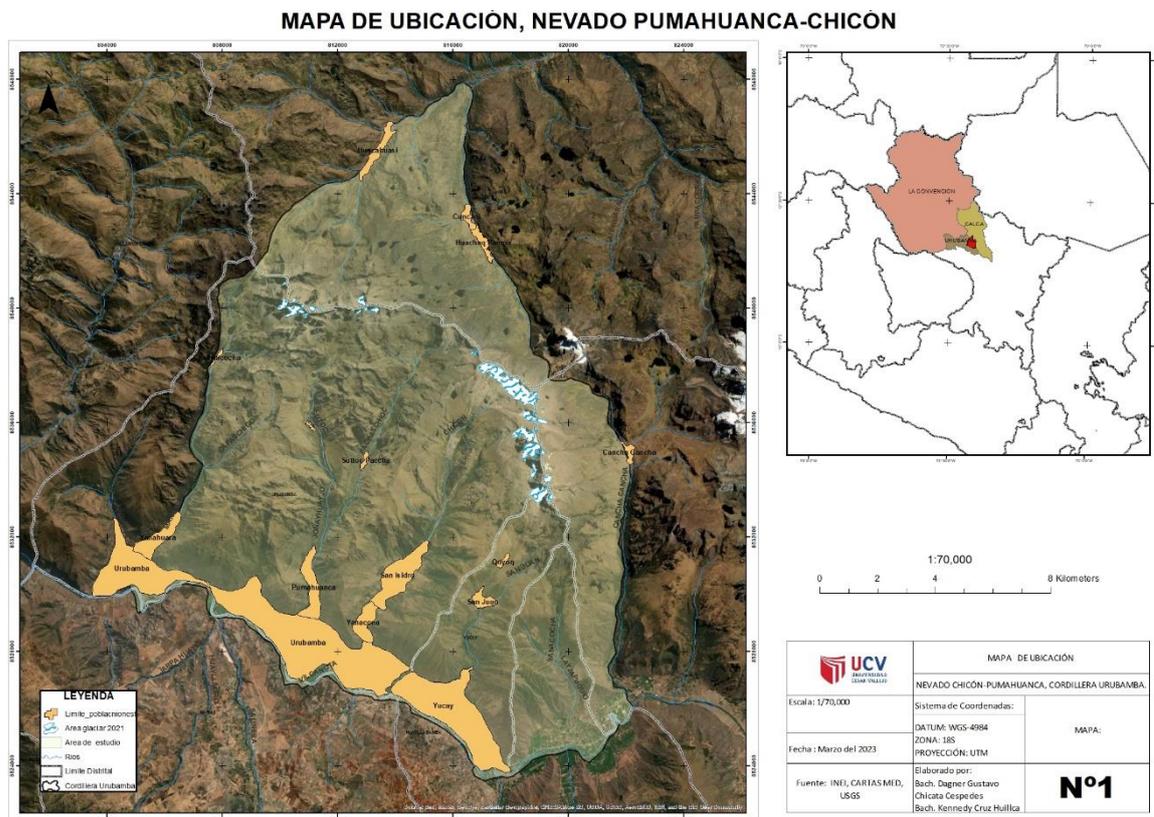
Variabes N°2: Retroceso glaciar.

La operacionalización de variables se encuentra en el **Anexo N°02- Matriz de operacionalización de variables** y en el **Anexo N°01- Matriz de consistencia**.

### 3.3 POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

#### 3.3.1 POBLACIÓN

Según (ARIAS GOMEZ, 2016, pág. 202) la población es un conjunto de casos que concuerdan con ciertas características que conformaran las muestras que cumplen criterios predeterminados. Por lo tanto, la población objetiva del presente trabajo de investigación está comprendida por el estudio de lagunas glaciares y contorno de área glaciar en los nevados Pumahuanca y Chicón con una extensión de 24303.6 ha de área de estudio, ubicado la cordillera Urubamba, departamento de Cusco.



**Figura 4.** Mapa N°1, ubicación del nevado Pumahuanca- Chicón. Elaboración propia.

#### 3.3.2 MUESTRA

La muestra es el subgrupo de la población a estudiar del cual se recolectan los datos más representativos del subgrupo. (SAMPIERI, 2018, pág. 192)

En base al inventario de glaciares y lagunas glaciares realizada por la Autoridad Nacional del Agua (2014) se trabajara con 42 lagunas glaciares y las nuevas que se formen entre el año 2016- 2021 de las cuales se realizara un previo filtro para determinar aquellas lagunas que cumplan los criterios de lagunas con potencial de

desborde(GLOF) y el retroceso de área glaciar de los nevados Pumahuanca y Chicón entre el 2016-2021 , dicha muestra se encuentra ubicado en el nevado Pumahuanca y Chicón, cordillera Urubamba, departamento de Cusco.

### 3.3.3 MUESTREO

El muestreo no probabilístico es el subgrupo de la población donde la elección depende de las características de la investigación (SAMPIERI, 2018, pág. 200) , En ese sentido el tipo de técnica de muestreo utilizado es no probabilística, muestreo por cuotas ya que se elegirá las lagunas glaciares con potencial GLOF con características similares y representativas de cada laguna glaciar para ser clasificadas.

### 3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La técnica utilizada es la observacional y medición indirecta ya que se hará uso de imágenes satelitales mediante la teledetección para el análisis y medición del área de retroceso glaciar, crecimiento de lagunas glaciares y nivel riesgo de lagunas glaciares con potencial GLOF en los nevados Pumahuanca y Chicón.

Para la recolección de datos se hizo uso de fuentes bibliográficas, guías y publicaciones especializadas en el tema.

Los instrumentos de recolección de datos se hicieron en base a las dimensiones e indicadores planteadas:

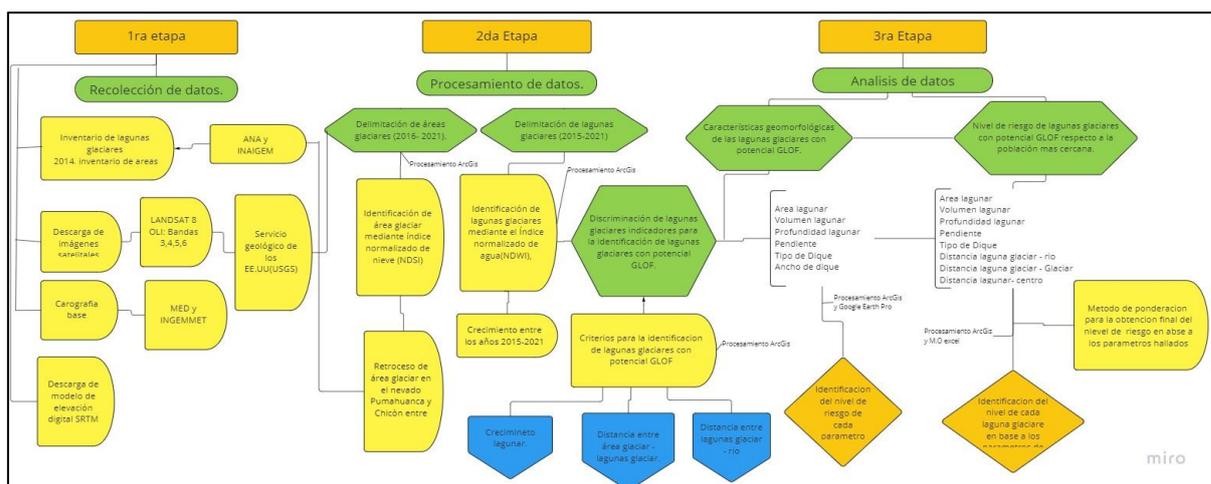
- LANDSAT 8 OLI: Satelite de observación de tierra que cuenta 11 bandas y dos instrumentos de barrido: Operational Land Imager (OLI) y un sensor térmico infrarrojo llamado Thermal Infrared Sensor (TIRS) lo que ayuda notablemente en mejorar la calidad de imágenes en la banda espectral azul visible( banda azul) para determinar con mayor precisión datos en recursos hídricos (ARIZA, 2013).Estas características permiten determinar con mejor exactitud el NDSI(índice normalizada de nieve) y NDWI(índice diferencial normalizado de agua), además que cuenta con una banda infrarrojo de 360 mm de onda larga que permite trabajar hasta una escala de 1/50000.
- Google Earth Pro: Programa para el procesamiento de características de lagunas glaciares y comparación al analizar datos.

- ArcGis: Software para el análisis de datos espaciales, manejo de datos cartográficos y la digitalización de datos para el diagnosticar las lagunas glaciares con potencial GLOF y retroceso de áreas glaciares.
- Microsoft Office: Los paquetes usados fueron el M.O. Excel para el procesamiento de datos, gráficos y tablas; y M.O Word para le elaboración del documento.

La validación y confiabilidad de instrumentos son corroborados por los trabajos de investigación donde se obtuvieron los instrumentos y el análisis de procesamiento en base a la experiencia de proceso, podemos ubicarlo en el **Anexo N°03 Validación de instrumentos de investigación.**

### 3.5 PROCEDIMIENTOS

EL procedimiento consta de 3 etapas clave para la obtención datos procesados, en el siguiente **Figura N° 05** se detalla los pasos a seguir.



**Figura 5.** Etapas para obtener la información y análisis. Elaboración propia.

#### **Etapas N° 1: Recolección de datos.**

Primeramente, se recopiló información del inventario nacional de glaciares desde 1970 hasta 2016 y lagunas glaciares realizada el 2014, data brindada por el la Autoridad Nacional del Agua (ANA) con el objetivo de tener una data base que permita analizar las lagunas con potencial GLOF mediante imágenes satelitales. Seguidamente se descargó imágenes satelitales Landsat 8 OLI del Servicio Geológico De Estados Unidos (USGS) donde se encuentra de manera gratuita previa inscripción. Las imágenes satelitales descargadas que cumplen con las

características del estudio de investigación son del satélite LANDSAT 8 OLI ya que son utilizadas para trabajos de identificación, análisis y diagnóstico de zonas terrestres y costeras por las características mencionadas. Se utilizo imágenes satelitales para el año: 2015, 2018 y 2020 con el objetivo de identificar áreas glaciares y lagunas glaciares , dicho satélite no necesita una previa ortorectificación de imágenes satélites, este dato es corroborada por (GUARDAMIO, 2014, pág. 33) cabe recalcar que se obvia dicho paso solo para el caso de este estudio, así mismo, las imágenes de Landsat 8 OLI dispone de 11 bandas incluidas, incluida una banda pancromática, también las bandas espectrales visibles, infrarrojo cercano e infrarrojo de onda corta que permite determinar el NDSI(índice normalizada de nieve) y NDWI(índice normalizada de agua), además que las bandas visibles cuentan con resolución de 30 m y permiten trabajar hasta una escala de 1/50000. En el siguiente **Cuadro N°1** se muestran las principales características de las imágenes satélites Landsat que usaremos.

**Cuadro 1.** Características de las imágenes Landsat 8 OLI TM utilizadas.

<b>Imágenes Landsat 8 OLI TM</b>	<b>Fecha</b>	<b>Nubosidad</b>	<b>DATUM</b>	<b>Zona/orientación</b>
LC08_L1TP_004069_20160603_20170324_01_T1	3/06/2016	20%	WGS84	18Norte
LC08_L1TP_004069_20180524_20180605_01_T1	24/05/2018	20.33%	WGS84	18Norte
LC08_L1TP_004069_20210601_20210608_01_T1	1/06/2021	19.03%	WGS84	18Norte

Fuente: Elaboración propia.

## **Etapa N°2: Procesamiento de datos.**

Una vez descargada las imágenes satelitales se procede a realizar la ortorectificación de imágenes satelitales, sin embargo las imágenes Landsat 8 OLI ya vienen calibradas radiométricamente, ortorectificadas y con una mayor precisión (USGS, 2017), así mismo esta data es corroborada por (GUARDAMIO, 2014, pág. 33) quien realiza la comparación de las imágenes satelitales antes y después de ser ortorectificas, la calidad de resultados obtenidos es menor o igual al realizar

ortorectificación. Por lo tanto, procedemos a determinar los parámetros iniciales para identificar áreas glaciares y lagunas glaciares para los años 2016, 2018 y 2021, seguidamente realizar un filtro en base a la distancia de área glaciar- laguna glaciar y distancia del río a laguna glaciar.

### **Delimitación de áreas glaciares (2016- 2021).**

En este proceso se delimitará el área glaciar de nevado Pumahuanca y Chicón desde 2016 al 2021, se cuenta con el apoyo del inventario desde 1970 a 2016 realizada por Autoridad Nacional del Agua (ANA), por lo tanto, procedemos a identificar las áreas glaciares desde 2016 al 2021 mediante el procesamiento de imágenes satelitales dividido cada tres años (2016, 2018 y 2021) y determinar el % de retroceso glaciar para cada año.

Siguiendo la metodología de (DOZIER, 1989) para la identificación de área glaciar se considera los rangos de reflectancia visible del espectro verde(0.53 - 0.61µm) e infrarrojo de onda corta (1.55 - 1.75µm) , sin embargo, a 1.5 µm la precisión de registro de área de nevado son más efectivas ya que en esta longitud el área glaciar absorbe mejor la luz solar, de esta manera se evita confusiones con la nubosidad, áreas lagunares, entre otros (EOS, 2022). Por ello, se hará la combinación de bandas mediante del índice normalizada de nieve (NDSI) que es la combinación de bandas que permitirá resaltar las áreas cubiertas de nieve.

- Para LANDSAT OLI 8

$$NDSI = \frac{TM3 - SWIR}{TM3 + SWIR}$$

TM<sub>2</sub>=banda 3 (verde)

TM<sub>5</sub>=banda 6 (infrarrojo de longitud corta)

La combinación de bandas espectrales, identificación, proceso y cálculo de área se realizará mediante el software ArcGis 10.8.

Determinación de pérdida glaciar.

### **Delimitación de lagunas glaciares (2015-2020).**

En este proceso se delimitará las áreas de lagunar glaciar de los nevados Pumahuanca y Chicón desde el 2016 al 2020 dividido cada tres años (2015, 2018 y 2020).

Siguiendo el método desarrollado por (McFEETERS, 1996) se utilizará la combinación de bandas espectrales de infrarrojo cercano y verde para determinar el NDWI (índice normalizado de agua) los valores considerados por la herramienta “Reclassify” en Moldel Builder es de 0.5 a 1  $\mu\text{m}$  que son los rangos donde se puede observar los cuerpos de agua con mayor claridad.

- Para LANDSAT 8 OLI

$$NDWI = \frac{TM3 - TM5}{TM3 + TM5}$$

TM<sub>3</sub>=banda 3(verde)

TM<sub>5</sub>=banda 5(infrarrojo cercano)

Una vez obtenido el inventario de lagunas glaciares previo procesamiento con ArcGis, se calculará el área lagunar de cada laguna determinada y clasificará en función de su tamaño para determinar su crecimiento entre los años 2015, 2018 y 2021.

### **Discriminación de lagunas glaciares indicadores para la identificación de lagunas glaciares con potencial GLOF.**

Para la identificación de lagunas glaciares con potencial GLOF, se establecerá los siguientes parámetros: Distancia laguna glaciar -rio, distancia laguna glaciar - glaciar y área lagunar, dichos parámetros se escogieron en base a la importancia que tienen para poder considerar una laguna glaciar como laguna con potencial GLOF y los antecedentes mencionados donde hacen hincapié y mayor análisis en estos parámetros. Primeramente, se realizará un filtro de las lagunas glaciares identificadas de acuerdo a su tamaño, este parámetro es uno de los parámetros principales para poder determinar el área que tienen las lagunas glaciares entre el 2016-2021, de esta manera clasificarlas según el orden de tamaño, para ello se adaptará la metodología establecida

**Cuadro 2. Tamaño de área lagunar glaciár.**

Área lagunar	
Pequeña	5000m <sup>2</sup> -10000m <sup>2</sup>
Mediana	10000m <sup>2</sup> - 25000m <sup>2</sup>
Grande	>25000m <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia

Seguidamente se procederá a realizar la discriminación de lagunas pequeñas con el objetivo de hallar las lagunas glaciares medianas y grandes teniendo en cuenta que trabajaremos con el satélite Landsat 8 OLI a una resolución de 1/50000 por lo que si trabajamos con lagunas glaciares pequeñas el margen de error sería alto, además que su estudio tendría poco valor. Este proceso se realizará mediante las herramientas de ArcToolbox del programa ArcGIS que permite realizar una discriminación de lagunas medianas y grandes. Una vez obtenida dicha data se procederá a filtrar las lagunas glaciares en base al siguiente criterio: Distancia entre área glaciár- laguna cercanas y distancia entre laguna glaciár- río, dicho criterio es incluido con el objetivo de discriminar aquellas lagunas que se encuentren fuera del rango de los nevados Chicón – Pumahuanca y aquellas lagunas que se encuentren fuera de los ríos determinados, ambos parámetros incluidos se considera dentro de los parámetros para la identificación de lagunas con potencial GLOF ya que es de suma importancia conocer a que distancia se encuentra las lagunas glaciares respecto al área glaciár más cercano porque los cambios acelerados de área lagunar se dan en su mayoría por las lagunas que se encuentran próximos a los glaciares más cercanos.

- Distancia entre área glaciár y laguna cercana.

**Cuadro 3. Distancia entre laguna glaciár y área glaciár.**

Distancia laguna glaciár - Glaciár	
DISTANCIA (m)	Peligrosidad
0-100	Muy próximo
100-500	Próximo
500-1000	Relativamente Próximo
1000-10000	lejano.

- Distancia entre laguna glaciar y río.

Distancia laguna glaciar- Río	
DISTANCIA (m)	Peligrosidad
0-100	Muy próximo
100-500	Próximo
500-1000	Relativamente Próximo.
1000 – 10000	lejano.

Fuente: Elaboración propia.

Se considera estos dos criterios ya que son parámetros iniciales que permiten determinar el grado de peligrosidad de una laguna glaciar, cabe recalcar es un paso inicial ya que una vez identificadas estas lagunas que se encuentren en los rangos determinados, se procederá a realizar un diagnóstico más específico con las lagunas glaciares obtenidas y que cumplen los criterios.

### **Etapas N°3 Análisis de datos.**

Identificación de las características geomorfológicas de las lagunas glaciares con potencial GLOF.

Una vez filtrada nuestras lagunas glaciares según los criterios previos, se procede a medir los parámetros: Área lagunar, volumen lagunar, profundidad lagunar, pendiente, tipo de dique y ancho de dique, dichas características nos permitirán describir las características geomorfológicas de las lagunas glaciares con potencial GLOF.

**Área lagunar:** Parámetro que se obtendrá previamente para la identificación de lagunas glaciares con potencial GLOF desde el año 2016 al 2021 adaptando la metodología (GUARDAMIO, 2014) y (BOLCH, 2011).

**Volumen lagunar:** Para la determinación de volumen glaciar de las lagunas glaciares con potencial GLOF, se realizará el proceso mediante el programa ArcGis con la herramienta **Polygon volumen** que permite determinar el volumen glaciar a partir de las curvas de nivel obtenidas del DEM ALOS PALSAR 12.5 m y la herramienta TIN. Existen modelos empíricos para determinar el volumen glaciar como es el caso de (HAEBERLI, 1985), sin embargo, el margen de error es cuestionable, por ello se opta determinar con una herramienta fácilmente aplicable

en estudios que abarquen grandes áreas de trabajo. Los pasos a seguir se detallan en el Anexo N°5

**Profundidad lagunar:** Se estimará en base la parametrización de Huggel et al. (2002).

Formula:

$$D = 0.104 A^{0.42}$$

donde D corresponde a la profundidad y A al área.

Los resultados son cuestionables y se detallaran en los resultados.

**Pendiente:** Se determinará mediante el programa ArcGIS siguiendo la metodología de clasificación de pendientes (ONERN, 2009, pág. 157). Para el proceso se hará uso del DEM ALOS PALSAR 12.5 m que permite identificar la elevación de nuestra área de estudio, se hará uso de las siguientes herramientas: Project Raster para la reproyección de nuestro DEM, Slope que permite identificar las pendientes, Reclassify para clasificar el rango de nuestra pendiente en base al área de estudio, Raster to polygon para convertir nuestro raster a polígono y Eliminate para eliminar los errores del proceso. En el anexo N°5 se detalla el proceso realizado.

**Tipo de dique:** Se determinará en base a la clasificación brindada por (CONCHA FERNANDEZ, 1957, pág. 89), Existen 3 tipos de dique: Morrenico, mixto y Rocoso. Los diques Morrenicos son depositados por los glaciares y precedidos por material rocoso degradado, compuesto por un material fino y fragmentado, con una pendiente pronunciada que va entre 30° y 45° por lo que tiende a ser más peligroso en caso exista una ruptura de lagunar glaciar. EL dique Mixto es la mezcla entre el dique rocoso y morrenico, cuenta con materiales arrastrados por las paredes del valle o acumulados por la erosión de rocas a causa del retroceso glaciar. El dique Rocoso es uno de los diques más seguros ya que está compuesto por rocas duras, con mayor estabilidad y menor pendiente. La identificación de dique se realizará en el programa Google Earth Pro ya que tiene imágenes satelitales de mejor calidad y fácilmente manejables.

**Nivel de riesgo de lagunas glaciares con potencial GLOF respecto a la población**

Una vez identificado las lagunas glaciares con Potencial GLOF y los parámetros que nos permiten describir las características geomorfológicas de las lagunas glaciares con potencial GLOF, se procede a medir previamente el nivel de riesgo de cada parámetro y la combinación ponderada de parámetros para hallar el nivel de riesgo total de cada laguna glaciario con potencial GLOF respecto a la población. Para ello, nos apoyaremos del manual “Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales” elaborado por el CENEPRED (Centro de evaluación, prevención y reducción de riesgos de desastres).

**Área lagunar:** Para la clasificación del nivel de riesgo según el área lagunar se realiza en base a la metodología adaptada de (GUARDAMIO, 2014) y (BOLCH, 2011).

**Cuadro 4.** Clasificación del nivel de riesgo según el área lagunar.

Área lagunar		
DISTANCIA (m)	PELIGROSIDAD	NIVEL
5000-10000	3	Grande
10000 - 25000	2	medio
>25000	1	bajo

Fuente: Elaboración propia.

**Volumen lagunar:** Se seguirá la clasificación establecida en el informe técnico “Evaluación del riesgo por aluvión en la ciudad de Huaraz, distritos de Huaraz e Independencia, provincia de Huaraz, departamento de Áncash” realizado por el Instituto nacional de investigación de glaciares y ecosistemas de alta montaña (INAIGEM).

**Cuadro 5.** Volumen del desembalse de las lagunas glaciares.

Volumen del desembalse de las lagunas glaciares		
Volumen (m <sup>3</sup> )	Peligrosidad	NIVEL
≥ 16 Mm <sup>3</sup>	muy alto	5
12 Mm <sup>3</sup> ≤ V <sub>o</sub>	alto	4

8 Mm <sup>3</sup> ≤ Vo < 12 Mm <sup>3</sup>	medio	3
4 Mm <sup>3</sup> ≤ Vo < 8Mm <sup>3</sup>	bajo	2
< 4 Mm <sup>3</sup>	muy bajo	1

Fuente: Elaboración propia.

**Tipo de dique:** Clasificación de nivel de riesgo en base a las características de los tipos de dique clasificados por (CONCHA FERNANDEZ, 1957, pág. 89).

**Cuadro 6.** Clasificación de nivel de riesgo del tipo de dique.

Tipo de dique		
Tipo	Peligrosidad	Peligrosidad
Morrenico	3	Alto
Mixto	2	Medio
Rocoso	1	Bajo

Fuente: Elaboración propia.

**Pendiente:** La clasificación de pendiente se realizará en base a la metodología de pendientes (ONERN, 2009, pág. 157) descrita en la etapa N°3.

**Cuadro 7.** Clasificación de pendiente.

Pendiente %		
Rango	Peligrosidad	NIVEL
>75	8	Extremadamente empinada
50-75	7	Muy empinada
25-50	6	Empinada
15-25	5	Moderadamente empinada
8 – 15	4	Fuertemente inclinada
4 – 8	3	Moderadamente inclinada
2 – 4	2	Ligeramente inclinada
0 – 21	1	Plano

Fuente: Elaboración propia.

**Distancia laguna glaciar - rio:** La clasificación del nivel de peligro se realizará en base a las distancias establecidas para la identificación de lagunas glaciares con potencial GLOF.

**Cuadro 8.** Clasificación del nivel de peligro distancia lagunar glaciario.

Distancia lagunar- Rio		
Distancia (metros)	Peligrosidad	NIVEL
0-100	4	Muy próximo
100-500	3	Próximo
500-1000	2	Relativamente Próximo.
1000 – 2500	1	lejano.

Fuente: Elaboración propia.

**Distancia laguna glaciar - Glaciar:** La clasificación del nivel de peligro se realizará en base a las distancias establecidas para la identificación de lagunas glaciares con potencial GLOF.

**Cuadro 9.** Clasificación del nivel de peligro distancia lagunar- glaciar.

Distancia lagunar- Glaciar		
Distancia(metros)	Distancia(metros)	Peligrosidad
0-100	4	Muy próximo
100-500	3	Próximo
500-1000	2	Relativamente Próximo
1500-2500	1	lejano.

Fuente: Elaboración propia

**Distancia lagunar- centro poblado:** Para la clasificación del nivel de peligro de las lagunas con potencial GLOF respecto la distancia lagunar- centro poblado, se establece la siguiente clasificación:

**Cuadro 10.** Clasificación del nivel de peligro distancia lagunar- centro poblado

Distancia lagunar- centro poblado		
Distancia (metros)	Peligrosidad	NIVEL
0-2000	4	Muy próximo
2000-4000	3	Próximo
4000-8000	2	Relativamente Próximo
8000-20000	1	Lejano

Fuente: Elaboración propia.

**Distancia Rio - centro poblado:** Para la clasificación del nivel de peligro del rio más cercano al centro poblado, se establece la siguiente clasificación:

**Cuadro 11.** Clasificación del nivel de peligro distancia rio - centro poblado.

Distancia rio- centro poblado		
Distancia (metros)	Peligrosidad	NIVEL
0-100	4	Muy próximo
100-500	3	Próximo
500-1500	2	Relativamente Próximo
1500-3000	1	Lejano

Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente procederemos a realizar la combinación de parámetros para hallar el nivel de riesgo general de cada lagunar glaciar con potencial GLOF, para ello se seguirá el método establecido por (BOLCH, 2011, pág. 1702) con el objetivo de ponderar cada parámetro con un valor según su importancia, de esta manera obtener un resultado combinado de los parámetros, además, que nos permite automatiza los parámetros obtenido y ser más eficaz a la hora de tomar decisiones al momento de identificar el nivel de riesgo de cada lagunar glaciar con potencial GLOF. En el **Cuadro N° 12** se detalla la ponderación para cada parámetro.

**Cuadro 12.** Ponderación de cada parámetro.

Parámetro	Valor bajo	Valor Alto	Ponderación	Resultado Bajo	Resultado Alto
AREA LAGUNAR	1	3	0.1	0.1	0.3
VOLUMEN LAGUNAR	1	5	0.15	0.15	0.75
TIPO DE DIQUE	1	3	0.1	0.1	0.3
PENDIENTE (%)	1	8	0.1	0.1	0.8
DISTANCIA LAGUNA GLACIAR- RIO	1	4	0.1	0.1	0.4
DISTANCIA LAGUNA GLACIAR- AREA GLACIAR.	1	4	0.15	0.15	0.6

DISTANCIA LAGUNAR-CENTRO POBLADO	1	3	0.2	0.2	0.6
DISTANCIA CENTRO POBLADO- RIO	1	4	0.1	0.1	0.4

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se en base a la ponderación obtenida, se obtiene el nivel de riesgo de cada glaciar, para este estudio se clasifico el nivel de peligro en 4 rangos explicados en el **Cuadro N°13**:

**Cuadro 13.** Nivel de riesgo de lagunas glaciares respecto a los centros poblados en base a la ponderación de parámetros de lagunas glaciares con potencial GLOF.

NIVEL	ANGO	
Bajo	1.00	1.79
Medio	1.79	2.58
Alto	2.58	3.36
Extremo	3.36	4.15

NIVEL	RANGO	DESCRIPCIÓN
Bajo	1.00-1.79	Laguna glaciar con una distancia menor a 2500 m del glaciar más cercano, con una distancia menor a 10000 m del rio más próximo, un rango de volumen de embalse entre $4 \text{ Mm}^3 \leq V_o < 8 \text{ Mm}^3$ , área glaciar entre $5000\text{m}^2 - 10000\text{m}^2$ , tipo de dique rocoso y una pendiente $8^\circ$ de inclinación. Respecto al centro poblado más cercano, se debe encontrar a menos de 20000 m y una distancia menor 1500 del rio más cercano.
Medio	1.79- 2.58	Laguna glaciar con una distancia menor a 1000 m del glaciar más cercano, con una distancia menor a 1000 m del rio más próximo, un rango de volumen de embalse entre $8 \text{ Mm}^3 \leq V_o < 12 \text{ Mm}^3$ , área glaciar entre $10000\text{m}^2 - 25000\text{m}^2$ , tipo de dique mixto o rocoso y una pendiente $15^\circ$ de inclinación. Respecto al centro poblado más cercano, se debe encontrar a menos de 8000 m y una distancia menor 500 del rio más cercano.
Alto	2.58-3.36	Laguna glaciar con una distancia menor a 1000 m del glaciar más cercano, con una distancia menor a 500 m del rio más próximo, un rango de volumen de embalse entre $12 \text{ M m}^3$ a $16\text{Mm}^3$ , área glaciar entre $10000\text{m}^2 - 25000\text{m}^2$ , tipo de dique Morenito o mixto y una pendiente entre $15-25^\circ$ de inclinación. Respecto al centro poblado más cercano, se debe encontrar a menos de 4000 m y una distancia menor 100 del rio más cercano.
Extremo	3.36-4.15	Laguna glaciar con una distancia menor a 500 m del glaciar más cercano, con una distancia menor a 100 m del rio más próximo, un volumen de embalse superior a los $16 \text{ Mm}^3$ , área glaciar mayor $25000 \text{ m}^2$ , tipo de dique



Morrenico o mixto y una pendiente superior a 25 ° de inclinación. Respecto al centro poblado más cercano, se debe encontrar a menos de 2000 m y una distancia menor 100 del río más cercano.

Fuente: Elaboración propia.

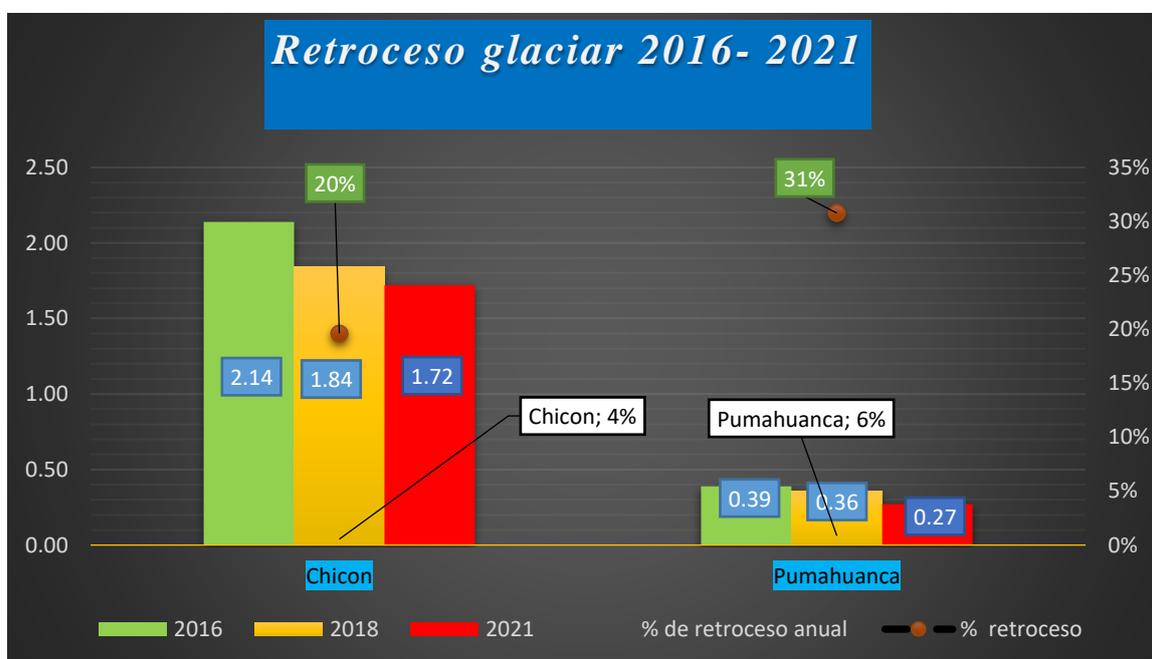
### 3.6 METODO DE ANÁLISIS DE DATOS.

Para el procesamiento de datos se hará uso del programa ArcGIS 10.8 y ENVI que nos permitirá analizar las características de la zona de estudio, para ello nos apoyaremos de imágenes satelitales LANDSAT 8 OLI y modelos de elevación digital (ASTER DEM) que sirven de mapa base para el procesamiento. Mediante la combinación de bandas para la digitalización se podrá obtener las características necesarias como: áreas de lagunas glaciares y contorno glaciar, nivel de riesgo por potencial de desborde (GLOF) y el respectivo diagnóstico que incluye los parámetros a ser estudiados.

## IV. RESULTADOS

### ***Retroceso glaciar.***

El área glaciar de los nevados Pumahuanca y Chicón tuvo un retroceso de 0.42 km<sup>2</sup> y 0.12 km<sup>2</sup> respectivamente entre los años 2016 y 2021, con una tasa de retroceso del 20% y retroceso anual del 4% para el nevado Chicón y un retroceso del 31% con una tasa de retroceso anual del 6% en el nevado Pumahuanca. Para los años 2016, 2018 y 2021 el área glaciar constatado en el nevado Chicón fue de 2.14 km<sup>2</sup>, 1.84 km<sup>2</sup> y 1.72 km<sup>2</sup> consecutivamente y en el nevado Pumahuanca de 0.39 km<sup>2</sup>, 0.36 km<sup>2</sup> y 0.27 km<sup>2</sup> consecutivamente. Por lo tanto, hubo un retroceso total del 21 % en los nevados Chicón y Pumahuanca con una tasa de retroceso anual del 4% entre los años 2016 y 2021 (**Figura N°6**).

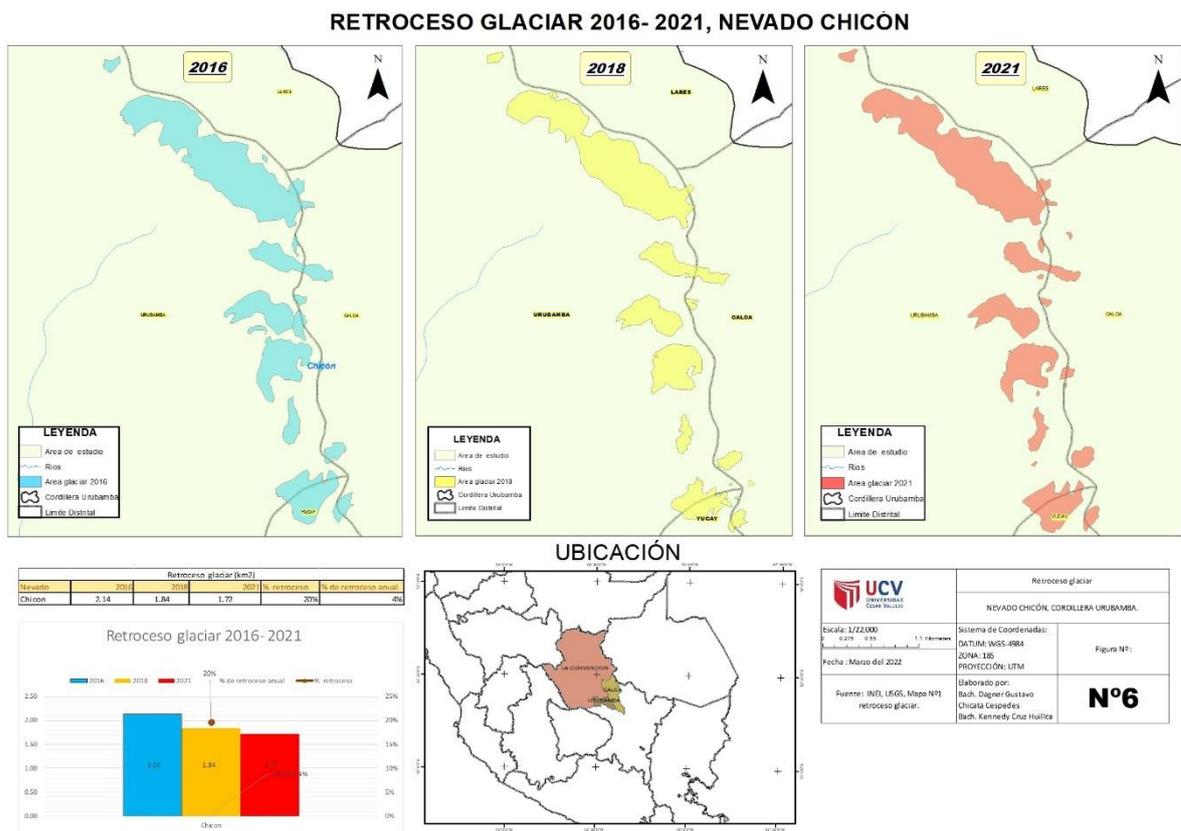


**Figura 6.** Retroceso glaciar de los nevados Pumahuanca y Chicón entre los años 2016 y 2021. Elaboración propia.

El retroceso glaciar en los nevados Pumahuanca y Chicón ubicados en la cordillera Urubamba, indican la consecuencia de los cambios sufridos en los glaciares tropicales desde los últimos registros obtenidos (ANA, 2014), estas consecuencias, también vienen atravesando los distintos nevados de la cordillera Andina (INAIGEM, 2018) causado por el aumento de temperatura a nivel global, la variación de temperatura en los Andes tropicales ha aumentado aproximadamente 0.1C°/ década (Vuille, 2008) lo que indica un aumento rápido de temperatura y en

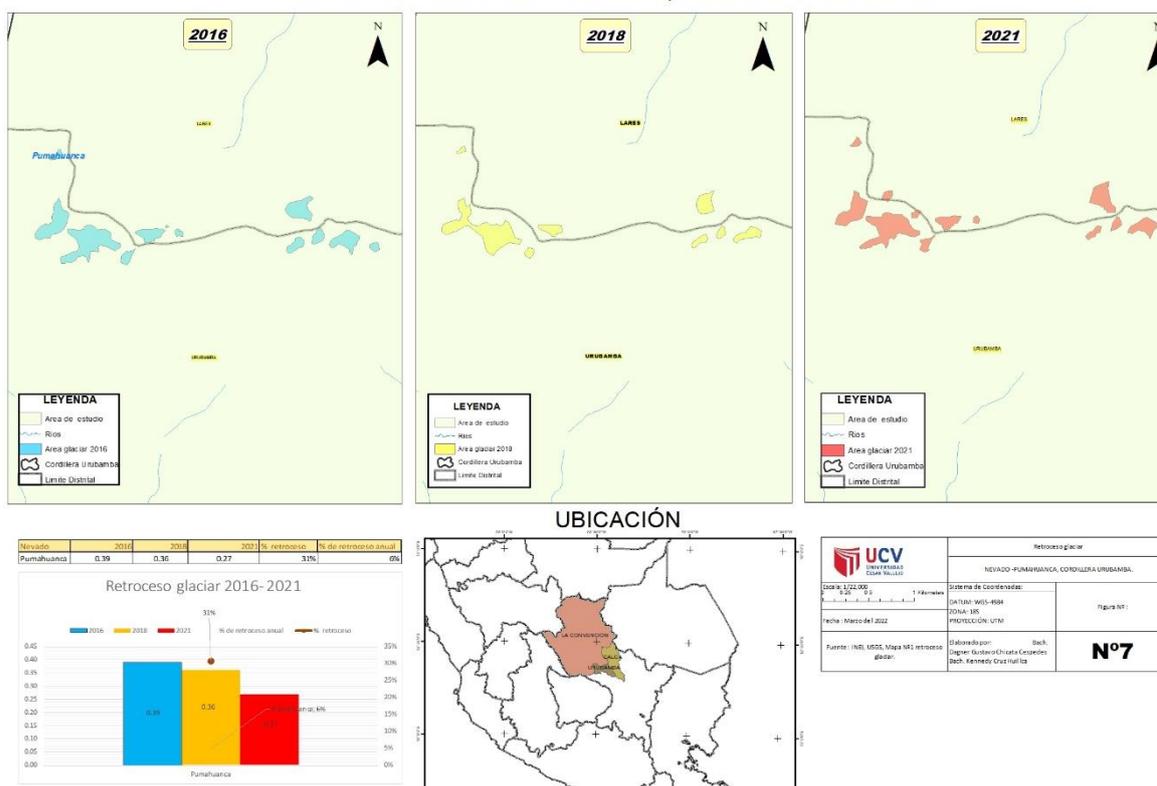
consecuencia el aumento de retroceso glaciar, así se calcula que para finales del siglo XXI los andes tropicales pueden experimentar un calentamiento masivo de 4.5 C° a 5 C° (Vuille, 2008). Para fines del siglo XXI, la temperatura máxima y mínima en la cordillera Urubamba se habrá incrementado en un promedio de 2.9 C° y 2.7 C°. (SENAMHI, 2007).

En el siguiente **Figura N°7** y **Figura N°8** se muestra a mayor detalle el retroceso glaciar para el año 2016, 2018 y 2021, área glaciar de cada año y la ubicación exacta de las zonas que sufrieron mayor retroceso.



**Figura 7.** Retroceso glaciar 2016-2021, nevado Chicón. Elaboración propia.

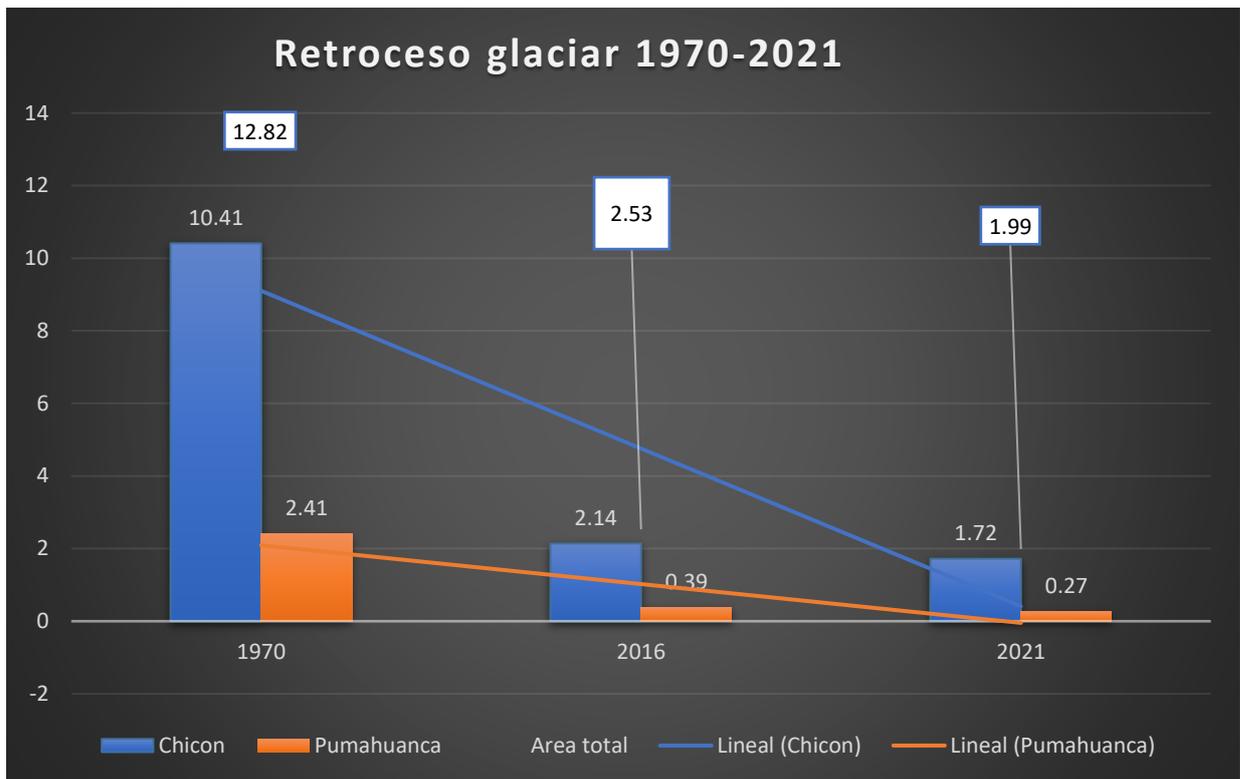
### RETROCESO GLACIAR 2016- 2021, NEVADO PUMAHUANCA



**Figura 8.** Retroceso glaciar 2016-2021, nevado Pumahuanca. Elaboración propia.

Los trabajos previos realizados en la cordillera Urubamba indican que el área glaciar en 1970 disponía de 41.48 km<sup>2</sup> y para el 2014 un área de 15.89 km<sup>2</sup>, por lo tanto, se presentó un retroceso glaciar de 25. 59 km<sup>2</sup> que representa un 61% de retroceso glaciar (ANA, 2014). Así mismo, el Instituto nacional de investigación de glaciares y ecosistemas de alta montaña (INAIGEM) determino que hasta el 2016 hubo una pérdida de 52.62 km<sup>2</sup> equivalente a 69% del área total, con una tasa de reducción de 1.01 km<sup>2</sup>/año y una proyección de la pérdida total del área glaciar para el 2034.

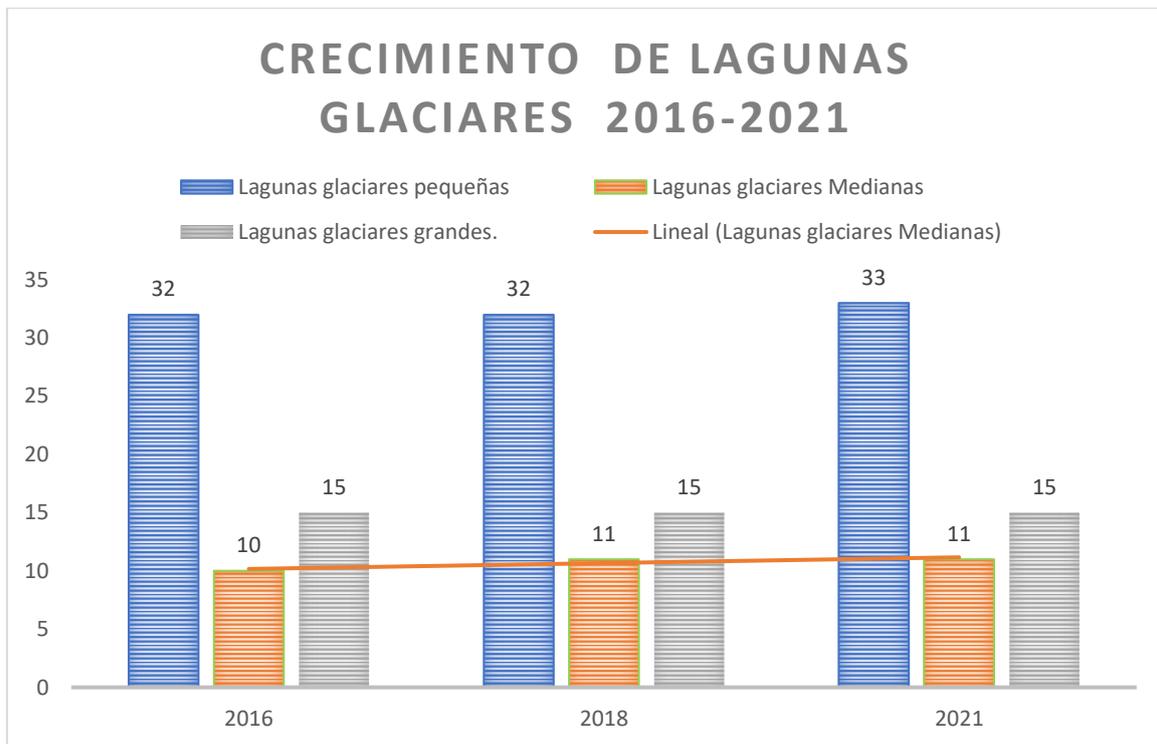
Para mayor detalle, se sumó la data brindada por el INAIGEM con las áreas glaciares halladas desde 2016 al 2021 en los nevados Chicón y Pumahuanca. Se demuestra que la perdida glaciar desde 1970 al 2021 fue de 83 % con una tasa de retroceso anual del 2%. En el año 1970 el área glaciar del nevado chicón y Pumahuanca disponían de 10.41 km<sup>2</sup> y 2.41 km<sup>2</sup>, para el 2016 disponía de un área glaciar de 2.14 km<sup>2</sup> y 0.39 km<sup>2</sup> y para el 2021 dispone de un área glaciar de 1.72 km<sup>2</sup> y 0.27 km<sup>2</sup>, por lo que indica un retroco acelerado. En la **Figura N° 9** se detalla el retroceso glaciar sufrido desde 1970 al 2021.



**Figura 9.** Retroceso glaciar de los nevados Pumahuanca y Chicón entre los años 1970 y 2021. Elaboración propia.

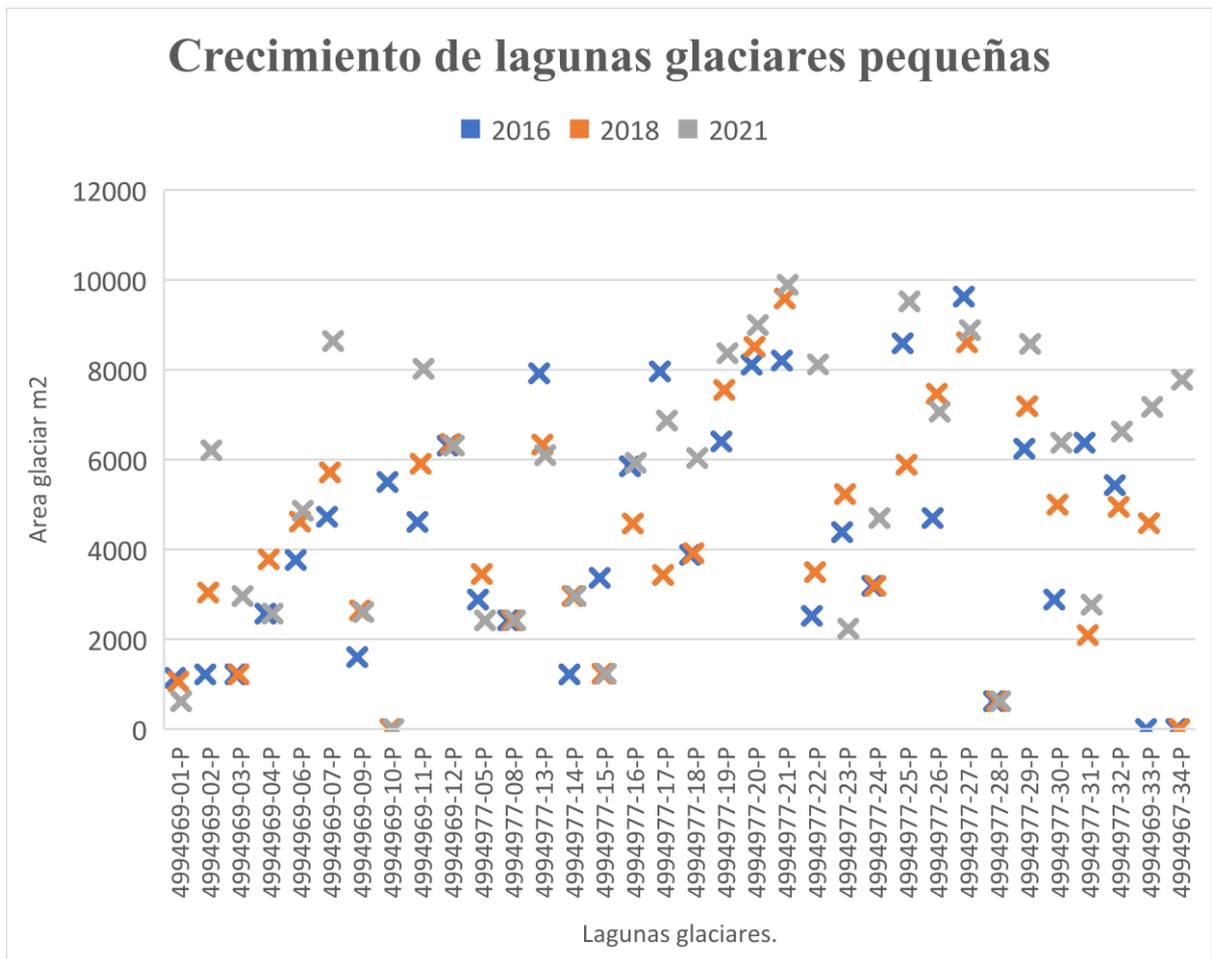
***Crecimiento de lagunas glaciares.***

Para el 2016 se logró determinar 57 lagunas glaciares de las cuales 32 son catalogadas lagunas pequeñas, 10 lagunas medianas y 15 lagunas grandes, para el 2018 se determinó 58 lagunas glaciares de las cuales 32 son lagunas pequeñas, 11 lagunas medianas y 15 lagunas grandes, para el 2021 se determinó 59 lagunas glaciares de las cuales 33 son lagunas pequeñas, 11 lagunas medianas y 15 lagunas grandes. En la siguiente **Figura N°10** se detalla los resultados mencionados.



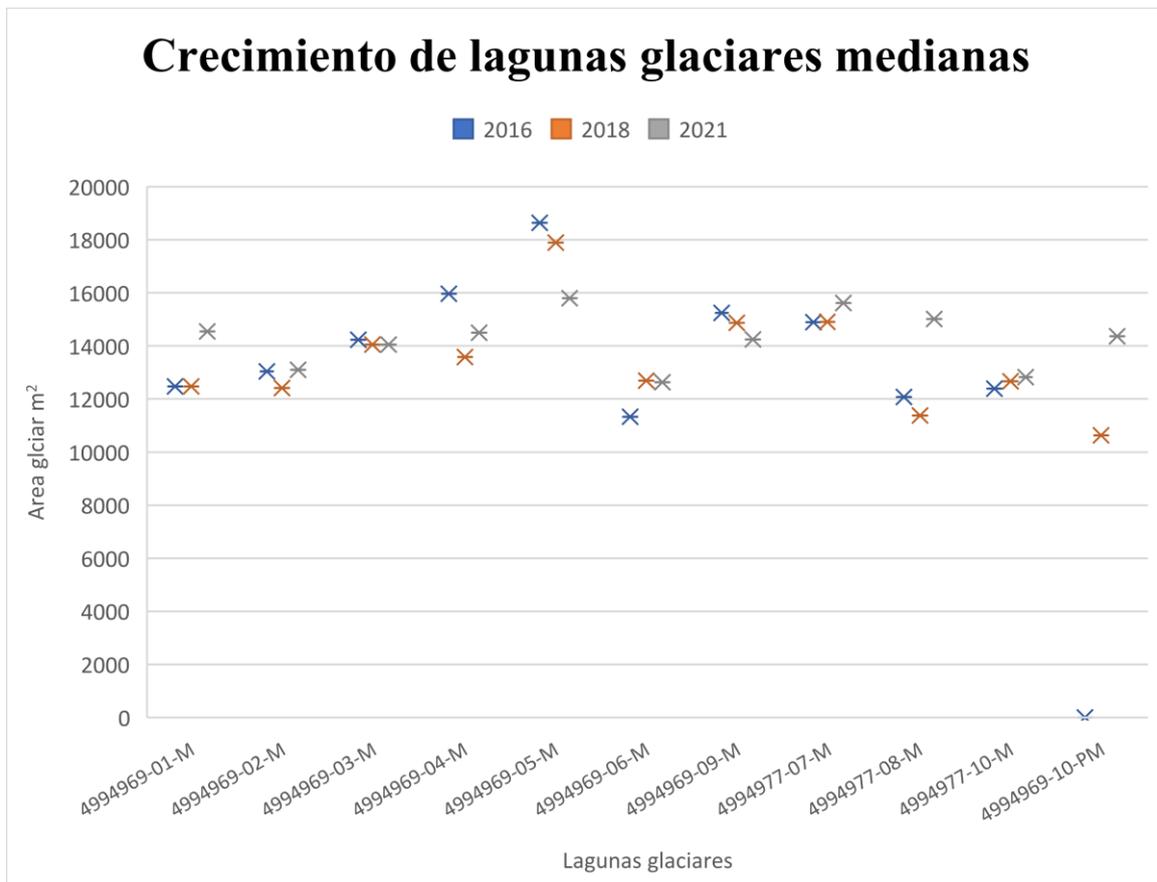
**Figura 10.** Inventario de lagunas glaciares 2016-2021. Elaboración propia.

Respecto al crecimiento de área lagunar se logró determinar un área total de 905255 m<sup>2</sup> para el 2016, 942434 m<sup>2</sup> para el 2018 y 1009616 m<sup>2</sup> para el 2021. Así mismo, se determinó un área lagunar de 145394 m<sup>2</sup> para lagunas glaciares “pequeñas” del 2016, 146542 m<sup>2</sup> para el 2018 y 181791 m<sup>2</sup> para el 2021 ; para las lagunas “medianas” se logró determinar un área lagunar total de 140308 m<sup>2</sup> para el 2016, 147569 m<sup>2</sup> para el 2018 y 156689 m<sup>2</sup> para el 2021; para las lagunas glaciares “grandes” se logró determinar un área de 619553 m<sup>2</sup> para el 2016, 652023 m<sup>2</sup> para el 2018 y 668516 m<sup>2</sup> para el 2021. Por lo tanto, se tuvo un incremento de área lagunar del 10% desde el 2016 hasta el 2021 con una tasa de incremento del 2% anual. En el siguiente **Figura N°11** se detalla el crecimiento de área lagunar de lagunas glaciares clasificadas como pequeña.



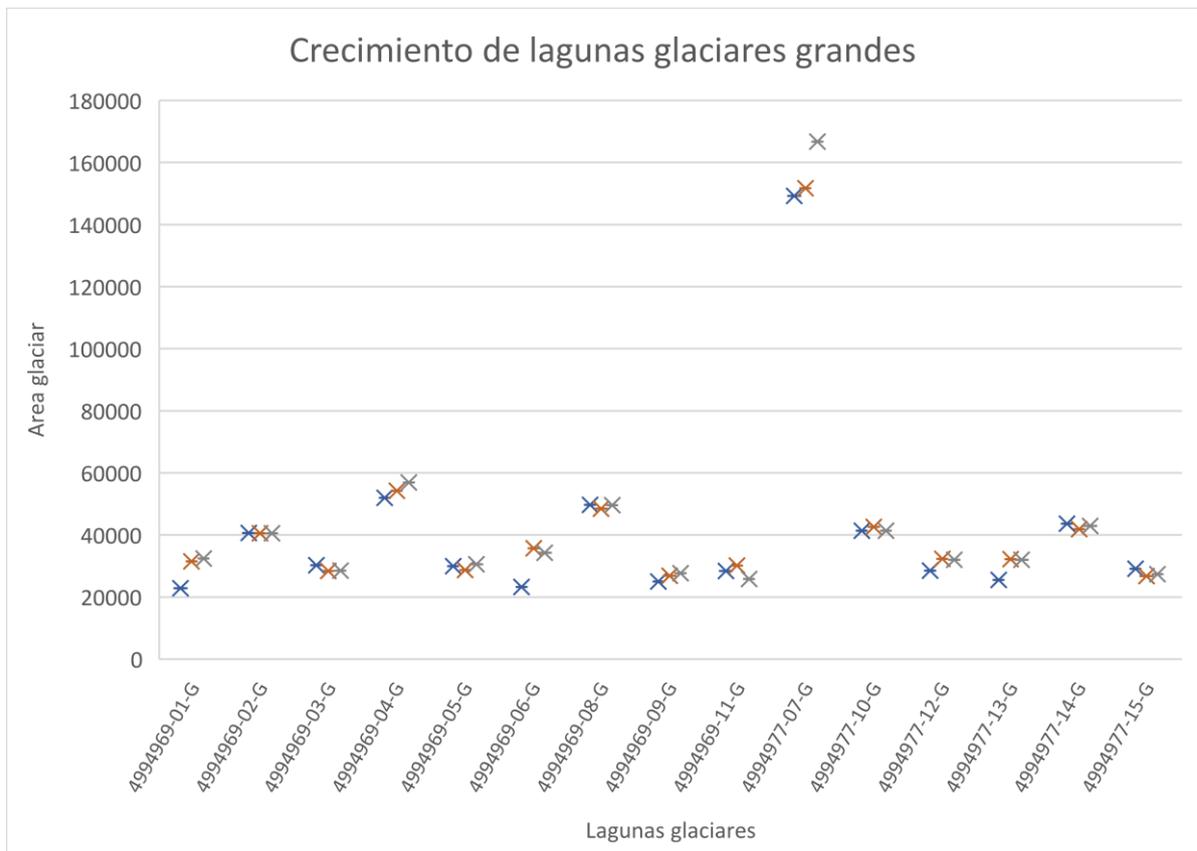
**Figura 11.** Crecimiento de lagunas glaciares pequeñas 2016- 2021. Elaboración propia.

Las lagunas glaciares 4994969-02-P, 4994969-07-P, 4994969-10-P, 4994969-11-P, 4994977-18-P, 4994977-21-P, 4994977-22-P, 4994977-23-P, 4994977-26-P, 4994977-30-P, 4994969-33-P tuvieron un crecimiento acelerado con un promedio de 2000 m<sup>2</sup> a 4000 m<sup>2</sup> entre los años 2016-2021. La laguna glaciar 4994969-10-P tuvo el crecimiento más rápido llegando a tener un área de 5500 m<sup>2</sup> el 2016 y 14370 m<sup>2</sup> para el 2021, además, se identificó 1 laguna nueva para el 2018 catalogada como 4994969-33-P con un crecimiento de área de 2593 m<sup>2</sup> entre el 2018 y 2021 y otra laguna nueva para el 2021 catalogada como 4994967-34-P con un área de 7774 m<sup>2</sup>.



**Figura 12.** Crecimiento de lagunas glaciares medianas 2016-2021. Elaboración propia.

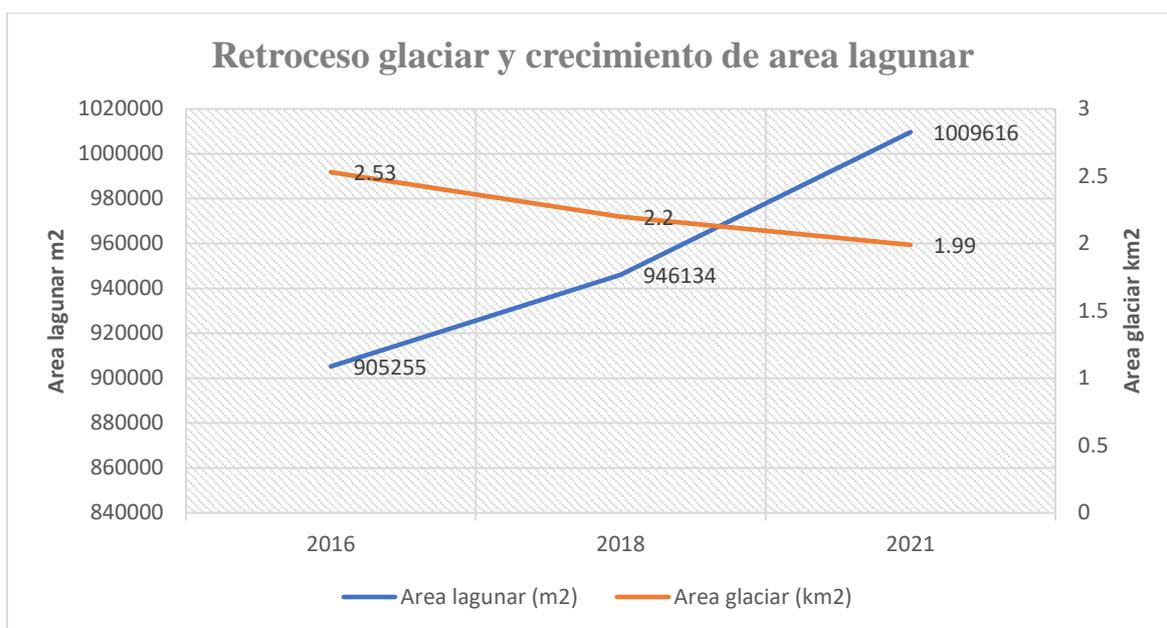
Las áreas de lagunas glaciares catalogadas como medianas, no sufrieron cambios significativos entre el 2016 y 2021, los rangos de crecimiento van entre 1000 m<sup>2</sup> y 2000 m<sup>2</sup> a excepción de la laguna 4994969-10-PM que para el 2016 se catalogó como pequeña con un área de 5500 m<sup>2</sup>, para el 2018 se catalogó como laguna mediana con un área de 10631 m<sup>2</sup> y para el 2021 con un área de 14370 m<sup>2</sup>. Sin embargo, se determinaron lagunas glaciares con un retroceso de área lagunar como es el caso de la laguna 4994969-04-M que retrocedió 1472 m<sup>2</sup>, laguna 4994969-05-M con un retroceso de 2850 m<sup>2</sup> y 4994969-09-M con un retroceso de 1000 m<sup>2</sup> entre el 2016 y 2021.



**Figura 13.** Crecimiento de lagunas glaciares grandes 2016-2021. Elaboración propia.

Las áreas lagunares catalogadas como grandes sufrieron cambios acelerados en su crecimiento, la laguna glaciar 4994969-01-G paso de tener 22864 m<sup>2</sup> el 2016 a 31444 m<sup>2</sup> para el 2021 con un incremento de 9521 m<sup>2</sup>, la laguna glaciar 4994969-06-G incremento su área de 23237 m<sup>2</sup> a 34296 m<sup>2</sup> entre el 2016 y 2018 y la lagunas glaciar 4994977-07-G tuvo un incremento de 17508 m<sup>2</sup> lo que nos indica un crecimiento acelerado teniendo en cuenta que el lapso de tiempo es corto.

Este incremento de área glaciar se debe al constante retroceso glaciar demostrado entre el 2016 y 2021 sobre todo incrementaron las áreas lagunares de aquellas lagunas que ese encuentran próximas a las áreas glaciares, por lo que se deduce que mientras haya un retroceso acelerado también existirá un incremento acelerado de las áreas lagunares, este dato no es preciso ya que depende de factores externos y estudios más que detallen dichos factores. En la siguiente **Figura N°14** se detalla el retroceso glaciar y crecimiento de área lagunar entre los años 2016-2021.



**Figura 14.** Retroceso glaciar y crecimiento de área lagunar 2016-2021. Elaboración propia.

El retroceso glaciar y crecimiento de lagunas glaciares llevan una tendencia contraria, entre el 2016-2021 hubo un retroceso de área glaciar en los nevados Pumahuanca y Chicón, mientras que para las lagunas glaciares hubo un incremento de área lagunar.

Las lagunas glaciares determinadas se distribuyen en la cuenca Chicón y Pumahuanca ubicada en la cordillera Urubamba, el 72% de las lagunas determinadas pertenecen a la cuenca Pumahuanca y el 28% a la cuenca Chicón. Respecto a la catalogación según su tamaño, el 70% de lagunas pequeñas pertenecen a la cuenca Pumahuanca y el 30% a la cuenca de Chicón, el 83% de lagunas medianas pertenece a la Cuenca Pumahuanca y el 17% a la cuenca Chicón, el 80% de las lagunas grandes pertenecen a la Cuenca Pumahuanca y el 20 % a la cuenca Chicón. En el siguiente **Cuadro N°14** se detalla el número de lagunas según su catalogación para cada cuenca.

**Cuadro 14.** Lagunas glaciares según ubicación de cuenca.

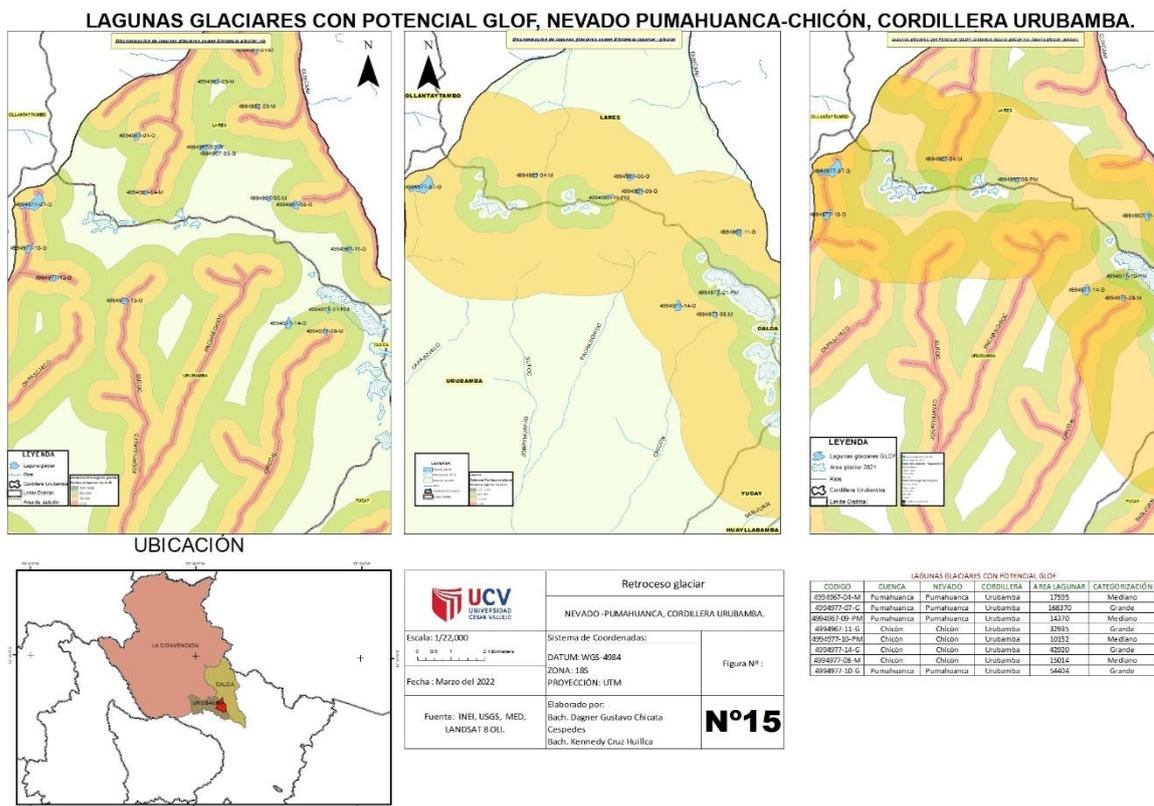
Cuenca		Chicón	Pumahuanca	
<b>N.º de lagunas glaciares</b>	2016	Pequeña	9	23
		mediana	1	9
		Grande	3	12
	2018	Pequeña	9	23
		mediana	1	10

		Grande	3	12
	2021	Pequeña	8	24
		mediana	2	10
		Grande	3	12

Fuente: Elaboración propia

### Lagunas glaciares con potencial GLOF.

Se determino 8 lagunas glaciares que tienen características de lagunas glaciares con potencial GLOF en base a los parámetros analizados: Distancia de área glaciar-Laguna, distancia de laguna-rio y crecimiento de área lagunar, dichos parámetros permitieron discriminar aquellas lagunas que no cumplen con las características mencionadas, en la siguiente **Figura N°15** se detalla los parámetros considerados:



**Figura 15.** Lagunas glaciares con potencial GLOF según criterio: distancia laguna glaciar- área glaciar y laguna glaciar- río. Elaboración propia.

Al realizar la unión de parámetros: Distancia laguna- glaciar, laguna- rio y crecimiento de área lagunar, nos permite obtener aquellas lagunas que cumplen con dichos parámetros para ser catalogados como lagunas glaciares con potencial GLOF, sin embargo, existen lagunas glaciares que solo cumplen con un criterio

como es el caso de las lagunas glaciares 4994967-03-M, 4994977-10-G, 4994977-13-G, 4994967-03-M y 4994967-03-M que califican al parámetro distancia laguna glaciar - rio pero no al criterio distancia laguna- glaciar, por lo que no se considera como lagunas glaciares con potencial GLOF ya que se encuentran alejados del área glaciar y el crecimiento no depende del retroceso glaciar al estar a una distancia mayor a 20000 m<sup>2</sup>. Así mismo, aquellas lagunas glaciares que se encuentran en el rango considerado en el segundo parámetro “Distancia laguna- área glaciar” como la laguna glaciar 4994967-06-G, tampoco se considera como lagunas glaciares con potencial GLOF ya que se encuentran alejados de un punto de desfogue como un rio, por lo que tendrán un impacto mínimo al no tener un desfogue en el caso llegue a ocurrir un desborde de laguna. Por lo tanto, se determina que las lagunas glaciares: 4994967-04-M, 4994977-07-G, 4994967-09-PM, 4994967-11-G, 4994977-10-PM, 4994977-14-G, 4994977-08-M, 4994977-10-G cuentan con las características de lagunas con potencial GLOF al cumplir con los tres parámetros previos. En el siguiente **Cuadro N°15** y **Cuadro N°16** se detalla las características específicas de cada laguna glaciar.

**Cuadro 15.** Características de lagunas glaciares con potencial GLOF.

LAGUNAS GLACIARES CON POTENCIAL GLOF					
CODIGO	ALTURA LAGUNAR (m)	TIPO DE DIQUE	ANCHO DE DIQUE (m)	PENDIENTE (%)	ALTITUD (msnm)
4994967-04-M	6.32	Morrenico	24.6	15-25	4600
4994977-07-G	16.46	Rocoso	264.3	15-25	4480
4994967-09-PM	5.83	Morrenico	22.5	15-25	4840
4994967-11-G	8.24	Rocoso	49.4	15-25	4660
4994977-10-PM	5.09	Morrenico	82.4	15-25	4840
4994977-14-G	9.9	Rocoso	34.3	0-2	4860
4994977-08-M	5.92	Morrenico	123.6	15-25	4700
4994977-10-G	9.47	Rocoso	72.8	4-8	4280

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 16.** Características geomorfológicas de lagunas glaciares con potencial GLOF.

LAGUNAS GLACIARES CON POTENCIAL GLOF						
CODIGO	CUENCA	NEVADO	CORDILLERA	AREA LAGUNAR	CATEGORIZACIÓN	VOLUMEN (m3)
4994967-04-M	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	17595	Mediano	5514997
4994977-07-G	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	168370	Grande	34737876
4994967-09-PM	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	14370	Mediano	8144967

4994967-11-G	Chicón	Chicón	Urubamba	32935	Grande	12533386
4994977-10-PM	Chicón	Chicón	Urubamba	10152	Mediano	5747707
4994977-14-G	Chicón	Chicón	Urubamba	42920	Grande	20726781
4994977-08-M	Chicón	Chicón	Urubamba	15014	Mediano	6255593
4994977-10-G	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	54404	Grande	535318

Fuente: Elaboración propia

- 4994967-04-M: Ubicado en la cordillera Urubamba a una altitud de 4600 msnm, en la cabecera del río Huacahuasi de la cuenca Pumahuanca, cuenta con un área lagunar de 17595 m<sup>2</sup> catalogada como área lagunar “grande”, tiene un volumen lagunar de 5514997.6 m<sup>3</sup> con una profundidad lagunar de 6.32 m, formado gracias al deshielo del nevado Pumahuanca el cual se encuentra alejado de la laguna glaciar por el constante retroceso glaciar, constituido por un dique de tipo morrenico de 24.6 m de largo lo que nos indica un mayor peligro ya que son diques que cuentan con una pendiente moderadamente empinado (15 - 25%) y están constituidas por material arenoso que fácilmente puede ser rebasado en caso de un desborde lagunar. Rodeada por las lagunas glaciares 4994967-33-P, 4994967-34-P y 4994967-11-P que cuentan con un pendiente moderadamente empinado (15 - 25%) y se encuentran a menos de 100 m del glaciar Pumahuanca.
- 4994977-07-G: Ubicado en la cordillera Urubamba a una altitud de 4480 msnm, en la cabecera del río Aruraycocha de la cuenca Pumahuanca, por debajo del nevado Pumahuanca, cuenta con un área lagunar de 168370 m<sup>2</sup> catalogada como área lagunar “grande”, tiene un volumen lagunar de 34737876.6 m<sup>3</sup> con una profundidad lagunar de 16.46 m, formado gracias al deshielo del nevado Pumahuanca y la precipitación pluvial de la zona, constituido por un dique de tipo rocoso de 264.3 de largo lo que nos indica uno de los diques más largos de las lagunas glaciares con potencial GLOF con una pendiente moderadamente empinado (15 - 25%), el contorno glaciar que rodea a la laguna glaciar 4994977-07-G está constituido por roca erosionada por el retroceso glaciar y algunos rastros de nieve que predominan en la época de lluvias, tiene una pendiente empinada (15-25%) por lo que dicha laguna glaciar es propensa a sufrir caídas de bloques de roca y hielo que pueden causar el rompimiento de dique y un desborde de la laguna glaciar con un peligro muy alto. Además, la laguna glaciar 4994977-

07-G tiene el área y volumen lagunar más grande de las lagunas catalogadas con potencial GLOF.

- 4994967-09-PM: Ubicado en el nevado Pumahuanca de la cuenca Pumahuanca a una altitud de 4840 msnm, cuenta con un área lagunar de 14370 m<sup>2</sup> catalogada como área lagunar “Mediano”, laguna glaciar con un rápido crecimiento de área y volumen desde el 2016 al 2021. Tiene un volumen lagunar de 8144967 m<sup>3</sup> con una profundidad lagunar de 5.83m, formado gracias el deshielo del nevado Pumahuannca el cual se encuentra alejado por el constante retroceso glaciar, constituido por un dique de tipo morrenico de 24.6 m de largo lo que nos indica un mayor peligro ya que son diques que cuentan con una pendiente pronunciada y están constituidas por material arenoso, rodeado por rocas erosionadas por el retroceso glaciar y rastros de nieve del nevado Pumahuanca con una pendiente de 25-50°(empinado) por lo que genera un mayor peligro de caída de rocas de bloque o hielo y generar un impacto en el área lagunar produciendo un evento GLOF. Finalmente, la laguna glaciar cuenta con un pendiente moderadamente empinado (15 - 25%)
- 4994967-11-G: Ubicado en el nevado Chicón de la cuenca Chicón a una altitud de 4660 msnm, cuenta con un área lagunar de 32935 m<sup>2</sup> catalogada como área lagunar “Grande”, tiene un volumen lagunar de 12533386 m<sup>3</sup> con una profundidad lagunar de 8.24 m, formado gracias el deshielo del nevado Chicón el cual se encuentra alejado por el constante retroceso glaciar, constituido por un dique de tipo rocoso de 49.4 m con un peligro leve ya que los diques rocosos tienden a ser más resistentes que los morrenicos, rodeado por rocas erosionadas por el retroceso glaciar y rastros de nieve del nevado Pumahuanca con una pendiente de 25-50°(empinado) por lo que genera un mayor peligro de caída de rocas de bloque o hielo y generar un impacto en el área lagunar produciendo un evento GLOF. Finalmente, cuenta con un pendiente moderadamente empinado (15 - 25%).
- 4994977-10-PM: Ubicado en el nevado Chicón de la cuenca Chicón a una altitud de 4840 msnm, cuenta con un área lagunar de 10152 m<sup>2</sup> catalogada como área lagunar “Mediano”, laguna glaciar con un rápido crecimiento de

área y volumen desde el 2016 al 2021. Tiene un volumen lagunar de 5747707 m<sup>3</sup> con una profundidad lagunar de 5.09 m, formado gracias el deshielo del nevado Chicón el cual se encuentra a escasos metros del glaciar, constituido por un dique de tipo morrenico de 82.4 m de largo lo que nos indica un mayor peligro ya que son diques que cuentan con una pendiente pronunciada y están constituidas por material arenoso, rodeado por el nevado Chicón y las lagunas glaciares 4994977-08-M, 4994977-22-P, 4994977-25-P y 4994977-24-P. Finalmente, cuenta con un pendiente moderadamente empinado (15 - 25%) por lo que su peligro aumenta ya que si se su cita un evento GLOF generaría el rompimiento de dique de las demás lagunas que se encuentren flujo abajo de la laguna glaciar.

- 4994977-14-G: Ubicado en el nevado Chicón de la cuenca Chicón a una altitud de 4840 msnm, cuenta con un área lagunar de 42920 m<sup>2</sup> catalogada como área lagunar “Grande”. Tiene un volumen lagunar de 20726781 m<sup>3</sup> con una profundidad lagunar de 9.9 m, formado gracias el deshielo del nevado Chicón el cual se encuentra alejado por el constante retroceso glaciar, constituido por un dique de tipo rocoso de 34.3 m con un peligro leve ya que los diques rocosos tienden a ser más resistentes que los morrenicos, rodeado por rocas erosionadas a causa del retroceso glaciar del nevado Chicón y una pendiente de 25°-50° de inclinación lo que indica una mayor probabilidad de generar el deslizamiento de rocas sueltas y en consecuencia un evento GLOF al hacer contacto con la laguna glaciar. Finalmente, cuenta con un pendiente ligeramente inclinado (2- 4%).
- 4994977-08-M: Ubicado en el nevado Chicón de la cuenca Chicón a una altitud de 4700 msnm, cuenta con un área lagunar de 15014 m<sup>2</sup> catalogada como área lagunar “Mediana”. Tiene un volumen lagunar de 6255593 m<sup>3</sup> con una profundidad lagunar de 5.92 m, formado gracias el deshielo del nevado Chicón el cual se encuentra alejado por el constante retroceso glaciar, constituido por un dique de tipo morrenico de 123.6 m de largo lo que nos indica un mayor peligro ya que son diques que cuentan con una pendiente pronunciada y están constituidas por material arenoso, rodeado por el nevado Chicón y las lagunas glaciares 4994977-25-P y 4994977-24-P. Finalmente, cuenta con un pendiente moderadamente empinado (15 - 25%).

- 4994977-10-G: Ubicado en el nevado Pumahuanca de la cuenca Pumahuanca a un altitud de 4280 msnm, cuenta con un área lagunar de 54404 m<sup>2</sup> catalogada como área lagunar “grande”, tiene un volumen lagunar de 535318 m<sup>3</sup> con una profundidad lagunar de 9.47 m ,formado gracias el deshielo del nevado Pumahuannca el cual se encuentra alejado por el constante retroceso glaciar, constituido por un dique de tipo rocoso de 72.8 con un peligro leve ya que los diques rocosos tienden a ser más resistentes que los morrenicos, rodeado por rocas erosionadas a causa del retroco glaciar del nevado Pumahuanca con una pendiente de 25-50° de inclinación por lo que genera mayor probabilidad de la caída de rocas y posteriormente afectar a la laguna glaciar generando un evento GLOF. Finalmente, cuenta con un pendiente moderadamente inclinado (4-8%).

***Nivel de riesgo de las lagunas glaciares con potencial GLOF respecto a los centros poblados de cuenca baja en los nevados Pumahuanca y chicón.***

La laguna glaciar 4994977-07-G, tiene un nivel de riesgo catalogado como Muy alto ya que se encuentra a menos de 1000 m del nevado Pumahuanca y una distancia menor a 100 m del rio Aruraycocha; además, tiene el mayor área y volumen lagunar de las todas las lagunas glaciares con potencial GLOF sobrepasando los 16 Mm<sup>3</sup> con una pendiente de 15°-25° (Moderadamente empinada). Respecto al centro poblado más cercano, se encuentra a menos de 2000 m del C.P Challwaycocha ubicado en el distrito de Urubamba y el rio Aruraycocha a menos de 100 m del C.P Challwaycocha. Además, se encuentra ubicado consecutivamente la laguna glaciar 4994977-10-G en el rio Aruraycocha, por lo que si se da un evento GLOF, la laguna 4994977-07- G afectaría directamente a la laguna glaciar 4994977-10-G produciendo un evento de alto peligro al C.P de Challwaycocha y los C.P de Yanaura y Urubamba que se encuentran a menos de 8000 m de distancia respecto a la lagunas glaciar.

La laguna glaciar 4994977-10-G, es catalogada con un nivel de riesgo alto, ya que se encuentra a menos de 100 metros del rio Aruraycocha y una distancia entre 500-2500 m del nevado Pumahuanca, cuenta con un volumen y área lagunar catalogado como bajo, constituido por un dique del tipo rocoso y una pendiente 15°-25° (Moderadamente empinada). Respecto al centro poblado más cercano, se

encuentran a menos de 2000 m de distancia del C.P Challwaycocha ubicado en el distrito de Urubamba y entre 1-100 m del río Aruraycocha. Además, la laguna glaciar 4994977-07-G se encuentra a menos de 100 metros la laguna glaciar 4994977-10-G río arriba, por lo que, un evento GLOF sería catastrófico para el C.P Challwaycocha y los C.P de Yanaura y Urubamba que se encuentran a menos de 8000 m de distancia respecto a las lagunas glaciares.

La laguna glaciar 4994967-04-M y 4994967-09-PM son catalogadas con nivel de riesgo Alto ya que se encuentran a menos de 100 m y 1000 m respectivamente del glaciar Pumahuanca, a una distancia menor a 100m y 1000 respectivamente del río Huacahuasi con una pendiente de 15°-25° (Moderadamente empinada), tienen un área glaciar catalogados como mediano y un volumen lagunar superior a 4 Mm<sup>3</sup>, cuentan con un tipo de dique morrenico lo que indica un material arenoso y con mayor fragilidad de rotura de dique ante un desborde a causa de la caída de bloques de hielo o roca. El C.P de Huacahuasi se encuentra a menos de 4000 m de distancia de la laguna glaciar 4994967-04-M - y 4994967-09-PM y una distancia menor a 100 del río Huacahuasi, por lo que un desborde de laguna glaciar con potencial GLOF, afectaría directamente al C.P de Huacahuasi. Además, se hace hincapié en las lagunas glaciares 4994967-33-P, 4994967-34-P y 4994967-11-P que cuentan con una pendiente moderadamente empinado (15 - 25%) y se encuentran a menos de 100 m del glaciar Pumahuanca, por lo que están en un constante crecimiento como es el caso de la laguna glaciar 4994967-34-P que para el 2021 recién fue inventariada como laguna glaciar ya que en el 2016 y 2018 no contaba con el área suficiente para ser catalogada como laguna glaciar “pequeña. Dichas lagunas, al encontrarse en el mismo perfil longitudinal y desfogue, genera un mayor peligro de desborde ya que si alguna laguna glaciar de las mencionadas llega a desbordarse, el impacto llegaría a la laguna glaciar 4994967-04-M causando un inevitable desborde y posterior impacto en el centro poblado más cercano.

La laguna glaciar 4994967-11-G es catalogada con un nivel de riesgo alto, ya que se encuentra a menos de 500 metros del río Aruraycocha y una distancia entre 500-1000 m del nevado Chicón, cuenta con un volumen lagunar catalogado como alto y un área lagunar catalogado como Grande, constituido por un dique del tipo rocoso y una pendiente de 15°-25° (Moderadamente empinada). Respecto al centro poblado más cercano, se encuentran a menos de 4000 m de distancia del C.P

Cuncani y Wachaq ubicado en el distrito de Lares, y una distancia entre 1-100 m del río Aruraycocha.

La laguna glaciar 4994977-10-PM, 4994977-08-M son catalogadas con un nivel de riesgo alto, ya que se encuentran a menos de 500 m y 100 m respectivamente del río Chicón y una distancia menor a 1000 m y a 100m respectivamente del nevado Chicón, cuentan con un volumen lagunar mayor a 4Mm<sup>3</sup> y un área lagunar catalogado como Grande, constituidos por un dique del tipo morrenico lo que indica un material arenoso y con mayor fragilidad de rotura de dique ante un desborde a causa de la caída de bloques de hielo o roca, cuenta con una pendiente de 15°-25° (Moderadamente empinada). Respecto al centro poblado más cercano, se encuentran a menos de 8000 m de distancia del C.P Yanaoca y San isidro ubicado en el distrito de Urubamba, y una distancia entre 1-100 m del río Chicón.

La laguna glaciar 4994977-14-G es catalogada con un nivel de riesgo medio, ya que se encuentran a menos de 500 m y del río Chicón y una distancia menor a 1000 del nevado Chicón, cuentan con un volumen lagunar menor a 4Mm<sup>3</sup> y un área lagunar catalogado como Grande, constituido por un dique del tipo rocoso, cuenta con una pendiente menor a 2° (plano). Respecto al centro poblado más cercano, se encuentran a menos de 8000 m de distancia del C.P Yanaoca y San isidro ubicado en el distrito de Urubamba, y una distancia entre 1-100 m del río Chicón.

En la siguiente Cuadro N°7 se detalla el nivel de riesgo que tiene cada laguna respecto a los parámetros de identificación de lagunas con potencial GLOF y los centros poblados de cuenca baja en los nevados de Pumahuanca y Chicón.

**Cuadro 17.** Nivel de riesgo de las lagunas glaciares con potencial GLOF según parámetro.

LAGUNA CON POTENCIAL GLOF	AREA LAGUNAR	VOLUMEN LAGUNAR	TIPO DE DIQUE	PENDIENTE (%)
4994967-04-M	2	2	3	5
4994967-09-PM	2	3	3	5
4994967-11-G	3	4	1	5
4994977-07-G	3	5	1	5
4994977-08-M	2	2	3	5

4994977-10-G	3	1	1	3
4994977-10-PM	2	2	3	5
4994977-14-G	3	1	1	1

LAGUNA CON POTENCIAL GLOF	DISTANCIA LAGUNA GLACIAR- RIO	DISTANCIA LAGUNA GLACIAR- AREA GLACIAR.	DISTANCIA LAGUNAR- CENTRO POBLADO	DISTANCIA CENTRO POBLADO- RIO
4994967-04-M	4	2	3	4
4994967-09-PM	2	2	3	1
4994967-11-G	3	2	3	2
4994977-07-G	4	2	4	4
4994977-08-M	4	4	2	3
4994977-10-G	4	1	4	4
4994977-10-PM	3	2	2	2
4994977-14-G	3	2	2	2

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se obtiene el nivel de riesgo total de las lagunas glaciares con potencial GLOF respecto a los centros poblado, detallado en el cuadro N.º 18.

**Cuadro 18.** *Lagunas glaciares con potencial GLOF según su nivel de riesgo.*

LAGUNA CON POTENCIAL GLOF	NIVEL DE RIESGO
4994967-04-M	3.13
4994967-09-PM	2.63
4994967-11-G	2.88
4994977-07-G	3.5
4994977-08-M	3.13
4994977-10-G	2.63
4994977-10-PM	2.63
4994977-14-G	1.88

Fuente: Elaboración propia.

## V. DISCUSIÓN

Los registros obtenidos indican el inminente retroceso de los glaciares tropicales en la cordillera de los andes, con un retroceso total del 21% y una tasa de retroceso anual de 4% entre 2016 – 2021 en el nevado Chicón y Pumahuanca se demuestra un acelerado retroceso glaciar en la cordillera Urubamba, según el Instituto nacional de investigación de glaciares y ecosistemas de alta montaña (INAIGEM, 2018) se proyecta que para el 2034 habrá una pérdida total de los glaciares existentes teniendo en cuenta que el retroceso anual sea de  $1.01 \text{ km}^2/\text{año}$  como lo demuestra el estudio realizado. (DRENKHAN, 2019) realizaron el estudio en cordillera Vilcabamba donde se demuestra un retroceso glaciar del 51% entre 1991 y 2014 con una reducción de  $98.9 \text{ km}^2$  en los años 2009, 2010 y 2014, otro claro ejemplo es el trabajo realizado por (ARÉVALO, 2015) en la cordillera Blanca donde se demuestra que entre los años 2004 – 2014 hubo un retroceso glaciar de  $515.4 \text{ km}^2$  a  $484.4 \text{ km}^2$  que representa el 6% de pérdida glaciar. El estudio realizado por (TARAZONA, 2012) en el nevado Pastoruri demuestra la pérdida glaciar entre los años 1988-2011, el porcentaje de retroceso glaciar para el intervalo 1999 – 2011 es de  $646.35 \text{ ha}$  con una proyección de pérdida total para el 2064. Las instituciones públicas también aseveran este retroceso glaciar a nivel global como es el caso del estudio realizado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2014) donde demuestra que en los últimos 50 años hubo un retroceso del 51% de superficie glaciar en la cordillera andina debido a los efectos del cambio climático que afectan a estas reservas de agua en estado sólido, por lo tanto, el retroceso glaciar a nivel mundial se ven afectados por el aumento de la temperatura a nivel global (Vuille, 2008). El índice normalizado de nieve (NDSI) permitió determinar con mayor claridad las áreas glaciares mediante el uso de imágenes satelitales LANDSAT 8 OLI y el software ArcGis, que en conjunto nos garantiza un resultado más preciso, como lo aseveran los resultados obtenidos por (TARAZONA, 2012), (GUARDAMIO L. , 2014) y (ARÉVALO, 2015).

Según la autoridad Nacional del Agua (ANA, 2014) identificaron 8355 lagunas en las 19 cordilleras, de las cuales la cordillera Urubamba tiene 272 lagunas glaciares y 40 lagunas glaciares en el nevado Chicón y Pumahuanca, este dato es comparable con el presente trabajo de investigación ya que se identificó 59 lagunas glaciares para el 2021 en los nevados Pumahuanca y Chicón, un área total de

1009616 m<sup>2</sup> y un incremento del área lagunar del 10 % con una tasa de incremento anual del 2% entre el 2016 – 2021, la variación de lagunas identificadas, es a causa de las nuevas formaciones lagunares y el incremento del área lagunar. Para el año 2021 en el informe Reserva Hídrica de los Glaciares del Perú identificaron 18 cordilleras y además la pérdida del 53 % de glaciares en los últimos 50 años dando paso a cuerpos de agua (lagunas glaciares) en las zonas de retroceso glaciar y el incremento del volumen de lagunas glaciares ya existentes. Mientras el retroceso glaciar es cada vez más acelerado, se forman nuevas lagunas glaciares e incrementan su área lagunar en un lapso de tiempo más corto, este efecto se da en aquellos glaciares donde las condiciones como la orográfica permiten el almacenamiento de este recurso hídrico; los resultados obtenidos demuestran que desde el 2016 al 2021 las lagunas glaciares aumentaron su área lagunar total en un 10% y se formaron dos nuevas lagunas glaciares, además, que se detalla y clasifica en base a las áreas glaciares en el lapso de tiempo estudiado a comparación del inventario la autoridad Nacional del Agua (ANA, 2014) donde se identifica las lagunas glaciares pero no se detalla el crecimiento lagunar y las características geomorfológicas que permite determinar el nivel de riesgo en un área de trabajo más amplio. El estudio realizado por (SRINIVASALU, 2019) en los lagos de Sikkim, nos muestra un acelerado crecimiento de lagunas glaciares como el lago Lhonak en los años 2001 al 2015 que indica una expansión de 0.80 km<sup>2</sup> a 1.30 km<sup>2</sup> demostrando un crecimiento de 62.5 % en los 14 años y 4.46% anual. Otro ejemplo es el de (DRENKHAN, 2019) realizado en la cordillera Vilcabamba cuyos resultados identificaron 329 lagunas glaciares (5.2 km<sup>2</sup>) para el 2014 con una tasa de formación de 0.8% del 1991 – 2001 y 2% entre el 2010 – 2014, 12 lagunas incrementaron su volumen en 100% a más respecto a su área glaciar, 9 se extendieron en un tamaño medio y 45 lagunas crecieron un mínimo; los datos obtenidos en el presente trabajo, corroboran este crecimiento acelerado entre el 2016 y 2021, 4 lagunas glaciares clasificadas como “Grandes” aumentaron su área lagunar en un 20%, 1 laguna glaciar “Mediana” incremento su área lagunar en un doble y 11 lagunas glaciares “pequeñas” incrementaron en un 100% a más, sin embargo, existen lagunas glaciares que disminuyeron su área glaciar como es el caso de la laguna 4994969-04-M. Ese necesario tener una proyección del crecimiento lagunar para poder tomar acciones a largo plazo, un claro ejemplo es la investigación realizado por (GUARDAMIO L. , 2019) donde determinaron 287

sitios con depresiones aptas para la formación de lagunas ubicados en lechos glaciares de las cordilleras peruanas calculando 231 m<sup>3</sup> de volumen que se darían en los años venideros, además, se proyecta la cordillera Urubamba como el lugar con mayor formación de lagunas glaciares. El índice normalizado del agua (NDWI) nos permitió identificar las lagunas glaciares en los nevados Chicón y Pumahuanca, los trabajos realizados por (DRENKHAN, 2019), (GUARDAMIO L. , 2014), (ANA, 2014) e (INAIGEM, 2018) demuestran la precisión de este modelo matemático, así mismo, se demuestra que el Software ArcGIS permite hallar con precisión los cambios sufridos por las lagunas glaciares a través del tiempo.

La identificación previa de lagunas glaciares con potencial GLOF permite generar un filtro de aquellas posibles lagunas glaciares que cumplan con los parámetros: Distancia laguna- glaciar, laguna- rio y crecimiento de área lagunar, dicho proceso se implementó ya que es necesario discriminar aquellas lagunas que no cumplen con los parámetros previos para poder detallar sus características geomorfológicas. La investigación realizada por (DRENKHAN, 2019) plantea la clasificación de lagunas con potencial amenaza en base al crecimiento lagunar como el parámetro con mayor relevancia, en cambio, la presente tesis plantea tres parámetros principales: Distancia laguna- glaciar, laguna- rio y crecimiento de área lagunar, dichos parámetros son considerados ya que se realiza previo filtro de lagunas glaciares con potencial GLOF, además, los parámetros distancia laguna-rio y laguna- glaciar se considera como principales porque permiten identificar aquellas lagunas glaciares cercanas a un río para el flujo de descarga y las lagunas glaciares que depende del retroceso glaciar para el incremento de área lagunar. La facilidad en la sistematización y obtención de parámetros geomorfológicos mediante la herramienta Model Builder, permite estudiar fácilmente áreas de estudios pequeñas y grandes.

El nivel de riesgo determinado en base a los parámetros geomorfológicos, permitieron identificar aquellas lagunas con potencial GLOF y su nivel de riesgo según el manual “para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales” elaborado por el CENEPRED adaptado a la identificación del nivel de riesgo de lagunas glaciares, esta metodología nos permite ponderar cada parámetro considerado para obtener un puntaje general del nivel de riesgo de cada laguna glaciar con potencial GLOF. (ZHANG, 2021) siguiendo los parámetros:

volumen del lago, descarga máxima y tiempo de ruptura de presa analizada en HEC-RAS, identificaron 7 lagunas glaciares con alto riesgo en la cuenca Poiqu – Himalaya en el cual profundizaron el proceso de sucesión, dicho análisis se enfoca a lagunas glaciares con potencial GLOF previamente identificadas y clasificadas, en cambio, los parámetros considerados en el presente trabajo de investigación incluyen aspectos geomorfológicos de la laguna y su entorno, además, permite abordar un área de estudio mucho más grande y puedan hallarse sistemáticamente mediante la herramienta Model Builder; las herramientas utilizadas por (ZHANG, 2021): imágenes satelitales Landsat 5-TM, Sentinel A-2, GaoFen y DEM, respaldan los resultados obtenidos y la precisión en la simulación. El trabajo presentado por (DRENKHAN, 2019) corrobora los parámetros incluidos en la investigación realizada, determinando el potencial de amenaza en su etapa número 4 con las siguientes condicionales: Distancia glaciar - laguna, tipo de dique, periodo de formación, pendientes típicas y volumen; los resultados demostrados son comparables con el presente trabajo ya que cuentan con la similitud de criterios mencionados, sin embargo, se adhirió los siguientes parámetros: distancia laguna – río (el nivel de riesgo aumenta mientras la población está más cerca de un río en un posible evento GLOF), ancho de dique (la probabilidad de desborde es proporcional al ancho de dique), distancia centro poblado – río (el nivel de riesgo aumenta cuando la población se encuentra más cerca al río), estos criterios permitieron tener un resultado más detallado acerca del peligro GLOF, además, se realizó la ponderación de cada parámetro para determinar el nivel de riesgo de cada laguna con potencial GLOF, el rango de valores tomados en cuenta para cada parámetro varía según el área de estudio, ya que, cada nevado tiene características particulares y las metodologías establecidas por los distintos autores, necesariamente deben ser adaptadas.

La identificación del nivel de riesgo de lagunas glaciares respecto a los centros poblados, es de suma importancia para medir el impacto que puedan generar en hacia los centros poblados en un evento GLOF, (ARÉVALO, 2015) identificó 25 centros poblados a menos de 1 km de distancia, siguiendo su metodología establecida para determinar la distancia de laguna glaciar- centro poblado, se identificó 9 poblados que tienen un peligro alto si se da un evento GLOF.

Es importante mencionar que los resultados obtenidos son plasmados en un mapa base para darle utilidad a próximos trabajos de investigación, así como la data generada que permitirá servir de base para generar proyectos de aprovechamiento hídrico y prevención de riesgos antes posibles eventos GLOF.

## VI. CONCLUSIONES

- Se determinó que al área glaciaria de los nevados Pumahuanca y Chicón tuvieron una pérdida de área glaciaria total del 21% con una tasa de retroceso anual de 4% entre el 2016 y 2021. El nevado Pumahuanca tuvo un retroceso de 0.42 km<sup>2</sup> con una tasa del 20% anual, mientras el nevado Chicón tuvo un retroceso del 31 con una tasa del 6% anual entre los años 2016 y 2021.
- Se determinó 57 lagunas glaciares para el 2016 con un área total de 905255 m<sup>2</sup> de las cuales 32 son catalogadas lagunas pequeñas, 10 lagunas medianas y 15 lagunas grandes ; para el 2018 se determinó 58 lagunas de las cuales 32 son lagunas pequeñas, 11 lagunas medianas y 15 lagunas grandes glaciares con un área total de 942434 m<sup>2</sup> y para el 2021 se determinó 59 lagunas glaciares con un área total de 1009616 m<sup>2</sup> , distribuidos .Por lo tanto, se tuvo un incremento de área lagunar del 10% entre el 2016 y 2021 con una tasa de incremento del 2% anual. Las lagunas glaciares determinadas se distribuyen en la cuenca Chicón y Pumahuanca ubicada en la cordillera Urubamba, el 72% de las lagunas determinadas pertenecen a la cuenca Pumahuanca y el 28% a la cuenca Chicón.
- Se identificó 8 lagunas glaciares con potencial GLOF: 4994967-04-M, 4994977-07-G, 4994967-09-PM, 4994967-11-G, 4994977-10-PM, 4994977-10-G, 4994977-08-M y 4994977-14-G en base a los criterios: Distancia Laguna glaciaria-Rio, distancia laguna glaciaria- área glaciaria y crecimiento lagunar, de las cuales se describió las características geomorfológicas: Área lagunar, volumen lagunar, profundidad lagunar, tipo de dique, ancho de dique y altitud. Dichos parámetros nos permiten determinar el estado actual en el que se encuentran las lagunas glaciares con potencial GLOF.
- Se determinó que la laguna glaciaria con potencial GLOF 4994977-14-G tiene un nivel de riesgo **Medio**, las lagunas glaciares con potencial GLOF: 4994967-04-M, 4994967-09-PM, 4994967-11-G, 4994977-08-M, 4994977-10-PM y 4994977-10-G tiene un nivel de riesgo **Alto**, así mismo, la laguna glaciaria con potencial GLOF 4994977-07-G tiene un nivel de riesgo catalogado como **Extremo**, siendo la laguna glaciaria con el nivel de riesgo más alto. Por lo tanto, las lagunas glaciares identificadas tienen que ser atendidas inmediatamente por el peligro que estas generan a corto y largo plazo.

## VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que el lapso de tiempo para determinar los cambios de una laguna glaciar debe ser más amplio, si bien es cierto, un periodo corto nos permite determinar el cambio de las lagunas glaciares con un crecimiento acelerado, más aun en lagunas glaciares que se encuentra a menos 100 metros del área glaciar, sin embargo, la variación en un lapso de tiempo más prolongado permite determinar características de cambio más relevantes y con mayor claridad de los parámetros como : Área glaciar, volumen glaciar y profundidad.
- En base a los resultados obtenidos, se recomienda plantear proyectos de mitigación y prevención que permitan disuadir los daños que podrían generar las lagunas glaciares con potencial GLOF en las poblaciones vulneradas, así mismo, es importante comunicar a las autoridades pertinentes sobre los riesgos que puede ocasionar si una de las lagunas glaciares con potencial GLOF llega a provocar un evento GLOF. También, es necesario generar trabajos de investigación respecto al aprovechamiento hídrico de estas nuevas lagunas glaciares en pleno crecimiento.
- La calidad de datos respecto a la determinación del volumen lagunar está sujeta a la resolución del modelo de elevación digital (DEM) que se usara, para el estudio se recomienda un DEM de 12, 5 m ya que permite que los datos de volumen glaciar tengan un margen de error mucho menor.
- La metodología para determinar cada parámetro de lagunas glaciares con potencial GLOF difieren ampliamente de acuerdo al lugar de estudio, por ello, se recomienda realizar un análisis previo a los parámetros incluidos ya que cada lugar de estudio tiene particularidades distintas, en ese sentido, no podemos aplicar una metodología siguiendo los pasos al 100 % ya que el margen de error se incrementaría. Se recomienda adaptar la metodología usada en base a los antecedentes del área de estudio, de esta manera, se evita errores con un margen amplio.

## REFERENCIAS

- AGUILON ÁLVAREZ, V. C. (2016). Ambientes Glaciares[En línea]. *UNAM-Facultad de Ciencias*, 29.[Fecha de consulta: 16 de febrero del 2022]. Disponible en:  
<https://www.yumpu.com/es/document/read/14886468/ambientes-glaciares-unam>
- ALLEN, S. *et al* (2021). Glacial lake outburst flood hazard under current and future conditions: first insights from a transboundary Himalayan basin[En línea]. *ResearchGate*, 31. [Fecha de consulta: 16 de febrero del 2022]. Disponible en: 10.5194/nhess-2021-167
- ANA. (2014). Inventario de lagunas y glaciares[En línea]. Lima. Autoridad Nacional del Agua. [Fecha de consulta: 21 de febrero del 2022]. Disponible en:  
<https://hdl.handle.net/20.500.12543/199>
- ANA, U. D. (2014). *Inventario Nacional de Glaciares del Peru-2014*[En línea]. Huaraz: UNIDAD DE GLACIOLOGIA Y RECURSOS HIDRICOS. [Fecha de consulta: 15 de febrero del 2022].  
Disponible en:  
[https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/inv.\\_nacional\\_de\\_glaciares\\_de\\_las\\_19\\_cordilleras\\_nevadas\\_parte1.pdf](https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/inv._nacional_de_glaciares_de_las_19_cordilleras_nevadas_parte1.pdf)
- ARÉVALO ADERLY, A. Y. (2015). Análisis multitemporal de glaciares y lagunas glaciares en la Cordillera Blanca e identificación de potenciales amenazas GLOFs[En línea]. *REPOSITORIO TESIS PUCP*, 75. [Fecha de consulta: 21 de febrero del 2022]. Disponible en:  
<http://hdl.handle.net/20.500.12404/7268>
- ARIAS GOMEZ, J. *et al* (2016). El protocolo de investigación III: la población de estudio. *Revista Alergia México*, 201-206. [Fecha de consulta: 15 de febrero del 2022]. Disponible en:  
<https://www.redalyc.org/pdf/4867/486755023011.pdf>
- ARIZA, A. (2013). Descripción y Corrección de Productos Landsat 8[En línea]. *Instituto Geografico Agustin Codazzi*, 5-15. [Fecha de consulta: 25 de febrero del 2022]. Disponible en:  
<https://www.un-spider.org/sites/default/files/LDCM-L8.R1.pdf>

- BMG. (2019). *www.bluemarblegeo.com*. Obtenido de Blue Marble geographics:  
[https://www.bluemarblegeo.com/knowledgebase/global-mapper-19/Raster\\_Calculator.htm](https://www.bluemarblegeo.com/knowledgebase/global-mapper-19/Raster_Calculator.htm)
- BOLCH, T. *et al* (2011). Identification of potentially dangerous glacial lakes in the northern Tien Shan[En línea]. *Natural Hazards*, 1691-1714. [Fecha de consulta: 19 de febrero del 2022].  
Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11069-011-9860-2>
- BRENNING, A. (2003). La Importancia de los Glaciares de Escombros en los Sistemas Geomorfológico e Hidrológico de la Cordillera de Santiago: Fundamentos y Primeros Resultados[En línea]. *Revista de Geografía Norte Grande*, 7-22. [Fecha de consulta: 25 de febrero del 2022]. Disponible en: <http://ojs.uc.cl/index.php/RGNG/article/view/42865>
- CAFA , Adrian Pablo(2021). Monitorización de la calidad del agua de los lagos mediante técnicas de observación satelital[En línea]. *Universidad de Cantabria*, 36. [Fecha de consulta: 28 de febrero del 2022]. Disponible en: <http://ri.itba.edu.ar/handle/123456789/3432>
- CASTILLO MARTIN, A. *et al* (2005). Primeros datos sobre el inventario y caracterización morfométrica de las lagunas glaciares “permanentes” del Parque Nacional de Sierra Nevada (Granada) [En línea]. *Publicaciones del IGME: serie Hidrogeología y aguas subterráneas*, 619-628. [Fecha de consulta: 28 de febrero del 2022]. Disponible en: <https://www.semanticscholar.org/paper/Primeros-datos-sobre-el-inventario-y-morfom%C3%A9trica-Mart%C3%ADn-Herrera/c8111e216a4b29df07d79bd72626786ea31d9df1>
- CHUVIECO, E. (2000). Fundamentos de teledetección espacial. Madrid: RIALP S.A MADRID,224.  
ISBN:48-321-2680-2

- COLONIA, Daniel *et al* (2017). Compiling an Inventory of Glacier-Bed Overdeepenings and Potential New Lakes in De-Glaciating Areas of the Peruvian Andes: Approach, First Results, and Perspectives for Adaptation to Climate Change [En línea]. *Water*, 18. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/w9050336>
- CONCHA FERNANDEZ, J. (1957). El problema de las lagunas de la Cordillera Blanca [En línea]. *SOCIEDAD GEOLOGICA DEL PERU*, 87-95. Disponible en: <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/3725>
- CONCYTEC (2020). Guía práctica para la formulación y ejecución de proyectos de investigación y desarrollo experimental (I+D) [En línea]. Lima, Consejo Nacional de Ciencia. *Tecnología e innovación tecnológica*. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12390/2187>
- BARCSH, Dietrich (1996). Rockglaciers: Indicators for the Present and Former Geoecology in High Mountain Environments [En línea]. *Springer Series*, 331- 343. Disponible en: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-80093-1>
- DAN H., *et al* (2020). Rapid worldwide growth of glacial lakes since 1990 [En línea]. *Nature.com*, 939–945. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0855-4>
- DOZIER, J. (1989). Spectral Signature of Alpine Snow Cover from the Landsat Thematic Mapper [En línea]. *ELSEVIER*, 9-22. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(89\)90101-6](https://doi.org/10.1016/0034-4257(89)90101-6)
- DRENKHAN, F. y GUARDAMINO, L. (2019). Evolución y potencial amenaza de lagunas glaciares en la cordillera de Vilcabamba (Cusco y Apurímac, Perú) entre 1991 y 2014 [En línea]. *Instituto nacional de investigacion de glaciares y ecosistemas de montaña*, 21-36. Disponible en: <https://revista.inaigem.gob.pe/index.php/RGEM/article/view/3/4>
- DUNCAN, C. (2016). Reseña del libro : Balance de masa glaciar [En línea]. *Revista de Geografía Norte Grande*, 239-241. Disponible en: <http://revistanortegrande.uc.cl/index.php/RGNG/article/view/40883>

- EOS. (2022). *Earth Observing system*. Obtenido de <https://eos.com/es/make-an-analysis/ndsi/>
- FLOREZ, Antonio y RIOS, Katherine (1998). Las lagunas de alta montaña[En línea]. *Cuadernos de Geografía. Revista Colombiana de Geografía*, 25. Disponible en:  
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcg/article/view/70831>
- FRANCOU, B. *et al* (2015). Glaciares de los Andes Tropicales víctimas del Cambio Climático[En línea]. *CAN - PRAA - IRD*, 100. Disponible en: [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers14-07/010062800.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers14-07/010062800.pdf)
- GILANY, Naseem *et al* (2020). Geospatial analysis and simulation of glacial lake outburst food hazard in Shyok Basin of Pakistan[En línea]. *Environmental Earth Sciences*, 12. Disponible en: 10.5194/tc-2019-292
- González, Blanca y García, Andres (2016). Análisis multitemporal del retroceso glaciar en la Sierra nevada de Santa Marta – Colombia- para los períodos 1986, 1996, 2007 Y 2014[En línea]. *Universidad Distrital Francisco José De Caldas*, 66. Disponible en:  
<http://hdl.handle.net/11349/3508>
- GUARDAMIO, L. (2014). Análisis de la evolución de las lagunas de alta montaña en la Cordillera del Vilcabamba (Cusco y Apurímac) entre los años 1991-2014 mediante métodos de sensoramiento remoto y SIG[En línea]. *PUCP*, 95. Disponible en:  
<http://hdl.handle.net/20.500.12404/5896>
- GUARDAMIO, L. *et al* (2019). Proyección de Lagunas Futuras en las Cordilleras Glaciares del Perú[En línea]. *Autoridad Nacional Del Agua*, 64. Disponible en:  
<https://hdl.handle.net/20.500.12543/3597>
- HAEBERLI, W. (1985). Creep of mountain permafrost: internal structure and flow of alpine rock glaciers[En línea]. *Versuchsanstalt f. Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie*, 142.

Disponible en: <https://ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/baug/vaw/vaw-dam/documents/das-institut/mitteilungen/1980-1989/077.pdf>

HARRISON, Stephan, *et al* (2018). Climate change and the global pattern of moraine-dammed glacial lake outburst floods[En línea]. *European Geosciences Union*, 1195–1209. Disponible en: <https://doi.org/10.5194/tc-12-1195-2018>

HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, Maria (2014). Metodología de la investigación[En línea]. *Mc Graw Hill*, 634. Disponible en: <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

HUAYANEY, Alva y Melendez, Juan (2009). Aplicación de la Teledetección para el análisis multitemporal de la regresión glaciar en la Cordillera Blanca[En línea]. *investigaciones sociales, Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, 71 - 83. Disponible en: <https://doi.org/10.15381/is.v13i22.7216>

INAIGEM. (2018). INVENTARIO NACIONAL DE GLACIARES[En línea]. *Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña*, 354. Disponible en: <https://repositorio.inaigem.gob.pe/handle/16072021/57>

INAIGEM. (2021). Evaluación del riesgo por aluvión en la ciudad de Huaraz, distritos de Huaraz e Independencia, provincia de Huaraz, departamento de Áncash[En línea]. *Instituto Nacional de Investigación de Glaciares y Ecosistemas de Alta Montaña*, 111. Disponible en: <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/12502?boletin=483>

INDECI. (2002). *Mapa de peligros de la Ciudad de Urubamba* [En línea]. Urubamba. Instituto nacional de Defensa, 106. Disponible en: [http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/estudios\\_CS/Region\\_Cusco/urubamba/urubamba\\_mp.pdf](http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/estudios_CS/Region_Cusco/urubamba/urubamba_mp.pdf)

INGEMMET. (2010). Evaluación Geológica y Geodinámica de la quebrada Chicón: Aluvión del 17 de octubre del 2010 que afectó [En línea]. Urubamba-Cusco. *Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico*, 6. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12544/1129>

IPCC. (2014). Cambio climático 2014 Impactos, adaptación y vulnerabilidad [En línea]. *Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*, 40. Disponible en: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGIIAR5-IntegrationBrochure\\_es-1.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGIIAR5-IntegrationBrochure_es-1.pdf)

K. BABU, Govindha *et al* (2013). Remote sensing-based hazard assessment of glacial lakes in Sikkim Himalaya [En línea]. *ResearchGate*, 359-360. Disponible en: <https://tstwww.currentscience.ac.in/Volumes/104/03/0359.pdf>

LICCIARDI, Joseph *et al* (2009). Holocene Glacier Fluctuations in the Peruvian Andes Indicate Northern Climate Linkages [En línea]. *Science (New York, N.Y.)*, 1677-1679. Disponible en: DOI: 10.1126/science.1175010

LINSBAUER, Andreas *et al* (2016). Glacial lake outburst flood risk in Himachal Pradesh, India: an integrative and anticipatory approach considering current and future threats [En línea]. *SPRINGER*, 1741-1763. Disponible en: 10.1007/s11069-016-2511-x

McFEETERS, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features [En línea]. *International Journal of Remote Sensing*, . Disponible en: <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>

MEDINA, Gilberto y MEJIA, Javier (2014). Análisis multitemporal y multifractal de la deglaciación de la Cordillera Parón en los Andes de Perú [En línea]. *Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima – Perú.*, 7. Disponible en: 10.21704/rea.v13i1-2.452

- RADEMAKER, Kurt *et al* (2014). Paleoindian settlement of the high-altitude Peruvian Andes [En línea]. *SCIENCE*, 466. Disponible en: 10.1126/science.1258260

- ONERN, O. N. (2009). La clasificación de la capacidad de uso mayor se basa en el Reglamento de Clasificación de Tierras[En línea]. *Nitratos del Peru*. Disponible en:  
[https://www.serfor.gob.pe/pdf/normatividad/2009/decreto/DS%20N%C3%82%C2%BA%20017-2009-AG\(Reglamento%20de%20Clasif%20%20de%20Tierras\).pdf](https://www.serfor.gob.pe/pdf/normatividad/2009/decreto/DS%20N%C3%82%C2%BA%20017-2009-AG(Reglamento%20de%20Clasif%20%20de%20Tierras).pdf)
- PLANTON, S. (2013). Glosario en Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático[En línea]. *IPCC*, 22. Disponible en:  
[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/WGI\\_AR5\\_glossary\\_ES.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/WGI_AR5_glossary_ES.pdf)
- SCHAUWECKER, Simone et al (2017). El futuro del clima y de los glaciares en el Perú[En línea]. *CARE Perú*, 19. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12543/4137>
- SCHMIDT, Esteven K. et al (2018). Phosphorus, not nitrogen, limits plants and microbial primary producers following glacial retreat[En línea]. *SCIENCE ADVANCES*, 8. Disponible en: [10.1126/sciadv.aag0942](https://doi.org/10.1126/sciadv.aag0942)
- SCHOOLMEESTER, Tina et al (2018). The Andean Glacier and Water Atlas: The Impact of Glacier Retreat on Water Resources[En línea]. *UNESCO and GRID-Arendal*, 80. Disponible en: <https://www.grida.no/publications/407>
- SENAMHI. (2007). Escenarios de cambio climático en la cuenca del río Urubamba para el año 2100[En línea]. *SENAMHI*, 120. Disponible en:  
[https://www.senamhi.gob.pe/usr/cmn/pdf/PRAA\\_est\\_fin\\_cuenca\\_URUBAMBA.pdf](https://www.senamhi.gob.pe/usr/cmn/pdf/PRAA_est_fin_cuenca_URUBAMBA.pdf)
- SHAUN D., Richardson y REYNOLDS, John. (2000). An overview of glacial hazards in the Himalayas[En línea]. *Quaternary International*, 31-47. Disponible en:  
[https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(99\)00035-X](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(99)00035-X)

- SRINIVASALU, Pradeep, *et al* (2019). Volume estimation of existing and potential glacier lakes, Sikkim Himalaya, India [En línea]. *UNIVERSIDAD DE SIKKIN*, 116. Disponible en: [10.18520/cs/v116/i4/620-627](https://doi.org/10.18520/cs/v116/i4/620-627)
- TARAZONA, Yonatan (2012). Aplicación de la Teledetección como una herramienta para el análisis Multitemporal del retroceso glaciar en el Nevado Pastoruri debido al Cambio Climático [En línea]. *Universidad Nacional Mayor de San Marcos Lima – Perú*, 48. Disponible en: <https://teledeteccionsigcartografia.files.wordpress.com/2013/01/retroceso-del-nevado-pastoruri.pdf>
- VILCA, Oscar *et al* (2021). The 2020 glacial lake outburst flood process chainat Lake Salkantaycocha (Cordillera Vilcabamba, Peru) [En línea]. *Springer*, 13. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10346-021-01670-0>
- Vuille, Mathias *et al* (2008). Climate change and tropical Andean glaciers: Past, present and future [En línea]. *ELSEVIER*, 79-96. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2008.04.002>
- Wegner, Stevan (2014). Lo que se llevo el agua , consecuencias y lecciones del aluvion de 1941 [En línea]. *IMACC*, 88. Disponible en: <http://siar.minam.gob.pe/ancash/documentos/nota-tecnica-07-que-agua-se-llevo-consecuencias-lecciones-aluvion>
- ZHANG, Taigang *et al* (2021). Simulation and Assessment of Future Glacial Lake Outburst Floods in the Poiqu River Basin, Central Himalayas [En línea]. *Water*, 19. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/w13101376>
- MERGILI, Martin *et al* (2021). The 2020 glacial lake outburst flood at Jinwuco, Tibet causes, impacts, and implications for hazard and risk assessment [En línea]. *ResearchGate*, 29. Disponible en: <https://doi.org/10.5194/tc-15-3159-2021>

**ANEXOS**

Anexo N° 1 Matriz de consistencia.

Diagnóstico de Lagunas Glaciares con Potencial de Desborde a Causa del Retroceso Glaciar en la Cordillera Urubamba, Cusco, 2022.

**Cuadro 19.** *Matriz de consistencia.*

<b>PROBLEMA</b>	<b>OBJETIVO</b>	<b>HIPÓTESIS</b>
<i>Principal</i>	<i>General</i>	<i>General</i>
¿Cuál es el diagnóstico de lagunas glaciares con potencial GLOF a causa del retroceso glaciar en los nevados Pumahuanca y Chicón?	Realizar el diagnóstico de lagunas glaciares con potencial GLOF a causa del retroceso glaciar en los nevados Pumahuanca y Chicón	El diagnóstico de lagunas glaciares con potencial GLOF genera una alta peligrosidad a causa del retroceso glaciar en los nevados Pumahuanca y Chicón
<b>ESPECIFICO</b>	<b>ESPECIFICO</b>	<b>HIPOTESIS ESPECIFICA</b>
<p>¿Cuál es el área de pérdida glaciar en los años 1970-2021 en la en los nevados Pumahuanca y Chicón?</p> <p>¿Cuál es el crecimiento de lagunas glaciares en los nevados Pumahuanca y Chicón en los años 2015-2021?</p> <p>¿Cuáles son las características geomorfológicas de las lagunas glaciares catalogadas con potencial GLOF en los</p>	<p>Determinar la pérdida de área glaciar entre los años 2016-2021 en los nevados Pumahuanca y chicón.</p> <p>Determinar el crecimiento de lagunas glaciares en los nevados Pumahuanca y chicón entre los años 2016-2021.</p>	<p>Se tiene un retroceso significativo del área glaciar entre los años 1970-2021 en los nevados Pumahuanca y chicón</p> <p>Se incrementó el área lagunar de cada laguna glaciar en los nevados Pumahuanca y chicón entre los años 2015-2021</p> <p>Las características morfológicas indican alto potencial de riesgo de las lagunas</p>

<p>nevados Pumahuanca y Chicón para el año 2021?</p>	<p>Identificar las características geomorfológicas de las lagunas glaciares catalogadas con potencial GLOF en los nevados Pumahuanca y chicón para el año 2021.</p>	<p>catalogadas con mayor área de espejo lagunar</p>
<p>¿Cuál es el nivel de riesgo de las lagunas glaciares con potencial GLOF respecto a las poblaciones de cuenca baja en los nevados Pumahuanca y Chicón?</p>	<p>Determinar nivel de riesgo de las lagunas glaciares con potencial GLOF respecto a las poblaciones de cuenca baja en los nevados Pumahuanca y chicón.</p>	<p>Se hallaron un 20% de lagunas glaciares que tiene un riesgo alto para las comunidades cuenca baja en los nevados Pumahuanca y chicón</p>

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDADES
<p>Variable N°1: Lagunas Glaciares con potencial GLOF.</p>	<p>Características del área lagunar</p>	<p>Profundidad</p>	<p>m</p>
		<p>Area</p>	<p>m<sup>2</sup></p>
		<p>Volumen</p>	<p>m<sup>3</sup></p>
	<p>Características del entorno glaciar.</p>	<p>Distancia respecto al área glaciar más cercano</p>	<p>m</p>
		<p>Distancia respecto al centro poblado más cercano</p>	<p>m</p>
		<p>Distancia respecto la laguna glaciar y el rio más cercano</p>	<p>m</p>
	<p></p>	<p>Distancia del centro poblado p respecto al rio más cercano.</p>	<p>m</p>
	<p>características geomorfológicas.</p>	<p>Pendiente del contorno</p>	<p>grados</p>
		<p>Tipo de dique</p>	<p>-</p>
<p>Ancho de dique.</p>		<p></p>	

Variables N°2: Retroceso glaciar	Características del área glaciar.	Área glaciar	m <sup>2</sup>
----------------------------------	-----------------------------------	--------------	----------------

MÉTODOLOGIA	Técnica	Instrumento
Tipo de Investigación:	Observacional	Imágenes LANDSAT 8 OLI
El presente estudio es tipo cuantitativo descriptivo ya que permite describir y cuantificar las características de las lagunas glaciares entre los años año 1970-2021 y retroceso glaciar entre el año 2015-2021, también poder medir el potencial de desborde (GLOF) de las lagunas identificadas en los nevados Pumahuanca y chicón para el 2021.		Software ArcGis
Diseño de la investigación:		Google Earth Pro
Investigación no experimental, longitudinal de evolución de grupo ya que se analizará las mismas variables con un grupo determinado de lagunas glaciares durante el 2015 al 2021, dichas variables serán analizadas mediante imágenes satelitales tomando en cuenta el retroceso glaciar de 1970 al 2021, crecimiento de lagunas glaciares		

desde 2015 al 2021 y el nivel de riesgo de lagunas glaciares con potencial GLOF para el 2021.
<b>Población</b>
La población objetiva del presente trabajo de investigación está comprendida por el estudio de lagunas glaciares y contorno de área glaciar en los nevados Pumahuanca y chicón, ubicada en el departamento de Cusco.
<b>Muestra:</b>
En ese sentido el tipo de técnica de muestreo utilizado es no probabilística, muestreo por cuotas ya que se elegirá las lagunas glaciares con potencial GLOF con características similares y representativas de cada laguna glaciar para ser clasificadas.
<b>Muestreo:</b>
Muestreo no probabilístico, muestreo por cuotas ya que se elegirá las lagunas glaciares con potencial GLOF con características similares y representativas de cada laguna glaciar para ser clasificadas.

Fuente: Elaboración propia.

medición indirecta

Microsoft Office

Anexo N.º 2 Matriz de operalización de variable.

**Cuadro 20.** Matriz de operalización de variable.

<b>Diagnóstico de Lagunas Glaciares con Potencial de Desborde a Causa del Retroceso Glaciar en la Cordillera Urubamba, Cusco,2022.</b>					
<b>VARIABLES</b>	<b>DEF. CONCEPTUAL</b>	<b>DEF. OPERACIONAL</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>UNIDADES</b>
<b>Lagunas glaciares con potencial GLOF</b>	Las lagunas con potencial de desborde son aquellas lagunas de origen glaciar con la capacidad de provocar un desborde ya sea por un terremoto, avalancha de roca o hielo y el aumento de la presión del agua por el retroceso glaciar afectando aguas abajo a las poblaciones más cercanas causando daños económicos, sociales y ambientales (Shan, 2011)	Esta variable se desarrollará mediante el uso de imágenes satelitales desarrolladas por el programa ArcGis 10.8, donde se medirá las características como profundidad, distancia, área, volumen lagunar, entre otros. Que permitan determinar el nivel de potencial GLOF de lagunas glaciares.	Características del área lagunar	Profundidad	m
				Área	m <sup>2</sup>
				Volumen	m <sup>3</sup>
			Características del entorno glaciar.	Distancia respecto al área glaciar más cercano	m
				Distancia respecto a la población más cercano	m
				Distancia respecto al río más cercano	m
				Distancia de población respecto al río más cercano.	m
			características geomorfológicas.	Pendiente del contorno	grados
				Ancho de dique	m
				Tipo de dique	-
<b>Retroceso glaciar.</b>	Es el ascenso de la línea inferior de la nieve persistente de alta montaña como consecuencia del deshielo, adelgazamiento del espesor y disminución de la extensión. Las causas principales son por el efecto invernadero, dinámica volcánica, entre otros (JorgeC. 1997, pag.6)	Se desarrollará a partir de imágenes satelitales con el apoyo del programa de ArcGis 10.8 para la obtención de área y pendiente, con el apoyo de un modelo de elevación digital (DEM)	Características de área glaciar	Área	m <sup>2</sup>

Anexo N.º 3 Validación de instrumentos de investigación

**Cuadro 21.** *Validación de instrumentos de investigación.*

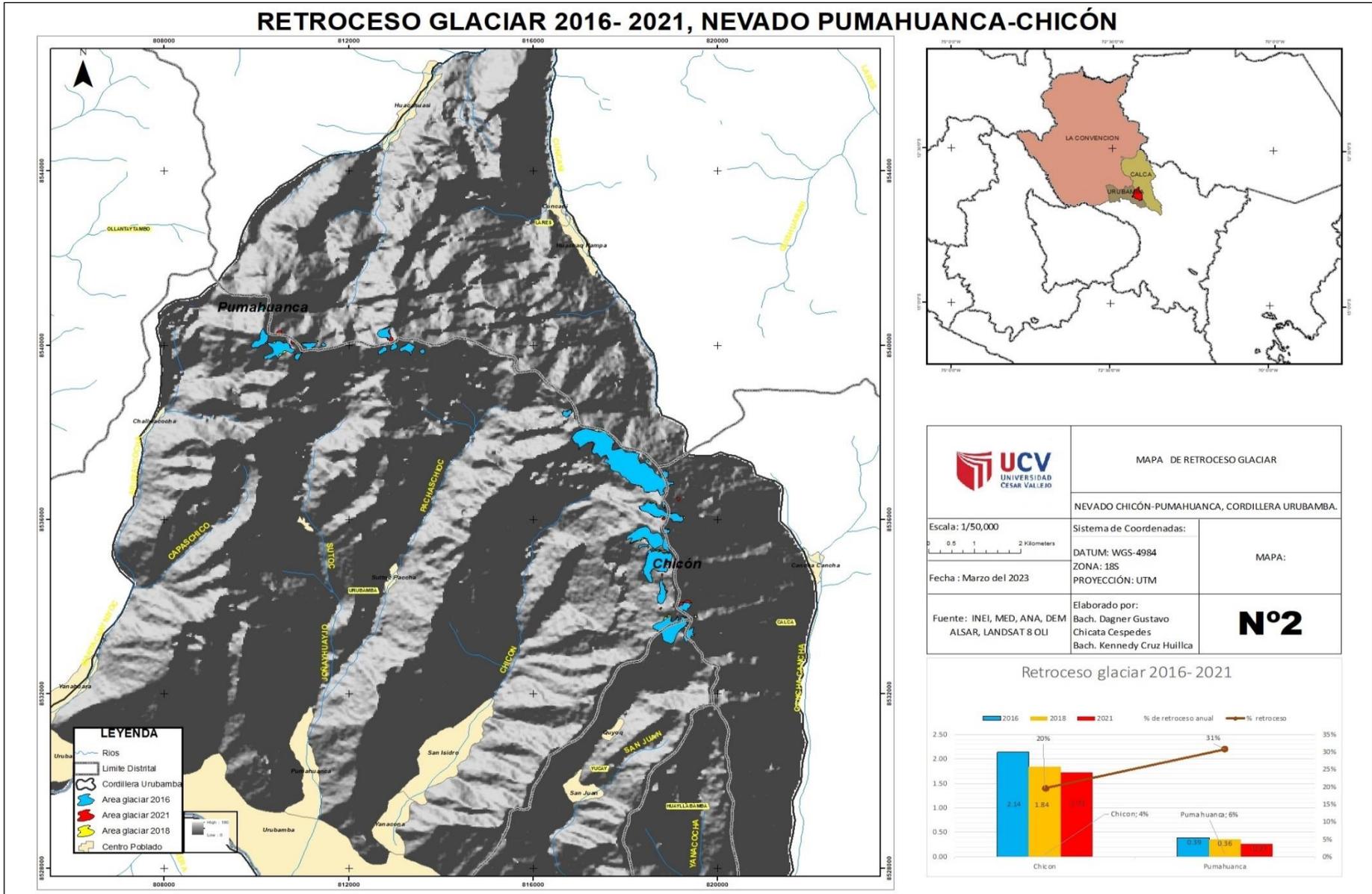
Técnica	Instrumento	Principales Ventajas	Principales Desventajas
Medición	Software ArcGis	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Procesamiento automático.</li> <li>- Se puede realizar múltiples análisis</li> <li>-Facilidad para procesar datos sin necesidad de hacer un trabajo de campo.</li> <li>- No es necesario disponer de un servidor web.</li> <li>- Perfecto para el estudio de zonas inaccesibles.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- la precisión para obtener los resultados depende exclusivamente del investigador</li> <li>- capacitación para el uso de este programa</li> <li>- la licencia de programa es muy cara, pero se puede trabajar sin licencia sin la opción de utilizar algunas herramientas.</li> </ul>
	Google Earth Pro	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Facilidad de observar características de lagunas glaciares.</li> <li>- Facilmente manipulable.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- la precisión para obtener los resultados depende exclusivamente del investigador.</li> </ul>
	imagenes LANDSAT 8 OLI:	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Permite trabajar desde laboratorio sin necesidad de salir a campo</li> <li>-permite realizar trabajos multitemporales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Depende de 5 tipos de resoluciones: Temporal, radiométrica, angular, Espacial y resolución espectral, normalmente las imágenes satelitales de buena resolución</li> </ul>

		permite analizar parámetros ya sean meteorológicos, de terreno, cuerpos de agua o vegetación	se compran, pero existe imágenes satelitales gratuitas como las de la serie LANSADT que nos permiten trabajar.
	Microsoft Office:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fácil procesamiento de datos.</li> <li>-Acceder desde cualquier dispositivo.</li> <li>- Usado por la mayoría de los investigadores.</li> <li>- Formato fácil de usar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Las nuevas versiones requieren muchos recursos.</li> <li>-Costo de licencia muy elevada.</li> <li>-Pueden tener errores de compatibilidad en los nuevos sistemas</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

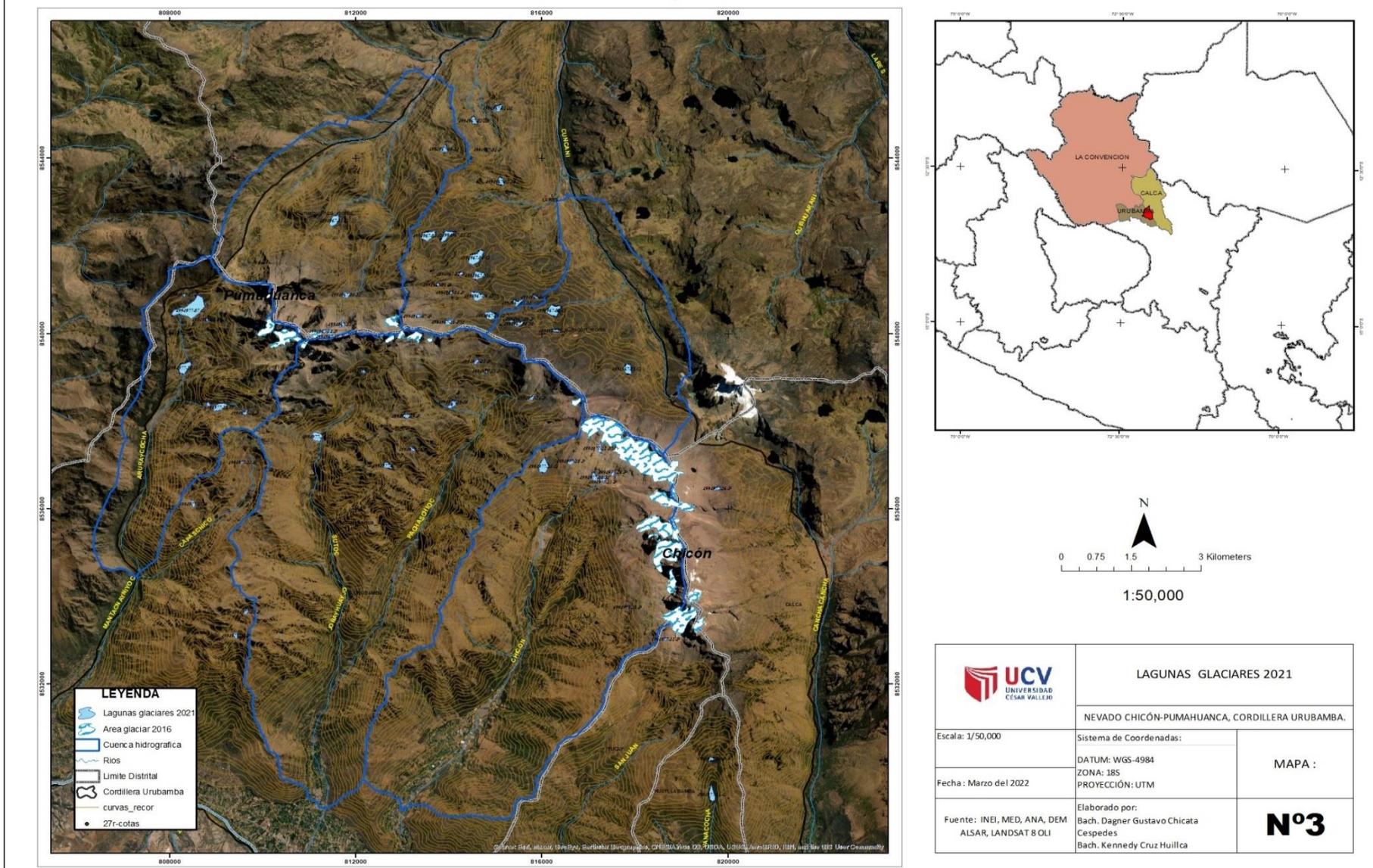
Anexo N.º 4 MAPAS TEMATICOS ELABORADOS.

**RETROCESO GLACIAR 2016- 2021, NEVADO PUMAHUANCA-CHICÓN**



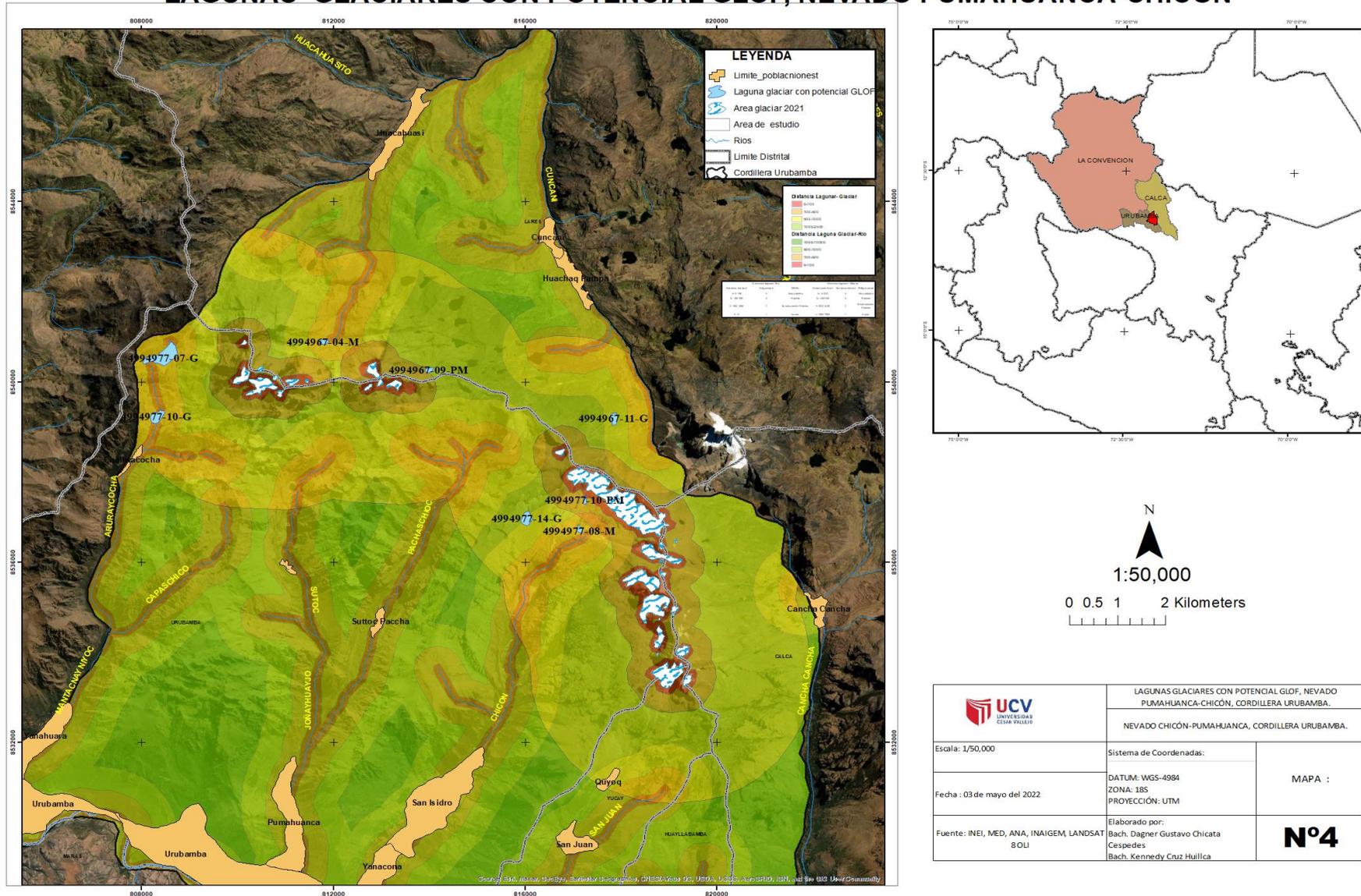
**Figura 16.** Mapa N° 2, Retroceso glaciar 2016-2021 del nevado Pumahuanca- Chicón. Elaboración propia.

## LAGUNAS GLACIARES 2021, NEVADO PUMAHUANCA-CHICÓN



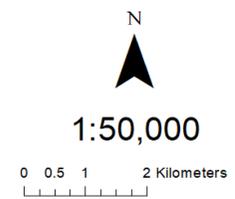
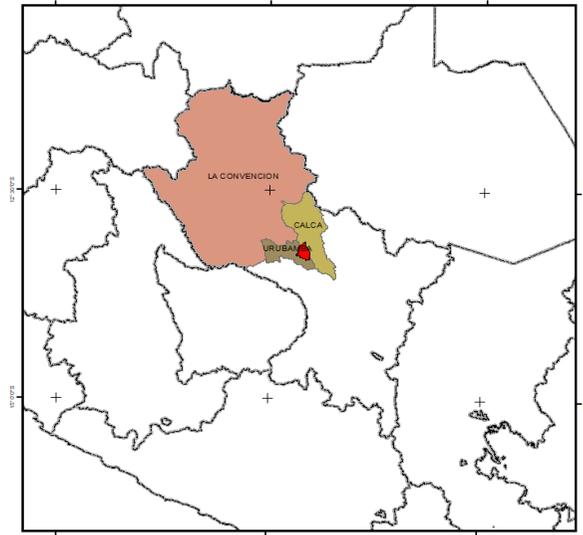
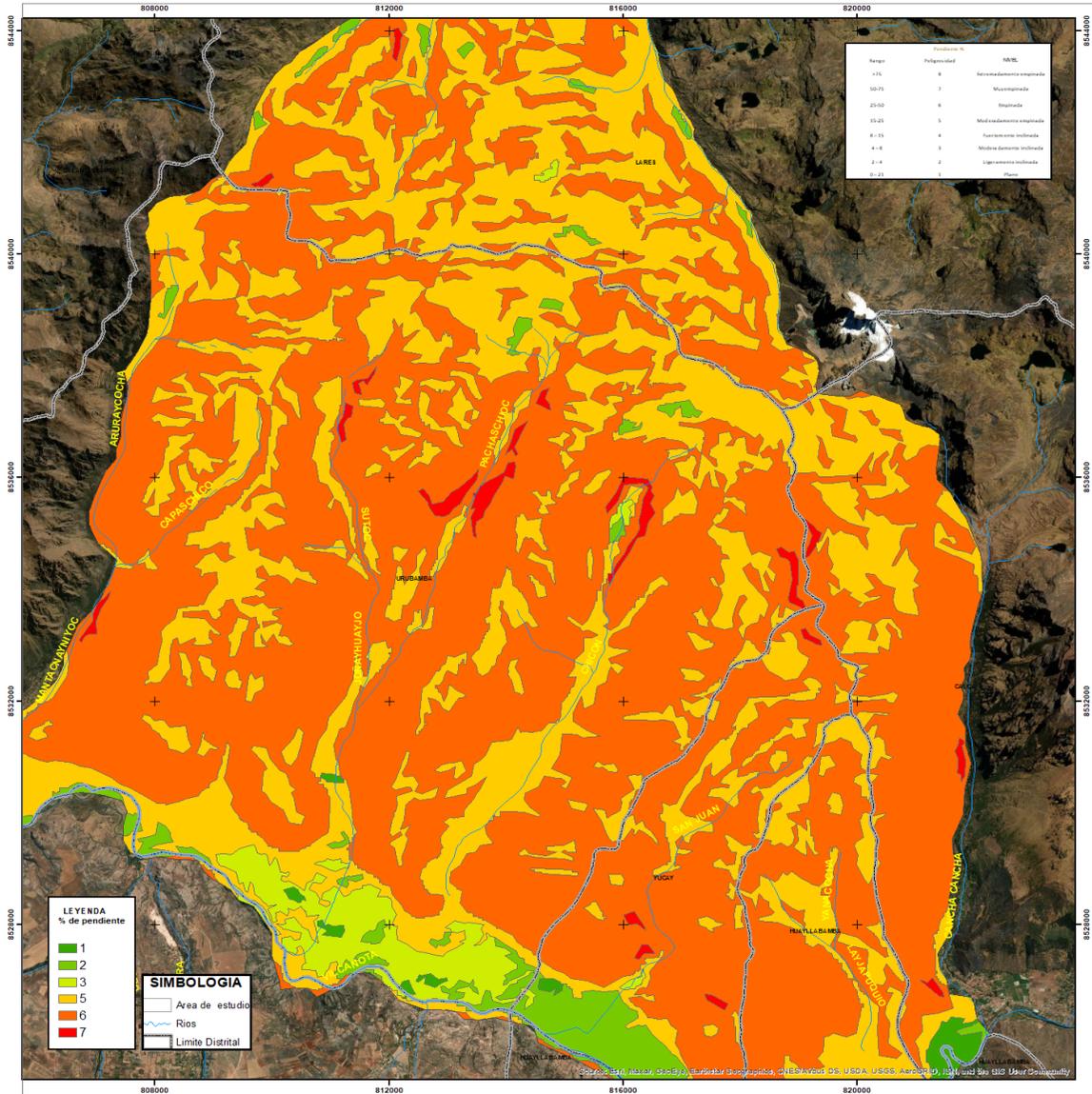
**Figura 17.** Mapa Nº 3, Lagunas glaciares 2021 del nevado Pumahuanca- Chicón. Elaboración propia.

## LAGUNAS GLACIARES CON POTENCIAL GLOF, NEVADO PUMAHUANCA-CHICÓN



**Figura 18.** Mapa N°4, Lagunas glaciares con potencial GLOF 2021 del nevado Pumahuanca- Chicón. Elaboración propia.

# MAPA DE PENDIENTE, NEVADO PUMAHUANCA- CHICÓN, CORDILLERA URUBAMBA



 UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO	MAPA DE PENDIENTES.	
	NEVADO CHICÓN-PUMAHUANCA, CORDILLERA URUBAMBA.	
Escala: 1/50,000	Sistema de Coordenadas: DATUM: WGS-4984 ZONA: 18S PROYECCIÓN: UTM	MAPA :
Fecha : 03 de mayo del 2022	Elaborado por: Bach. Dagner Gustavo Chicata Céspedes Bach. Kennedy Cruz Huilca	<b>N°5</b>
Fuente: INEI, MED, DEM, JAXA		

Figura 19. Mapa N°5, Lagunas glaciares con potencial GLOF 2021 del nevado Pumahuanca- Chicón. Elaboración propia.

Anexo N.º 5 Flujo de proceso diseñados en Model Builder:

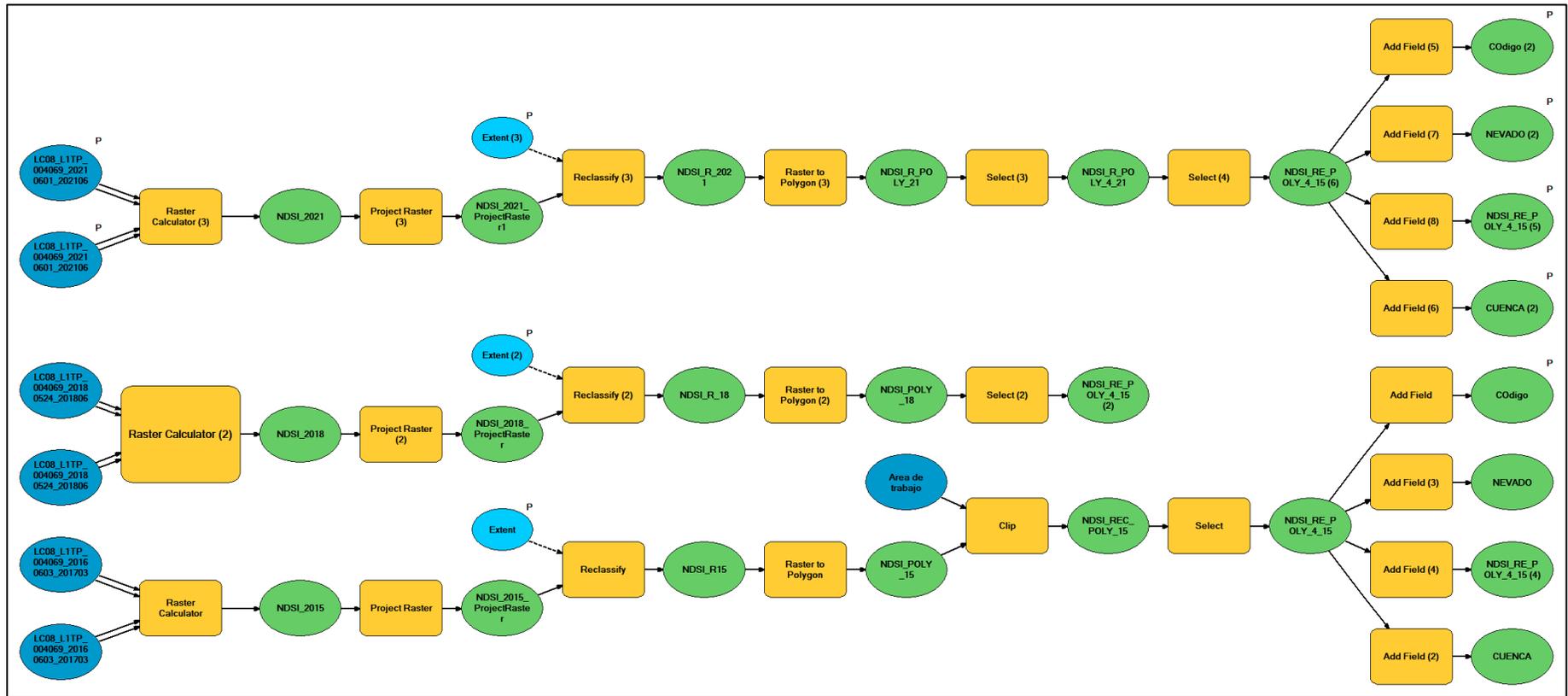


Figura 20. Flujo de procedimiento del retroceso glaciar 2016, 2018 y 2021. Elaboración propia.

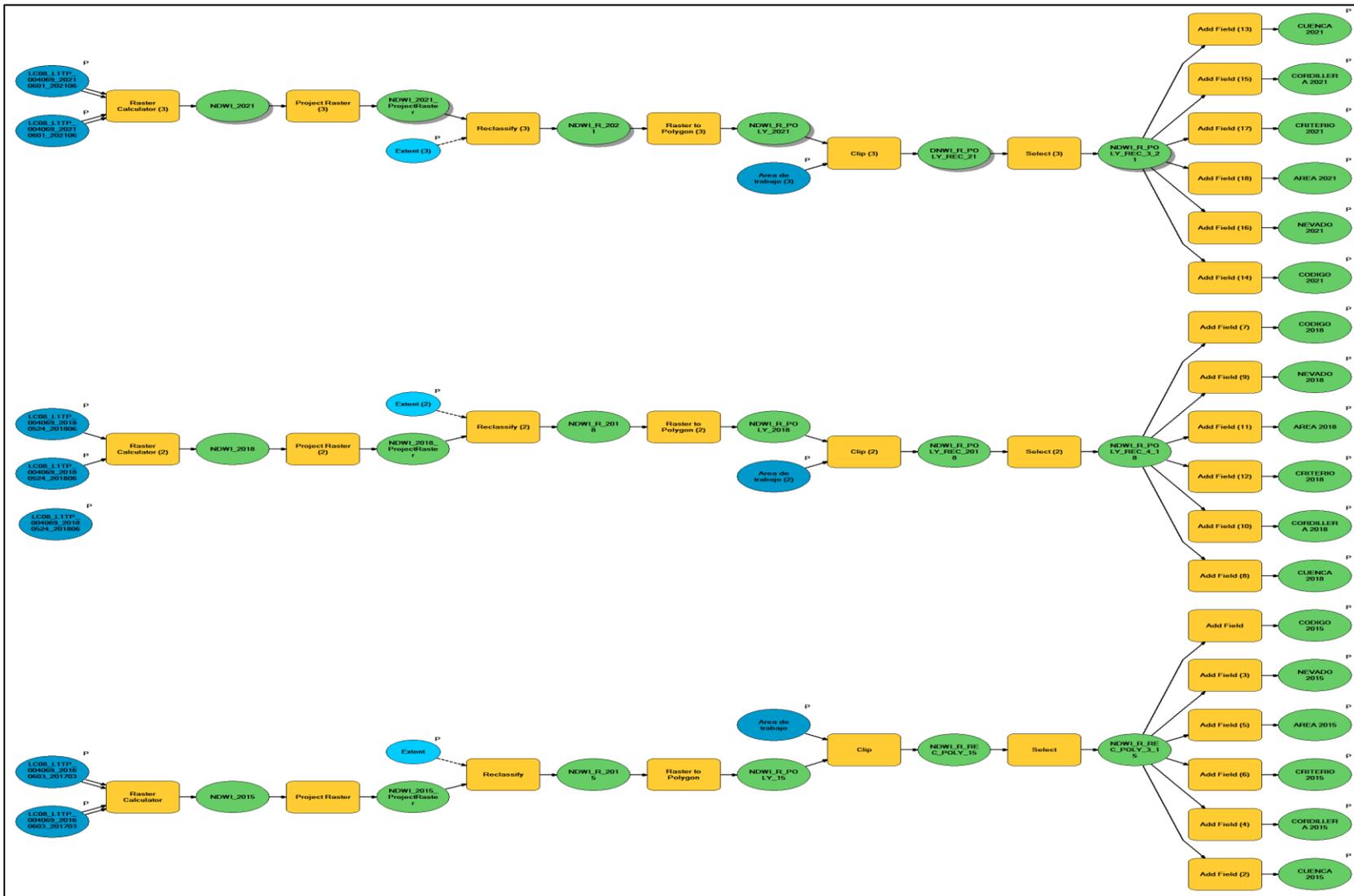
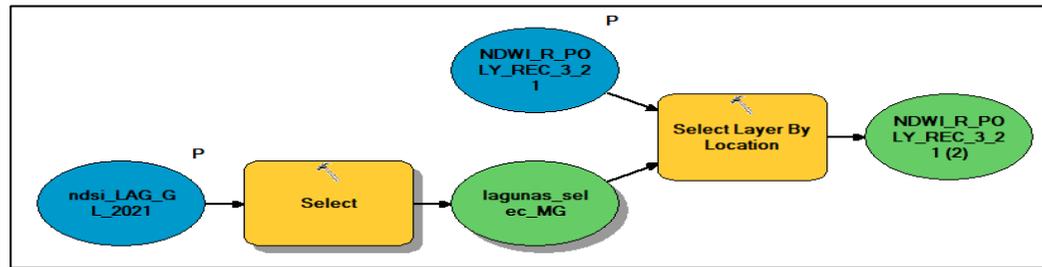
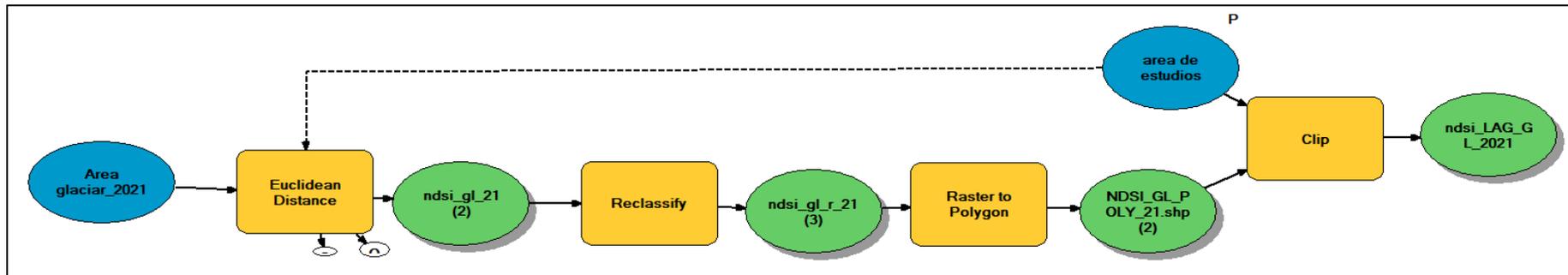
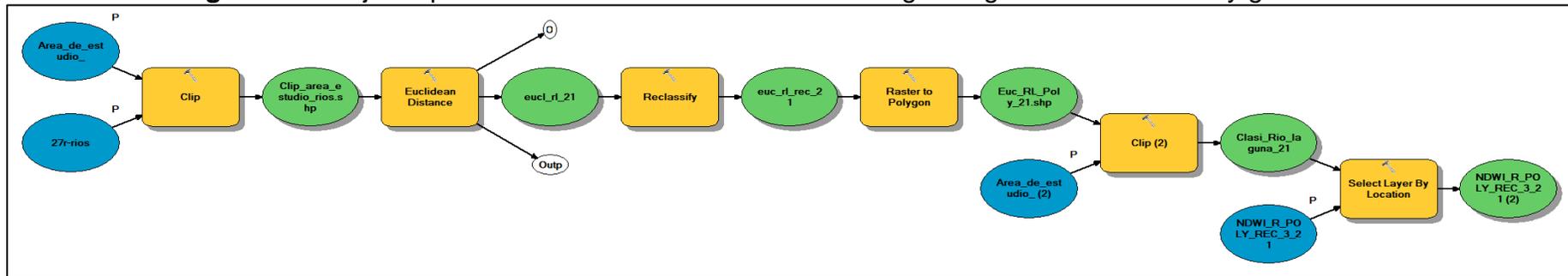


Figura 21. Flujo de procedimiento del área lagunar 2016, 2018 y 2021. Elaboración propia.



**Figura 22.** Flujo de procedimiento de la identificación de lagunas glaciares medianas y grandes



**Figura 23.** Flujo de procedimiento de lagunas glaciares con potencial GLOF 2021 en base a los criterios: distancia laguna glaciario- rio y laguna glaciario- área glaciario. Elaboración propia.

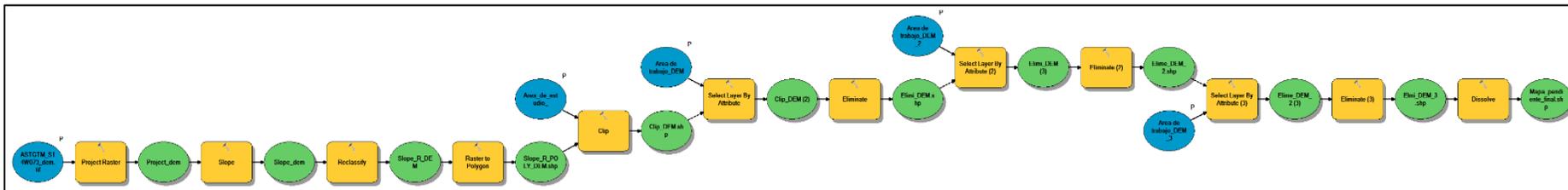


Figura 24. Flujo de procedimiento de la pendiente del área de estudio. Elaboración propia.

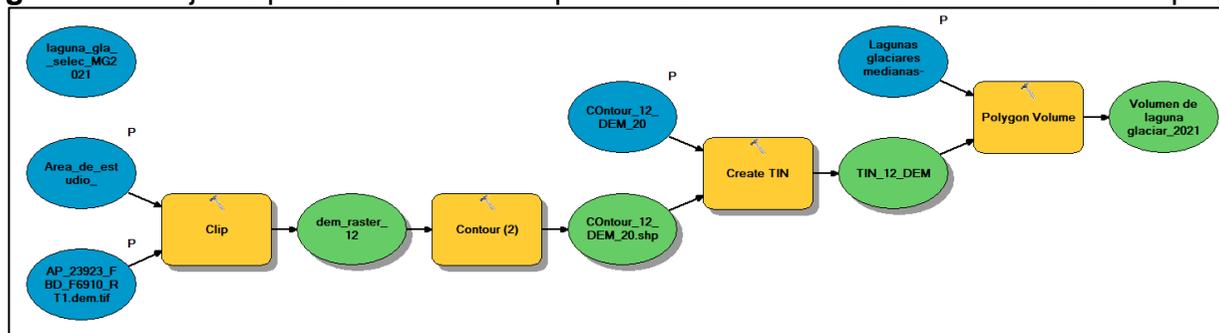
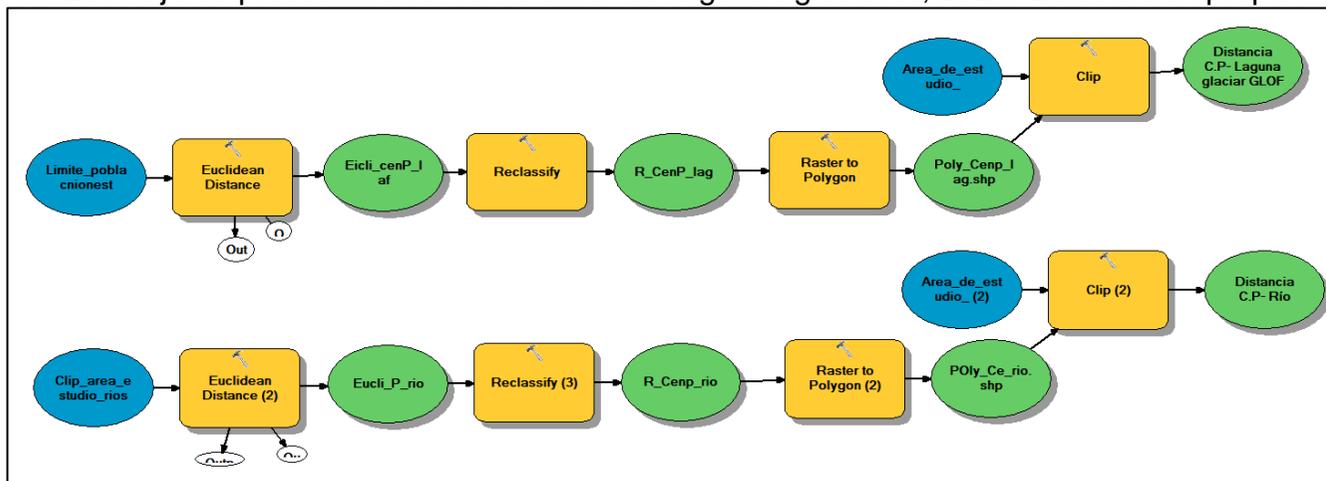
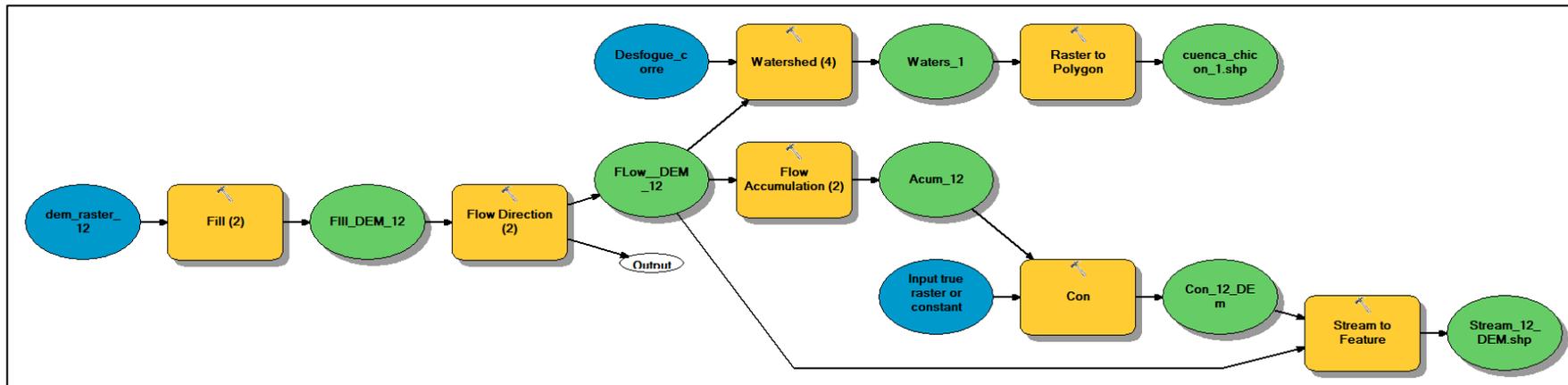


Figura 25. Flujo de procedimiento del volumen de lagunas glaciares, 2021. Elaboración propia.



**Figura 26.** Flujo de procedimiento de la obtención de cuencas hidrográficas. Elaboración propia.



ANEXO 6. LISTA DE LAGUNAS GLACIARES IDENTIFICADAS.

**Cuadro 22.** *Lagunas glaciares identificadas, 2016.*

CODIGO	CUENCA	NEVADO	CORDILLERA	AREA	CATEGORIZACION	CODIGO_ESPECIFICO
Área_lagunar_2016	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	1136	Pequeño	4994969-01-P
Área_lagunar_2016	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	1215	Pequeño	4994969-02-P
Área_lagunar_2016	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	1215	Pequeño	4994969-03-P
Área_lagunar_2016	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	2568	Pequeño	4994969-04-P
Área_lagunar_2016	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	3765	Pequeño	4994969-06-P
Área_lagunar_2016	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	4726	Pequeño	4994969-07-P
Área_lagunar_2016	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	1600	Pequeño	4994969-09-P
Área_lagunar_2016	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	5500	Pequeño	4994969-10-P
Área_lagunar_2016	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	4613	Pequeño	4994969-11-P
Área_lagunar_2016	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	6311	Pequeño	4994969-12-P
Área_lagunar_2016	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	2879	Pequeño	4994977-05-P
Área_lagunar_2016	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	2418	Pequeño	4994977-08-P
Área_lagunar_2016	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	7922	Pequeño	4994977-13-P
Área_lagunar_2016	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	1215	Pequeño	4994977-14-P
Área_lagunar_2016	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	3367	Pequeño	4994977-15-P
Área_lagunar_2016	Chicón	Chicón	Urubamba	5846	Pequeño	4994977-16-P
Área_lagunar_2016	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	7959	Pequeño	4994977-17-P
Área_lagunar_2016	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	3879	Pequeño	4994977-18-P
Área_lagunar_2016	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	6401	Pequeño	4994977-19-P
Área_lagunar_2016	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	8113	Pequeño	4994977-20-P
Área_lagunar_2016	Chicón	Chicón	Urubamba	9205	Pequeño	4994977-21-P
Área_lagunar_2016	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	2518	Pequeño	4994977-22-P
Área_lagunar_2016	Chicón	Chicón	Urubamba	4382	Pequeño	4994977-23-P
Área_lagunar_2016	Chicón	Chicón	Urubamba	3187	Pequeño	4994977-24-P

Área_lagunar_2016	Chicón	Chicón	Urubamba	8589	Pequeño	4994977-25-P
Área_lagunar_2016	Chicón	Chicón	Urubamba	4698	Pequeño	4994977-26-P
Área_lagunar_2016	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	9630	Pequeño	4994977-27-P
Área_lagunar_2016	Chicón	Chicón	Urubamba	616	Pequeño	4994977-28-P
Área_lagunar_2016	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	6238	Pequeño	4994977-29-P
Área_lagunar_2016	Chicón	Chicón	Urubamba	2879	Pequeño	4994977-30-P
Área_lagunar_2016	Chicón	Chicón	Urubamba	6378	Pequeño	4994977-31-P
Área_lagunar_2016	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	5426	Pequeño	4994977-32-P
Área_lagunar_2016	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	12472	Mediano	4994969-01-M
Área_lagunar_2016	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	13036	Mediano	4994969-02-M
Área_lagunar_2016	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	14232	Mediano	4994969-03-M
Área_lagunar_2016	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	15970	Mediano	4994969-04-M
Área_lagunar_2016	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	18644	Mediano	4994969-05-M
Área_lagunar_2016	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	11335	Mediano	4994969-06-M
Área_lagunar_2016	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	15247	Mediano	4994969-09-M
Área_lagunar_2016	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	14898	Mediano	4994977-07-M
Área_lagunar_2016	Chicón	Chicón	Urubamba	12078	Mediano	4994977-08-M
Área_lagunar_2016	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	12396	Mediano	4994977-10-M
Área_lagunar_2016	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	22864	Grande	4994969-01-G
Área_lagunar_2016	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	40611	Grande	4994969-02-G
Área_lagunar_2016	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	30285	Grande	4994969-03-G
Área_lagunar_2016	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	51996	Grande	4994969-04-G
Área_lagunar_2016	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	29942	Grande	4994969-05-G
Área_lagunar_2016	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	23237	Grande	4994969-06-G
Área_lagunar_2016	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	49701	Grande	4994969-08-G
Área_lagunar_2016	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	25041	Grande	4994969-09-G
Área_lagunar_2016	Chicón	Chicón	Urubamba	28437	Grande	4994969-11-G
Área_lagunar_2016	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	149197	Grande	4994977-07-G
Área_lagunar_2016	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	41358	Grande	4994977-10-G
Área_lagunar_2016	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	28543	Grande	4994977-12-G

Área_lagunar_2016	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	25539	Grande	4994977-13-G
Área_lagunar_2016	Chicón	Chicón	Urubamba	43660	Grande	4994977-14-G
Área_lagunar_2016	Chicón	Chicón	Urubamba	29142	Grande	4994977-15-G

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 23.** *Lagunas glaciares identificadas, 2018*

2018					
CODIGO	CUENCA	NEVADO	AREA	CATEGORIZACION	CODIGO_ESPECIFICO
Área laguna glaciár 2018	Pumahuanca	Pumahuanca	1062	Pequeño	4994969-01-P
Área laguna glaciár 2018	Pumahuanca	Pumahuanca	3038	Pequeño	4994969-02-P
Área laguna glaciár 2018	Pumahuanca	Pumahuanca	1215	Pequeño	4994969-03-P
Área laguna glaciár 2018	Pumahuanca	Pumahuanca	3780	Pequeño	4994969-04-P
Área laguna glaciár 2018	Pumahuanca	Pumahuanca	4615	Pequeño	4994969-06-P
Área laguna glaciár 2018	Pumahuanca	Pumahuanca	5710	Pequeño	4994969-07-P
Área laguna glaciár 2018	Pumahuanca	Pumahuanca	2638	Pequeño	4994969-09-P
Área laguna glaciár 2018	Pumahuanca	Pumahuanca	5906	Pequeño	4994969-11-P
Área laguna glaciár 2018	Pumahuanca	Pumahuanca	6348	Pequeño	4994969-12-P
Área laguna glaciár 2018	Chicón	Chicón	7462	Pequeño	4994969-26-P
Área laguna glaciár 2018	Pumahuanca	Pumahuanca	4582	Pequeño	4994969-33-P
Área laguna glaciár 2018	Pumahuanca	Pumahuanca	3447	Pequeño	4994977-05-P
Área laguna glaciár 2018	Pumahuanca	Pumahuanca	2418	Pequeño	4994977-08-P
Área laguna glaciár 2018	Pumahuanca	Pumahuanca	6335	Pequeño	4994977-13-P
Área laguna glaciár 2018	Pumahuanca	Pumahuanca	2963	Pequeño	4994977-14-P
Área laguna glaciár 2018	Pumahuanca	Pumahuanca	1229	Pequeño	4994977-15-P
Área laguna glaciár 2018	Chicón	Chicón	4575	Pequeño	4994977-16-P
Área laguna glaciár 2018	Pumahuanca	Pumahuanca	3426	Pequeño	4994977-17-P
Área laguna glaciár 2018	Pumahuanca	Pumahuanca	3915	Pequeño	4994977-18-P

Área laguna glaciár 2018	Pumahuanca	Pumahuanca	7552	Pequeño	4994977-19-P
Área laguna glaciár 2018	Pumahuanca	Pumahuanca	4808	Pequeño	4994977-20-P
Área laguna glaciár 2018	Chicón	Chicón	8938	Pequeño	4994977-21-P
Área laguna glaciár 2018	Chicón	Chicón	3490	Pequeño	4994977-22-P
Área laguna glaciár 2018	Pumahuanca	Pumahuanca	1229	Pequeño	4994977-23-P
Área laguna glaciár 2018	Chicón	Chicón	3187	Pequeño	4994977-24-P
Área laguna glaciár 2018	Chicón	Chicón	5885	Pequeño	4994977-25-P
Área laguna glaciár 2018	Pumahuanca	Pumahuanca	8612	Pequeño	4994977-27-P
Área laguna glaciár 2018	Chicón	Chicón	616	Pequeño	4994977-28-P
Área laguna glaciár 2018	Pumahuanca	Pumahuanca	7188	Pequeño	4994977-29-P
Área laguna glaciár 2018	Chicón	Chicón	4996	Pequeño	4994977-30-P
Área laguna glaciár 2018	Chicón	Chicón	2089	Pequeño	4994977-31-P
Área laguna glaciár 2018	Pumahuanca	Pumahuanca	4944	Pequeño	4994977-32-P
Área laguna glaciár 2018	Pumahuanca	Pumahuanca	12472	Mediano	4994969-01-M
Área laguna glaciár 2018	Pumahuanca	Pumahuanca	12409	Mediano	4994969-02-M
Área laguna glaciár 2018	Pumahuanca	Pumahuanca	14051	Mediano	4994969-03-M
Área laguna glaciár 2018	Pumahuanca	Pumahuanca	13587	Mediano	4994969-04-M
Área laguna glaciár 2018	Pumahuanca	Pumahuanca	17900	Mediano	4994969-05-M
Área laguna glaciár 2018	Pumahuanca	Pumahuanca	12686	Mediano	4994969-06-M
Área laguna glaciár 2018	Pumahuanca	Pumahuanca	14872	Mediano	4994969-09-M
Área laguna glaciár 2018	Pumahuanca	Pumahuanca	10631	Mediano	4994969-10-PM
Área laguna glaciár 2018	Pumahuanca	Pumahuanca	14903	Mediano	4994977-07-M
Área laguna glaciár 2018	Chicón	Chicón	11385	Mediano	4994977-08-M
Área laguna glaciár 2018	Pumahuanca	Pumahuanca	12673	Mediano	4994977-10-M
Área laguna glaciár 2018	Pumahuanca	Pumahuanca	31444	Grande	4994969-01-G
Área laguna glaciár 2018	Pumahuanca	Pumahuanca	40533	Grande	4994969-02-G
Área laguna glaciár 2018	Pumahuanca	Pumahuanca	28431	Grande	4994969-03-G
Área laguna glaciár 2018	Pumahuanca	Pumahuanca	54258	Grande	4994969-04-G
Área laguna glaciár 2018	Pumahuanca	Pumahuanca	28695	Grande	4994969-05-G
Área laguna glaciár 2018	Pumahuanca	Pumahuanca	35729	Grande	4994969-06-G

Área laguna glaciár 2018	Pumahuanca	Pumahuanca	48460	Grande	4994969-08-G
Área laguna glaciár 2018	Pumahuanca	Pumahuanca	26838	Grande	4994969-09-G
Área laguna glaciár 2018	Chicón	Chicón	30147	Grande	4994969-11-G
Área laguna glaciár 2018	Pumahuanca	Pumahuanca	151693	Grande	4994977-07-G
Área laguna glaciár 2018	Pumahuanca	Pumahuanca	42580	Grande	4994977-10-G
Área laguna glaciár 2018	Pumahuanca	Pumahuanca	32313	Grande	4994977-12-G
Área laguna glaciár 2018	Pumahuanca	Pumahuanca	32211	Grande	4994977-13-G
Área laguna glaciár 2018	Chicón	Chicón	41936	Grande	4994977-14-G
Área laguna glaciár 2018	Chicón	Chicón	26755	Grande	4994977-15-G

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 24.** *Lagunas glaciares identificadas, 2021*

<b>2021</b>						
CODIGO	CUENCA	NEVADO	CORDILLERA	AREA_LAGUNAR	CATEGORIZACION	CODIGO_ESPECIFICO
Área lagunar 2021	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	616	Pequeño	4994967-01-P
Área lagunar 2021	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	6205	Pequeño	4994967-02-P
Área lagunar 2021	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	2963	Pequeño	4994967-03-P
Área lagunar 2021	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	2568	Pequeño	4994967-04-P
Área lagunar 2021	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	4859	Pequeño	4994967-06-P
Área lagunar 2021	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	8636	Pequeño	4994967-07-P
Área lagunar 2021	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	2418	Pequeño	4994967-08-P
Área lagunar 2021	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	2607	Pequeño	4994967-09-P
Área lagunar 2021	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	8022	Pequeño	4994967-11-P
Área lagunar 2021	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	6311	Pequeño	4994967-12-P
Área lagunar 2021	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	7175	Pequeño	4994967-33-P
Área lagunar 2021	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	7774	Pequeño	4994967-34-P

Área lagunar 2021	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	2418	Pequeño	4994977-05-P
Área lagunar 2021	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	6094	Pequeño	4994977-13-P
Área lagunar 2021	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	2963	Pequeño	4994977-14-P
Área lagunar 2021	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	1229	Pequeño	4994977-15-P
Área lagunar 2021	Chicón	Chicón	Urubamba	5927	Pequeño	4994977-16-P
Área lagunar 2021	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	6863	Pequeño	4994977-17-P
Área lagunar 2021	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	6034	Pequeño	4994977-18-P
Área lagunar 2021	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	8370	Pequeño	4994977-19-P
Área lagunar 2021	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	6375	Pequeño	4994977-20-P
Área lagunar 2021	Chicón	Chicón	Urubamba	8121	Pequeño	4994977-22-P
Área lagunar 2021	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	2231	Pequeño	4994977-23-P
Área lagunar 2021	Chicón	Chicón	Urubamba	4696	Pequeño	4994977-24-P
Área lagunar 2021	Chicón	Chicón	Urubamba	9517	Pequeño	4994977-25-P
Área lagunar 2021	Chicón	Chicón	Urubamba	7068	Pequeño	4994977-26-P
Área lagunar 2021	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	8879	Pequeño	4994977-27-P
Área lagunar 2021	Chicón	Chicón	Urubamba	616	Pequeño	4994977-28-P
Área lagunar 2021	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	8573	Pequeño	4994977-29-P
Área lagunar 2021	Chicón	Chicón	Urubamba	6378	Pequeño	4994977-30-P
Área lagunar 2021	Chicón	Chicón	Urubamba	2770	Pequeño	4994977-31-P
Área lagunar 2021	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	6623	Pequeño	4994977-32-P
Área lagunar 2021	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	14545	Mediano	4994967-01-M
Área lagunar 2021	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	13099	Mediano	4994967-02-M
Área lagunar 2021	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	14051	Mediano	4994967-03-M
Área lagunar 2021	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	14498	Mediano	4994967-04-M
Área lagunar 2021	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	15794	Mediano	4994967-05-M
Área lagunar 2021	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	12628	Mediano	4994967-06-M
Área lagunar 2021	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	14247	Mediano	4994967-09-M
Área lagunar 2021	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	14370	Mediano	4994967-10-PM
Área lagunar 2021	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	15614	Mediano	4994977-07-M
Área lagunar 2021	Chicón	Chicón	Urubamba	15014	Mediano	4994977-08-M

Área lagunar 2021	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	12829	Mediano	4994977-10-M
Área lagunar 2021	Chicón	Chicón	Urubamba	10152	Mediano	4994977-21-PM
Área lagunar 2021	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	32385	Grande	4994967-01-G
Área lagunar 2021	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	40524	Grande	4994967-02-G
Área lagunar 2021	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	28487	Grande	4994967-03-G
Área lagunar 2021	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	56859	Grande	4994967-04-G
Área lagunar 2021	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	30520	Grande	4994967-05-G
Área lagunar 2021	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	34296	Grande	4994967-06-G
Área lagunar 2021	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	49588	Grande	4994967-08-G
Área lagunar 2021	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	27663	Grande	4994967-09-G
Área lagunar 2021	Chicón	Chicón	Urubamba	25804	Grande	4994967-11-G
Área lagunar 2021	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	166705	Grande	4994977-07-G
Área lagunar 2021	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	41358	Grande	4994977-10-G
Área lagunar 2021	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	32046	Grande	4994977-12-G
Área lagunar 2021	Pumahuanca	Pumahuanca	Urubamba	32022	Grande	4994977-13-G
Área lagunar 2021	Chicón	Chicón	Urubamba	42920	Grande	4994977-14-G
Área lagunar 2021	Chicón	Chicón	Urubamba	27339	Grande	4994977-15-G

Fuente: Elaboración propia.

## ANEXO 7. OPINION DE EXPERTOS.



FICHA DE RECOLECCION Y ADQUISICION DE IMÁGENES SATELITALES			
<b>I. DATOS PERSONALES</b>			
APELLIDO Y NOMBRES			
ESCUELA PROFESIONAL			
SEDE			
CORREO			
<b>II. DATOS GENERALES</b>			
OBJETIVO			
AMBITO			
UBICACIÓN POLÍTICA	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO
FECHA DE ANALISIS			
<b>III. DATOS DE IMAGEN SATELITAL</b>			
INSTITUCIÓN, EMPRESA O ORGANIZACIÓN		SENSOR	
SATELITE		ORBITA	
BANDAS		PROYECCION	
RESOLUCIÓN ESPACIAL		COORDENADAS UTM/ GEOGRAFICAS	
RESOLUCIÓN TEMPORAL		ZONA UTM	
FECHA DE ADQUISICIÓN		PATH/ROW	
NIVEL DE CORRECCIÓN			
<b>IV. DATOS DE IMÁGENES SATELITALTES DESCARGADAS</b>			
FECHA DE ADQUISICIÓN			
FECHA DE PROCESAMIENTO			

Lima, 20 de mayo del 2022.

 David Junior Agasi Zereceda  
 Biólogo  
 C.B.P. 13448

  
 Mg. Marco Antonio Herrera Díaz  
 DNI 44553815  
 CIP 191151

  
 Mg. Cesar Francisco Honores Barcazar  
 41134159

  
 Dr. Milton Tullume Chavesta  
 07842588  
 966255191

  
 Mg. Samuel Carlos Reyna Mandujano  
 31662440  
 915243320



## CERTIFICADO DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

### I. DATOS GENERALES

Apellidos y Nombres del validador: DR. MILTON TULLUME CHAVESTA

1.1. Cargo e institución donde labora: \_\_\_\_\_

1.2. Especialidad del validador: \_\_\_\_\_

1.3. Nombre del instrumento: Recolección y adquisición de imágenes satelitales.

1.4. Título de la investigación:

"Diagnóstico de Lagunas Glaciares con Potencial de Desborde (GLOF) a Causa del Retroceso Glaciar en el Nevado Chicón y Pumahuanca en la Cordillera Urubamba, Cusco, 2022"

1.5. Autor del instrumento: Dagner Gustavo Chicata Cespedes, Kennedy Cruz Huilca.

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

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

Dr. Milton Tullume Chavesta

07842588

**CERTIFICADO DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN**

**I. DATOS GENERALES**

- I.1. Apellidos y Nombres del validador:** Mg. Marco Antonio Herrera Díaz
- I.2. Cargo e institución donde labora:** DTP UCV
- I.3. Especialidad del validador:** SIG y Teledetección
- I.4. Nombre del instrumento:** Recolección y adquisición de imágenes satelitales.
- I.5. Título de la investigación:**  
 “Diagnóstico de Lagunas Glaciares con Potencial de Desborde (GLOF) a Causa del Retroceso Glaciar en el Nevado Chicón y Pumahuanca en la Cordillera Urubamba, Cusco, 2022”
- I.6. Autor del instrumento:** Dagner Gustavo Chicata Céspedes, Kennedy Cruz Huilca.

**II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN**

CRITERIOS	INDICADORES	Deficiente 00-20%	Regular 21-40%	Buena 41-60%	Muy buena 61-80%	Excelente 81-100%
1. Claridad	Está formulado con lenguaje apropiado y específico.					90
2. Objetividad	Está expresado en conductas observables.					90
3. Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia y tecnología					90
4. Organización	Existe una organización lógica.					90
5. Suficiencia	Comprende los aspectos en cantidad y calidad.					90
6. Intencionalidad	Adecuado para valorar aspectos de las estrategias					90
7. Consistencia	Basados en aspectos teóricos-científicos.					90
8. Coherencia	Entre los índices, indicadores y dimensiones					90
9. Metodología	La estrategia responde al propósito del diagnóstico					90



10. Pertinencia	El instrumento es funcional para el propósito de la investigación.					90
<b>PROMEDIO DE LA VALIDACIÓN</b>						90

Se recomienda que debe ampliar la cantidad de años para poder mejorar los resultados obtenidos, por otra parte, en el modelo insertado se necesita especificar los rangos del índice NDSI empleado para poder determinar las áreas que corresponden a los glaciares. Adicionalmente sería adecuado que pueda validar el modelo usado mediante algún algoritmo de clasificación.

Mg. Marco Antonio Herrera Díaz

DNI 44553815

CIP 191151



**CERTIFICADO DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN**

**I. DATOS GENERALES**

- 1.1. Apellidos y Nombres del validador: Blgo. DAVID JUNIOR ACASI ZERECEDA
- 1.2. Cargo e institución donde labora: RESPONSABLE DE COMPONENTE DE OBRA – MINISTERIO DE CULTURA – DDC CUSCO
- 1.3. Especialidad del validador: ESPECIALISTA EN GESTION AMBIENTAL Y SIG
- 1.4. Nombre del instrumento: Recolección y adquisición de imágenes satelitales.
- 1.5. Título de la investigación:  
"Diagnóstico de Lagunas Glaciares con Potencial de Desborde (GLOF) a Causa del Retroceso Glaciar en el Nevado Chicón y Pumahuanca en la Cordillera Urubamba, Cusco, 2022"
- 1.6. Autor del instrumento: Dagner Gustavo Chicata Cespedes, Kennedy Cruz Huilca.

**II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN**

CRITERIOS	INDICADORES	Deficiente 00-20%	Regular 21-40%	Buena 41-60%	Muy buena 61-80%	Excelente 81-100%
1. Claridad	Está formulado con lenguaje apropiado y específico.				80	
2. Objetividad	Está expresado en conductas observables.				80	
3. Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia y tecnología					90
4. Organización	Existe una organización lógica.					90
5. Suficiencia	Comprende los aspectos en cantidad y calidad.					95
6. Intencionalidad	Adecuado para valorar aspectos de las estrategias					95
7. Consistencia	Basados en aspectos teóricos-científicos.					100
8. Coherencia	Entre los índices, indicadores y dimensiones					100
9. Metodología	La estrategia responde al propósito del diagnóstico					100
10. Pertinencia	El instrumento es funcional para el propósito de la investigación.					95
<b>PROMEDIO DE LA VALIDACIÓN</b>						



*David Junior Acasi Zereceda*  
David Junior Acasi Zereceda  
Biólogo  
C.B.P. 13848



**CERTIFICADO DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN**

**I. DATOS GENERALES**

Apellidos y Nombres del validador: MG. CESAR FRANCISCO HONORES BARCAZAR

1.1. Cargo e institución donde labora: \_\_\_\_\_

1.2. Especialidad del validador: \_\_\_\_\_

1.3. Nombre del instrumento: Recolección y adquisición de imágenes satelitales.

1.4. Título de la investigación:

"Diagnóstico de Lagunas Glaciares con Potencial de Desborde (GLOF) a Causa del Retroceso Glaciar en el Nevado Chicón y Pumahuanca en la Cordillera Urubamba, Cusco, 2022"

1.5. Autor del instrumento: Dagner Gustavo Chicata Cespedes, Kennedy Cruz Huilica.

**II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN**

CRITERIOS	INDICADORES	Deficiente 00-20%	Regular 21-40%	Buena 41-60%	Muy buena 61-80%	Excelente 81-100%
1. Claridad	Está formulado con lenguaje apropiado y específico.					85
2. Objetividad	Está expresado en conductas observables.					85
3. Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia y tecnología					85
4. Organización	Existe una organización lógica.					85
5. Suficiencia	Comprende los aspectos en cantidad y calidad.					85
6. Intencionalidad	Adecuado para valorar aspectos de las estrategias					85
7. Consistencia	Basados en aspectos teóricos-científicos.					85
8. Coherencia	Entre los índices, indicadores y dimensiones					85
9. Metodología	La estrategia responde al propósito del diagnóstico					85
10. Pertinencia	El instrumento es funcional para el propósito de la investigación.					85
<b>PROMEDIO DE LA VALIDACIÓN</b>						85

Mg. Cesar Francisco Honores Barcazar



**CERTIFICADO DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN**

**I. DATOS GENERALES**

**Apellidos y Nombres del validador:** MG. SAMUEL CARLOS REYNA MANDUJANO

**1.1. Cargo e institución donde labora:** \_\_\_\_\_

**1.2. Especialidad del validador:** \_\_\_\_\_

**1.3. Nombre del instrumento:** Recolección y adquisición de imágenes satelitales.

**1.4. Título de la investigación:**  
"Diagnóstico de Lagunas Glaciares con Potencial de Desborde (GLOF) a Causa del Retroceso Glaciar en el Nevado Chicón y Pumahuanca en la Cordillera Urubamba, Cusco, 2022"

**1.5. Autor del instrumento:** Dagner Gustavo Chicata Cespedes, Kennedy Cruz Huilica.

**II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN**

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

Mg. Samuel Carlos Reyna Mandujano

31662440

ANEXO 8. REPORTE FOTOFRAFICO.

**Figura 27.** Meseta Occoruruyoc, inicio de la caminata hacia el nevado Chicón-2022.



Fuente: Propia

**Figura 28.** Zona sur del nevado Chicón, cammino de herradura para llegar a las lagunas glaciares-2022.



Fuente: Propia

**Figura 29.** Frente glaciar del nevado Chicón, zona Nor-Oeste-2022.



Fuente: Propia.

**Figura 30.** Laguna glaciar 4994977-14-G, zona Nor-Oeste de glaciar chicón- 2022.



Fuente: Propia.

**Figura 31.** Dique rocoso de la laguna glaciar 4994977-07-G, zona Nor-Oeste de glaciar chicón- 2022.



Fuente: Propia.

**Figura 32.** Laguna glaciar 4994977-10-PM, zona Nor-Oeste de glaciar chicón- 2022.



Fuente: Propia.

**Figura 33.** Dique Morrenico de la laguna glaciar 4994977-10-PM, zona Nor-Oeste de glaciar chicón- 2022.



Fuente: Propia.

**Figura 34.** Laguna glaciar 4994977-08-M, zona Norte de glaciar chicón- 2022.  
Fuente: Propia.



**Figura 35.** Dique Morrenico de la laguna glaciar 4994977-08-M, zona Norte de glaciar chicón- 2022.



Fuente: Propia.