



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

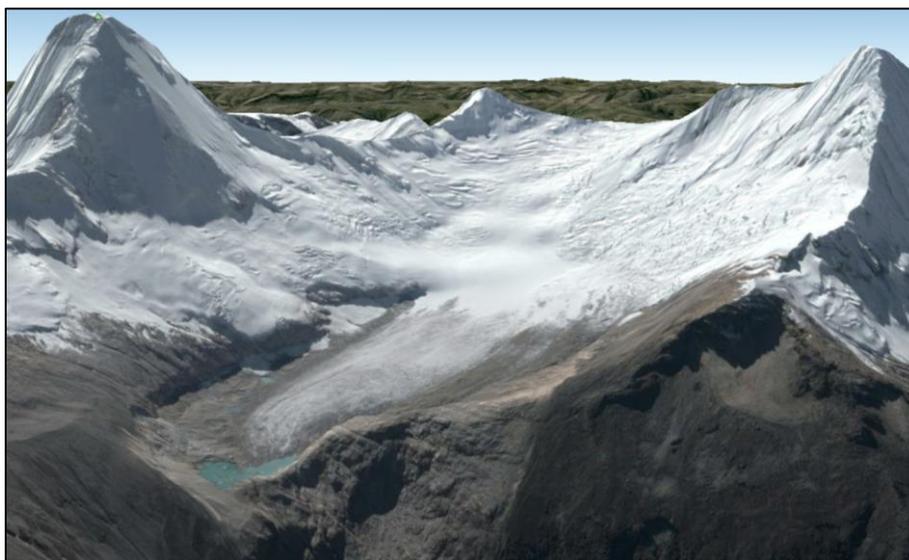
Instituto Nacional de Investigación en
Glaciares y Ecosistemas de Montaña

“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”

RECONOCIMIENTO DE PELIGROS NATURALES EN LA LAGUNA NUEVA “ARTESONCOCHA ALTA”

Cordillera Blanca, Provincia de Huaylas, Región Ancash

INFORME TÉCNICO N° 01



Huaraz, Febrero de 2016



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto Nacional de Investigación en
Glaciares y Ecosistemas de Montaña

“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”

MINISTERIO DEL AMBIENTE

**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN EN GLACIARES Y ECOSISTEMAS
DE MONTAÑA - INAIGEM**

INVESTIGACIÓN EN GLACIARES

PERSONAL TECNICO QUE PARTICIPÓ EN EL INFORME:

**Ing. Roque Vargas Huamán
Ing. Edwin Tuya León
Ing. Lucas Torres Amado
Ing. Daniel Colonia Ortiz**



“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”

INDICE

RESUMEN.....	4
I. GENERALIDADES	6
1.1 Introducción	6
1.2 Antecedentes.....	8
1.3 Objetivos.....	9
1.3.1 Objetivos Generales	9
1.3.2. Objetivos Específicos	9
1.4 Ubicación y acceso	10
II. METODOLOGÍA	11
2.1 Fase de Pre Campo.....	11
2.1.1 Definición del Objetivo y Alcance del Estudio	11
2.1.2 Elaboración del Plan de Trabajo.....	12
2.1.3 Recopilación y Análisis de la Información Existente	12
2.2 Fase de Campo	12
2.2.1Recolección de información.....	12
2.3 Fase Final.....	12
2.3.1 Sistematización, análisis y evaluación de la información de campo.....	12
2.3.2 Elaboración del Informe.....	13
III. DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA.....	13
IV. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA	14
4.1. Geología regional.....	14
4.2. Geología local:.....	14
4.3 Geomorfología regional	16
4.4 Geomorfología local.....	16
V. GLACIARES	18
VI. LAGUNAS	20
VII. ECOSISTEMAS	33
VIII. HIDROLOGÍA.....	34
IX. IDENTIFICACION DE PELIGROS.....	36
9.1 Condiciones de peligrosidad en glaciares	36
9.2 Condiciones de peligrosidad en la Laguna.....	38
X. CONCLUSIONES	38
XI. RECOMENDACIONES.	39
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
GLOSARIO DE TERMINOS	42



“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”

RESUMEN

La laguna Nueva Artesoncocha Alta se encuentra ubicada en la cabecera de la subcuenca del río Lullán Parón a una altitud de 4700 m.s.n.m. Es una laguna de tipo proglaciar que en la actualidad se encuentra en contacto con el glaciar Artesonraju, tiene la forma triangular y la salida de sus aguas es por rebose y alimenta a la laguna Artesoncocha con un caudal aproximado de 1,1 m³/s.

Esta laguna, en los últimos años ha incrementado su área y volumen, por retroceso del glaciar Artesonraju y por efecto Calving, debido a que el clima incrementa la temperatura del agua que aumenta la fusión del hielo ocasionando empuje de masas y desplomes en el frente glaciar. En el año 2003, el área de la laguna fue de 2020 m², al año 2012, el área se incrementó a 8914 m² y al año 2015, el área fue de 22314 m², teniendo un aumento del 341% en el primer periodo (2003-2012) y un 150% en el segundo periodo (2012-2015); esto permite estimar un incremento de área de 1004 % en 12 años de análisis (2003-2015). El crecimiento de la laguna es por la margen derecha y sobre el sector central del glaciar, encontrándose en contacto con este, con hielo cubierto de escombros.

La evolución de la laguna muestra un gran incremento a partir del año 2010 y en el año 2014 se duplica su área con respecto al año 2012. De este modo, la laguna “Artesoncocha Alta” se ha desarrollado rápidamente en los últimos 5 años teniendo un volumen aproximado de 134002 m³.

Esta laguna ha sido considerada de peligro potencial de moderado a alto, debido a las condiciones de inestabilidad geodinámica en el entorno de la laguna y los glaciares. En la margen derecha, sobresalen afloramientos de rocas intrusivas con buena competencia pero muy fracturadas, que aportan gran cantidad de material suelto hacia la laguna; en las partes altas se observan masas glaciares colgantes con paredes verticales sobre afloramientos rocosos que originan avalanchas permanentemente. Las dos zonas identificadas tienen pendientes promedio de 42° (zona 1) y 45° (zona 2), sin embargo el mayor impacto es sobre la lengua glaciar que actualmente ocupa el posible vaso de la laguna en formación. Estos datos muestran que en ambas zonas tienen pendientes pronunciadas (parámetro físico del glaciar) superiores a 23°, que es la pendiente máxima estimada para mantener la estabilidad en glaciares tropicales (Portocarrero, 2014). También las zonas



“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”

muestran presencia de grietas y seracs que condicionan la ocurrencia de avalanchas.

Hacia el sur, (margen izquierda) se observa mayor estabilidad por la presencia de afloramientos rocosos con buena competencia, esta zona tiene un dique mixto, con una capa pequeña de material morrénico suelto y el lecho rocoso por donde desagua la laguna. Tiene un borde libre de 3 m aproximadamente; sin embargo, la baja altura sobre el canal natural de salida aumenta el peligro de desborde a medida que la laguna aumenta su volumen. Hacia el este se encuentra el cuerpo principal de la lengua glaciar que es la fuente de aporte hídrico hacia la laguna; este frente glaciar se encuentra en acelerado proceso de retroceso debido a las condiciones climáticas actuales.

Hacia el oeste, se encuentra el dique natural de cierre de la laguna, conformando una morrena terminal con grandes bloques de roca que varían entre 2 y 3 m de diámetro, distribuidas en forma caótica con alto nivel de inestabilidad. Esta morrena soporta y controla actualmente los posibles flujos del glaciar Artensoraju, sin embargo, las condiciones de inestabilidad de este material eleva el nivel de peligro por desborde de la laguna a medida que aumenta su volumen, siendo necesario un permanente monitoreo y evaluación en este sector.



“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”

I. GENERALIDADES

1.1 Introducción

El retroceso glaciar es un fenómeno a nivel mundial, debido al calentamiento global. Este fenómeno se ha incrementado en los últimos años, mostrando fuertes procesos de erosión como la excavación de la roca base y delimitación del frente glaciar.

La historia de catástrofes de origen glaciar, como avalanchas de hielo y grandes aluviones originados por lagunas de origen glaciar es antigua en el departamento de Ancash. Desde el siglo XVIII, a lo largo del Callejón de Huaylas y Callejón de Conchucos, se tiene descripciones de grandes aluviones que destruyeron pueblos enteros, infraestructuras y vías de comunicación por efecto del retroceso de los glaciares, donde el desborde de lagunas proglaciares han ocasionado grandes destrucciones a lo largo del valle y subcuencas de origen glaciar.

El 2005 y 2010 fueron los años más cálidos dentro del periodo evaluado (Cole & Mc Carthy, 2012), hubo temperaturas que inmediatamente originaron mayores pérdidas de masa glaciar y por lo tanto mayores caudales vertidos, mientras que las variables climáticas como temperatura, humedad relativa y precipitación no parecen haber sufrido cambios marcados. El glaciar Artesonraju entre el 2004 – 2011 ha tenido una pérdida de 6133,42 mm, equivalente de agua, unos 6,13 m³ por 1 m² de glaciar, teniendo una pérdida de 0,88 m³ por 1 m² de glaciar por año. (Consolidado de estudios y monitoreo glaciares de la cordillera blanca periodo 2005 – 2011, UGRH-ANA)

En la programación de metas físicas 2016 del Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña, se programó la visita técnica de la laguna Nueva Artesoncocha Alta para evaluar su peligrosidad. En febrero de 2016 se realizó la actividad programada para la evaluación correspondiente, la laguna Nueva Artesoncocha Alta desde el año 2005-2015 ha incrementado una área de 89%, una longitud de 62% y un ancho de 83%, estos cambios se ha dado en 10 años, en la actualidad



“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”

se pudo estimar una longitud promedio de 310 m y un ancho promedio de 160 m. Esta laguna se encuentra en evolución por lo que está en contacto con el glaciar Artesonraju por su lateral derecho y parte posterior. El frente glaciar donde se ubica la laguna Nueva Artesoncocha Alta desde el año 1970 al 2003 tiene un retroceso de -9,23 m/año y entre el año 2003 al 2015 el retroceso ha incrementado en -10,3 m/año. De esta manera se evidencia que el retroceso glaciar se ha acelerado por el efecto Calving en los últimos años propiciando el incremento de la laguna, siendo un potencial peligro, la cual requiere una mayor atención en los próximos años.

Las aguas de la laguna Nueva Artesoncocha Alta alimenta directamente a la laguna Artesoncocha, esta laguna tiene un volumen de almacenamiento de 637847,00 m³, largo máximo 459,00 m, ancho máximo 166,00m, y una profundidad de 17m, luego es alimentada a la laguna Parón, esta laguna cuenta con una compuerta de regulación donde es almacenado hasta el nivel de máxima seguridad de 4185 m.s.n.m., donde almacena un volumen de 52530240,1 m³, en el nivel de mínima seguridad de 4190 m.s.n.m., almacena un volumen de 60972917,3 m³, la descarga máxima es de 4 m³/s, tiene una profundidad de 58.5 m, estas aguas fueron desembalsadas en épocas de estiaje por la empresa Duke Energy, con fines de aprovechamiento hidroenergético en la Central Hidroeléctrica Cañón del Pato desde el año 1993 un volumen de 35 millones de m³ al año, en el año 2008 la comunidad campesina de Cruz de Mayo toma como custodia a la laguna Parón evitando la descarga que la empresa Duke Energy utilizaba las aguas de forma irresponsable provocando diversos daños a los usuarios agrarios a lo largo de toda la sub cuenca Lullán, ubicada hidrográficamente en la vertiente del Océano Pacífico, cuenca del río Santa, subcuenca del río Lullán y microcuenca de la quebrada Parón, políticamente se encuentra en el departamento de Ancash, provincia de Huaylas, distrito de Caraz.



“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”

1.2 Antecedentes

El 6 de junio de 1951, la laguna Artesoncocha sufrió el primer desborde donde sus aguas fueron depositados en la laguna Parón con un volumen de 1200000 m³, donde no ocasionó ningún tipo de daño, el segundo desborde de la laguna Artesoncocha fue el 28 de octubre de 1951, donde sus aguas fueron almacenadas en la laguna Parón con un volumen de 2800 000 m³, donde este evento no tuvo mayores consecuencias. (*Acta Montana, Ing. M. Zapata L. - 2002*)

Desde agosto de 1996, se vienen utilizando 5 pluviómetros totalizadores (P) en los siguientes lugares, P1 ubicado en la parte alta a una altitud de 4890 m.s.n.m., a la altura del frente glaciar lado derecho, P2 ubicado en el lado izquierdo de la parte posterior del glaciar a una altitud de 4780 m.s.n.m., P3 ubicado en la parte frontal de la morrena del glaciar Artesonraju a una altitud de 4700 m.s.n.m., P4 ubicado en el lado izquierdo alta a la altura de la salida de la laguna Artesoncocha a una altitud de 4300 m.s.n.m., y P5 ubicado por debajo de la laguna Parón a una altitud de 4000 m.s.n.m.; las lecturas de estos pluviómetros fueron paralizadas en julio de 1997, se retomó con las lecturas en diciembre de 1999 de 4 pluviómetros y el 5 pluviómetro quedó desactivado. (*Consolidado de estudios y monitoreos glaciares de la Cordillera Blanca periodo 2005 – 2011, UGRH-ANA*)

Según el primer inventario de glaciares del Perú realizado a partir de fotografías aéreas de 1970 para la Cordillera Blanca (Ames, et al 1988), el glaciar Artesonraju presentaba una extensión de 5,97 Km². Un reciente inventario de glaciares de la Cordillera Blanca realizado el 2009 con una base de imágenes satelitales del 2003 (ANA-UGRH, 2010), el glaciar Artesonraju presenta un área de 5,39 Km², representando una pérdida de 9,7% en 33 años, en los últimos 11 años (2005 – 2016), el glaciar Artesonraju ha sufrido cambios en su estado físico, el derretimiento que viene experimentando origina la pérdida de masa y la retracción del frente glaciar, a consecuencia de todo los cambios en el frente de la lengua glaciar Artesonraju se está formando una laguna conocida como laguna



“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”

Artesoncocha Alta, este glaciar tiene una pendiente muy moderada (Consolidado de estudios y monitoreos glaciares de la Cordillera Blanca periodo 2005 – 2011, UGRH-ANA)

La Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos – ANA, inicia con el monitoreo del glaciar Artesonraju en diciembre de 1999, desde la fecha se tiene información de balance de masa, datos hidrológicos y climatológicos con la finalidad de conocer y entender el funcionamiento glacio-hidrológico del glaciar mencionado y su cuenca, a partir del año 2005 la Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos inicia el monitoreo de la laguna Nueva Artesoncocha Alta realizando levantamiento topográfico del perímetro de la laguna, esta laguna se formó por la acumulación de fusión del glaciar durante su retroceso excavando sus vasos, donde llega a tener una superficie de 22314,10 m², una longitud promedio de 298,8 y un ancho promedio de 149,3 m, hasta el año 2015, en la actualidad esta laguna sigue en evolución por estar en contacto y rodeado con el glaciar Artesonraju por el lateral derecho y parte posterior de la laguna. (Instituto Frances de Estudios Andinos, Augusto Valverde Felix – INRENA, Ing. Antoine Erout (IFEA – INRENA)

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivos Generales

- Presentar los resultados de la inspección técnica, resaltando las características físicas actuales de la laguna nueva Artesoncocha Alta.
- Describir en forma general las características geológicas y geomorfológicas de la subcuenca del río Lullán y el análisis hidrológico en el entorno de la laguna nueva Artesoncocha Alta.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Identificar peligros de origen glaciar relacionados a la generación de avalanchas que podrían caer sobre la laguna, originando oleajes y desborde con grandes daños en la parte baja de la subcuenca del río Lullán.

“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”

- Estimar el nivel de peligrosidad de la laguna nueva Artesoncocha Alta en relación a la situación actual de los taludes de las morrenas laterales y terminal.
- Evaluar las características físicas de las morrenas ubicadas en el entorno de la laguna.

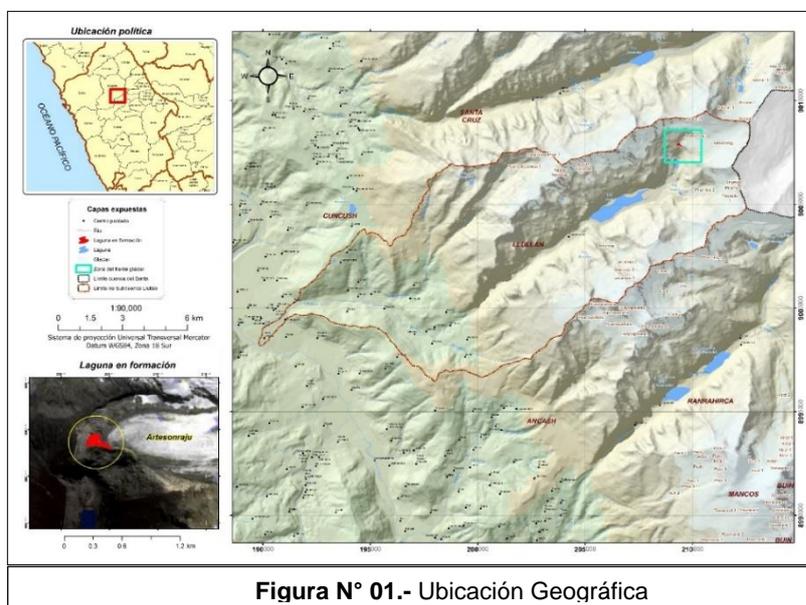
1.4 Ubicación y acceso

Ubicación

La laguna Nueva Artesoncocha Alta se ubica al pie del nevado Artesonraju (5979 m.s.n.m.). Hidrográficamente se encuentra en la vertiente Pacífico, cuenca del río Santa y subcuenca del río Lullán y políticamente pertenece al distrito de Caraz y provincia de Huaylas, departamento de Ancash (ver figura N° 01).

Las coordenadas UTM WGS 84 son¹:

Este	209341
Norte	9007880
Altitud	4700 m.s.n.m.



¹ (Fuente: UGRH - ANA, (2014) Inventario de Glaciares de la Cordillera Blanca, Huaraz)



“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”

Acceso

Desde la ciudad de Huaraz se viaja por vía asfaltada a la ciudad de Caraz, recorriendo 73 km. Luego se continúa por carretera afirmada hasta la laguna Parón a lo largo de 33 km; la laguna Parón se cruza en bote aproximadamente en 40 minutos (existe un camino de herradura de 4 km que demanda aproximadamente 1 h de caminata), desde la laguna se sigue un camino de herradura por 3 h para llegar a la laguna nueva Artesoncocha Alta (ver cuadro N° 01).

Cuadro N° 01. Vías de acceso, laguna nueva Artesoncocha Alta.

Tramo	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo (h/min)	Medio de Transporte
Huaraz-Caraz	Asfaltado	73	1 h	Vehículo motorizado
Caraz -Laguna Parón	Carretera afirmada	33	1:50 h	Vehículo motorizado
Desembocadura de agua - entrada de agua de la laguna Parón	Laguna	3,5	40 min	Bote
Entrada de agua a la laguna parón-Laguna en formación	Camino de herradura	4	3 h	A pie
Distancia Total Recorrido		113,5	6:30h	

II. METODOLOGÍA

La metodología empleada en la evaluación de peligros de lagunas de origen glaciar, es la que tradicionalmente se aplica a los estudios de las ciencias de la tierra, consistiendo en fases principales estandarizadas, complementadas entre sí, y de acuerdo al nivel de estudio puede comprender las siguientes fases:

2.1 Fase de Pre Campo

2.1.1 Definición del Objetivo y Alcance del Estudio

Durante esta actividad se estableció y definió los objetivos y alcances del estudio de acuerdo a su nivel de ejecución; entre los objetivos del presente estudio se encuentra el determinar las condiciones de peligrosidad de las lagunas desde el punto de vista glaciológico, geológico-geotécnico y volúmenes de agua.



“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”

2.1.2 Elaboración del Plan de Trabajo

El Equipo Técnico, formuló los requerimientos necesarios, y el plan de trabajo, considerando las características de la zona de estudio, para ser aprobada por el área responsable.

2.1.3 Recopilación y Análisis de la Información Existente

Esta etapa consistió principalmente en la identificación, compilación y análisis de la información existente de la laguna y alrededores.

2.2 Fase de Campo

2.2.1 Recolección de información

Esta etapa es importante y consiste en la recopilación de información que permite efectuar la caracterización física de los glaciares e identificar masas de hielo inestables con probabilidad de generar avalanchas; se efectuó el reconocimiento de la morrena terminal y morrenas laterales; asimismo se realizó la medición de caudales y mediciones de secciones transversales y velocidad de circulación, lo cual permitió calcular el caudal medio de salida de la laguna. El trabajo de campo fue complementado con tomas fotográficas, que sustentan lo observado. El equipo técnico orientó sus actividades a la toma de datos sobre diferentes aspectos: Evaluación geológica y geodinámica, evaluación hidrológica, estimación de volúmenes de masas de hielo e identificación de peligros.

2.3 Fase Final

2.3.1 Sistematización, análisis y evaluación de la información de campo

En esta etapa se efectuó la evaluación de la información obtenida en el campo, previa sistematización y análisis.

Evaluación de glaciares:

En Glaciares se caracterizó la presencia de masas de hielo inestables, estimando en forma preliminar volúmenes, para lo cual se hizo un análisis de fotografías e imágenes de satélite de alta resolución (Google Earth).

En la laguna, utilizando las fotografías tomadas en campo, y la observación realizada se hicieron composiciones que facilitaron la



“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”

interpretación de las condiciones actuales de la laguna y las morrenas.

Evaluación geológica:

Se analizó la información recolectada en campo, con información de la Carta Geológica Nacional-INGEMMET, y se describió la geología regional y local en la zona de estudio.

Evaluación geodinámica:

Se analizó las condiciones morfológicas y geodinámicas a lo largo de la subcuenca, detallando la información en el entorno de la laguna, las morrenas y el frente glaciar. Lo cual permitió estimar los niveles de peligro y el área de afectación.

Evaluación hidrológica de la laguna:

Se analizó la información existente y se tomó información de caudales en base a lo cual se evaluó la capacidad de descarga hidráulica.

2.3.2 Elaboración del Informe

Durante esta fase, se elaboró el informe de reconocimiento que básicamente comprende la descripción geográfica, resumen de la geología y geomorfología local, breve descripción de los glaciares, laguna, ecosistemas, aspectos hidrológicos y evaluación de peligros de la zona del área de interés.

III. DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA

La subcuenca del río Llullán es tributario del río Santa, tiene su origen en la laguna Parón, la cual es alimentada por las aguas de la laguna Nueva Artesoncocha Alta, pasando por la laguna Artesoncocha que a la vez drena hacia la laguna Parón, estas lagunas se encuentran dentro del Parque Nacional Huascarán-SERNANP Huaraz en el Callejón de Huaylas, dentro de la cadena montañosa de la Cordillera Blanca, ubicado en la parte occidental de los Andes del Norte del territorio peruano; tiene pendientes moderadas al inicio de la quebrada donde desarrollan actividades agrícolas, a lo largo de la quebrada su pendiente va variando, pasando el Centro Poblado Mayor (CPM) de Parón, la quebrada es encañonada con pendiente bastante pronunciada con presencia de matorrales y bosques alto andinos, cerca al nevado las pendientes son muy altas, sobre las cuales predominan bosques alto andinos y pajonales que sirven



“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”

de alimento para la ganadería existente en la zona. En los fondos de valle las laderas son muy accidentadas, con presencia de quenuales y gramíneas. Geográficamente la subcuenca se encuentra en la vertiente del Pacífico. El clima es variable resaltando una precipitación máxima en un año de 182,4 mm, las temperaturas son muy variables alcanzando una temperatura mínima de -4 °C en las noches y una temperatura máxima de 13°C.

IV. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

4.1. Geología regional

En la subcuenca del río Lullán-Parón, sobresalen rocas de diferentes orígenes, siendo las más importantes las rocas ígneas de magnitud batolítica que se distribuyen en la cabecera y entorno de los nevados, mientras que en la parte baja sobresalen rocas sedimentarias cubiertas por sedimentos cuaternarios de origen aluvial y glaciar.²

4.2. Geología local:

El vaso de la laguna, litológicamente conforma parte del Batolito Andino de la Cordillera Blanca, se encuentra constituido por rocas intrusivas tipo granito y granodiorita de gran competencia, estando actualmente cubierto en gran porcentaje por una importante masa de hielo que por efecto del calentamiento global experimenta un acelerado proceso de retroceso y pérdida de masa glaciar.

Las granodioritas son de coloración blanquecina, granulometría gruesa, alto porcentaje de sílice y presencia de minerales máficos en menor cantidad. (ver fotografía N° 01).

² (INGEMMET, 1995, Boletín N° 60, Carta Geológica Nacional, Serie A: Geología de los cuadrángulos geológicos de Carhuaz 19-h y Corongo 18-h)

“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”



Fotografía N° 01.- Muestra de mano de roca ígnea que aflora y forma parte del vaso de la laguna. De acuerdo a su competencia se fractura

Hacia la margen derecha y próximo al dique terminal de la laguna, existe una gran cobertura de morrena antigua fuertemente erosionada, originada por ablación de glaciares existentes al norte del Artesonraju; estas se encuentran muy inestables formando material de escombros por derrumbes y caída de bloques de granulometría gruesa que alcanzan hasta 2 y 3 m. de diámetro en superficies de fuerte pendiente.

Hacia el dique natural de cierre de la laguna, existe una morrena poco definida, conformada por material de escombros distribuido en forma caótica que ocupa una marcada depresión estructural, aparentemente depositada sobre hielo que todavía no alcanza su nivel de estabilidad, en este sector sobresalen bloques de gran dimensión que se encuentran en contacto con la base de la morrena lateral derecha. Hacia la margen izquierda, sobresale un afloramiento de roca granítica muy compacta que en parte sirve de control al vaso de la laguna en formación.

Estructuralmente, el vaso de esta laguna se ha formado a lo largo de un alineamiento estructural que se orienta en forma transversal a la cordillera blanca, que en parte marcan regionalmente el eje longitudinal de la mayoría de valles de origen glaciar. Esta condición favorece la acumulación de grandes masas de hielo que por ablación van dejando al descubierto importantes depresiones donde se acumula grandes



“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”

volúmenes de agua controlados superficialmente por la presencia de diques morrénicos. La laguna se encuentra en la etapa inicial de formación, sin embargo la dinámica de ablación es acelerada, por lo tanto es importante su monitoreo para evitar desbordes que podrían poner en peligro la estabilidad de las lagunas Artesoncocha y Parón.

4.3 Geomorfología regional

Los rasgos morfológicos de esta subcuenca, son el resultado de procesos erosivos de origen glaciar, que han cortado afloramientos compactos del batolito de la Cordillera Blanca, dando lugar a formas topográficas accidentadas con diferentes pendientes.

Regionalmente, las unidades geomorfológicas están representadas por planicies coluvio aluviales, superficies inclinadas de origen fluvio glaciar, fondos de valle encañonados, colinas altas moderadamente disectadas, y laderas de montaña fuertemente empinadas.

4.4 Geomorfología local

Morfológicamente, hacia la margen derecha, sobresalen afloramientos de rocas intrusivas con buena competencia pero muy fracturadas, arriba de las cuales se observan masas glaciares colgantes con paredes verticales que originan avalanchas permanentemente. Sobre la margen izquierda se observa mayor estabilidad por la presencia de afloramientos rocosos con buena competencia; sin embargo, la baja altura del borde libre, aumenta el peligro de desborde a medida que la laguna aumenta su volumen. Al oeste, se encuentra el dique natural de cierre de la laguna, conformando una morrena terminal con grandes bloques de roca distribuidas en forma caótica con alto nivel de inestabilidad.

Esta laguna se encuentra en proceso de formación, sobre una gran lengua glaciar en la parte inferior del nevado Artesonraju (ver fotografía N° 02); es de forma rectangular con longitud aproximada de 1,5 km., aproximadamente 500 m de ancho, sin embargo el acelerado retroceso del glaciar, incrementa rápidamente estas dimensiones. El vaso está formado sobre roca granítica.

“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”



Fotografía N° 02.- Vista principal de la laguna “Artesoncocha Alta”, en proceso de formación. La lengua glaciár ocupa un vaso natural de gran dimensión sobre roca granítica que drena en forma natural sobre su margen izquierda, a través de una pequeña fractura y discurre sobre una superficie fuertemente inclinada y luego cae por un acantilado de gran altura hacia la laguna Artesoncocha. El crecimiento acelerado de la laguna “Artesoncocha Alta” eleva el nivel de peligro de desborde sobre la laguna “Artesoncocha” que afectaría directamente a la laguna “Parón”.

En la parte central de la laguna, la lengua glaciár se encuentra cubierta por material morrénico con acelerado proceso de ablación, observando bloques de hielo muy erosionados formando cavernas y grietas que al desplomarse marcan el rápido crecimiento de la laguna nueva, (ver fotografía N° 03).

Sobre la margen izquierda, formando un borde libre de 3 m de altura sobre el espejo de agua, la laguna drena sus aguas en forma natural con un caudal aproximado de 1,1 m³/s, a través de una fractura existente, para luego discurrir en un plano inclinado de cerca de 130 m de largo y luego caer a través de un acantilado de más de 200 m de altura sobre la cabecera de la laguna Artesoncocha.

“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”



Fotografía N° 03.- Lengua glaciar erosionada en la parte central de la laguna “Artesoncocha Alta”, observándose una gran masa de glaciar con acelerado proceso de ablación y crecimiento de la laguna.

V. GLACIARES

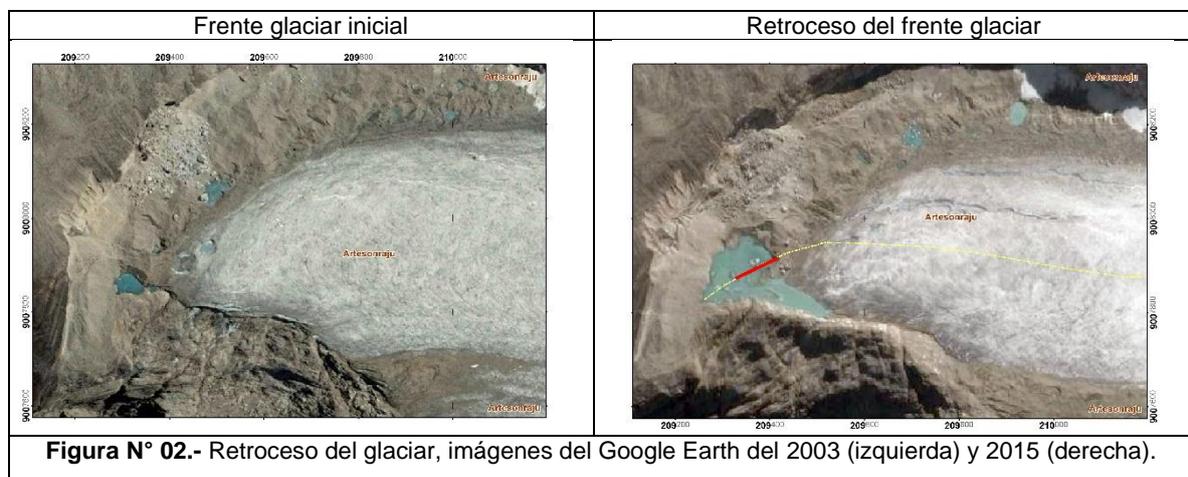
En la cabecera de la subcuenca Lullán se localiza el glaciar Artesonraju en las coordenadas 212045 m Este y 9008572 m Norte. Este glaciar se caracteriza por tener una lengua definida y un perfil longitudinal de tipo cascada. Este glaciar pertenece al sistema glaciar de Huandoy y tiene un área de 5,39 km² con un largo máximo de 3543,47 m y un ancho máximo de 4760,45 m (Inventario de Glaciares de la Cordillera Blanca (UGRH, 2014). Las altitudes varían entre 4685 m.s.n.m. (mínimo) y 5979 m.s.n.m. (máximo) con un altitud promedio de 5332 m.s.n.m. El glaciar se orienta predominantemente al suroeste y tiene una pendiente promedio de 54%.

En el glaciar se identifican 2 picos superiores a los 5500 m.s.n.m., que corresponden a los nevados de Artesonraju (norte) y Paria (noreste). El frente glaciar muestra un ritmo de retroceso de -9,23 m/año entre 1970 y 2003. Esto demuestra que el retroceso glaciar en la Cordillera Blanca se ha incrementado desde finales de la década de 1970 (Rabatel et al. 2013). En consecuencia, la pérdida de masa glaciar (área y volumen) afecta las reservas de agua dulce en

“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”

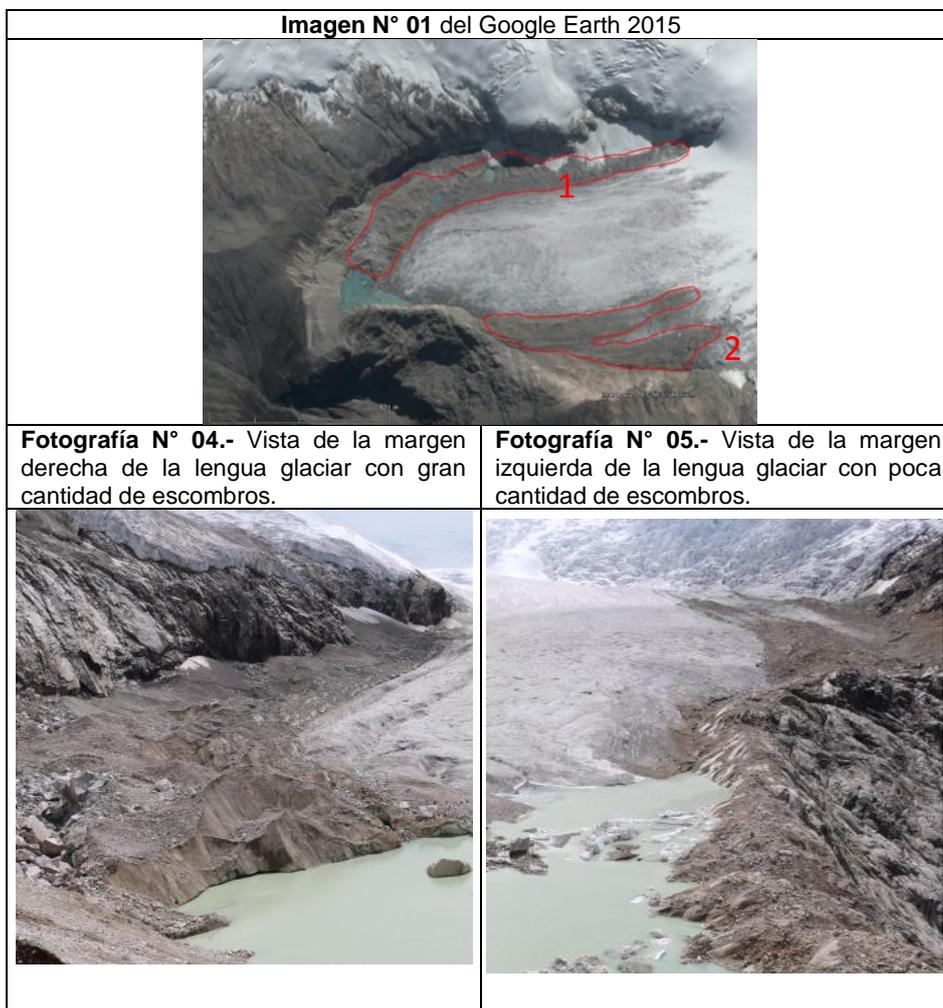
los Andes del Norte, donde el retroceso promedio de área fue de 47% (UGRH, 2014).

Se estimó el retroceso del frente glaciar entre 2003 y 2015, llegando a 93 m con un ritmo de -10,3 m/año en 12 años (ver figura N° 02). En los últimos años el retroceso glaciar se ha acelerado, ocasionando la formación e incremento de la laguna.



El glaciar Artesonraju según la clasificación primaria de GLIMS es de tipo valle cubierto parcial de escombros. En la lengua glaciar, al lado derecho, se muestra escombros con un área aproximado de 166833 m² y al lado izquierdo con un área aproximada 124304 m² (ver Imagen N° 01 y fotografías N° 04 y 05). Los escombros son producto de la caída de rocas fragmentadas (lecho rocoso) de las zonas altas y el proceso de erosión del glaciar.

“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”



VI. LAGUNAS

Descripción General de Laguna Nueva Artesoncocha Alta.

La laguna nueva Artesoncocha Alta es una laguna de origen glaciar, tiene forma similar a un triángulo escaleno, con una superficie de 22314,1 m² y un volumen aproximado de 134002 m³. A la fecha se encuentra con bloques de hielo flotando sobre la superficie, la descarga de sus aguas es por rebose por un canal natural, la misma que alimenta a la laguna Artesoncocha con un caudal aproximado de 1,1m³/s y a la vez estas aguas drenan a la laguna Parón, cabe mencionar que la laguna nueva Artesoncocha Alta es el inicio de la quebrada Parón que forma un valle de origen glaciar con fuertes pendientes, la laguna nueva se encuentra al pie de los Nevados Artesonraju con una altitud de 5979 m.s.n.m., Nevado Parón (Paria) con una altitud de 5912 m.s.n.m., y el nevado Pirámide con una altitud de 6103 m.s.n.m. Actualmente la laguna

“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”

evoluciona rápidamente, no solo por el retroceso del glaciar Artesonraju, sino también por el efecto Calving que aumenta la fusión del frente glaciar (zona de ablación), debido a que el agua acelera (incrementa la temperatura del agua que aumenta la fusión de hielo) el desplome del hielo como un efecto de empuje (ver fotografía N° 06).



Fotografía N° 06.- Vista panorámica de la laguna Nueva Artesoncocha Alta

Vaso de la laguna

- **Talud del lado posterior:** Se encuentra en contacto con la lengua glaciar Artesonraju, con una pendiente promedio de 14%, siendo la fuente principal de aporte hídrico a la laguna, debido al derretimiento del frente glaciar.
- **Talud del lado izquierdo:** Se encuentra sobre afloramiento rocoso con buena estabilidad; en la parte superior, existe una capa pequeña de material morrénico con granulometría gruesa con fragmentos cuyos diámetros varían entre 20-50 cm. La altura del borde libre es de 3 m en promedio, por donde desagua la laguna por rebose, a través de un canal natural ubicado en las

“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”

coordenadas 209365 Este y 9007818 Norte (ver fotografía N° 07), a partir del cual inicia una rápida de 130 m, sobre un plano inclinado y luego alcanza una caída vertical de más de 200 m de altura sobre la cabecera de la laguna Artesoncocha.



Fotografía N° 07.- Vista de la parte posterior y talud izquierdo de la laguna.

- **Talud del lado derecho:** Sobre la margen derecha, la laguna se encuentra en contacto con hielo cubierto con morrenas, tiene una área aproximada de 1500 m², con presencia de escombros producto de derrumbes de la parte alta, cuyos taludes tienen pendientes mayores a 65° (ver fotografía N° 08).



Fotografía N° 08.- Vista del talud lateral derecho, donde se observa el hielo cubierto y escombros de derrumbe.

“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”

- **Talud del lado frontal:** Está formado por material morrénico inestable con una pendiente mayor a 45° , debajo del talud se evidencia que existe una morrena terminal con grandes bloques de roca que varían entre 2 y 3 m de diámetro (ver fotografía N° 09).



Fotografía N° 09.- Vista del talud lado frontal formado por material morrénico.

Laguna Artesoncocha

Es una laguna de origen glaciar, se encuentra ubicada al pie del nevado Artesonraju, esta laguna es alimentada por las agua de la laguna Nueva Artesoncocha Alta y de las aguas proveniente de la fusión del nevado Caraz, estas aguas a su vez drenan hacia la laguna Parón que se ubica a 2 km aguas abajo; la laguna Artesoncocha llegó a desbordarse en 2 oportunidades, el

“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”

primer desborde fue en junio de 1951 y el segundo en octubre de 1951 en ambos eventos no produjo daños materiales.

La laguna en mención cuenta con trabajo de batimetría del año 2010 realizado por la Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos, donde se encuentra a un nivel de espejo de agua de 4288 m.s.n.m., una superficie de 67669,2 m², volumen almacenado de 637847,2 m³ y una profundidad de 17 m.

Esta laguna está formada en un vaso morrénico, cuya margen lateral derecha tiene un talud inestable con una pendiente promedio de 93%, en la margen lateral izquierda tiene un talud con mayor estabilidad por estar cubierto de vegetación, tiene una pendiente promedio de 96%; no cuenta con un borde libre y la salida de sus aguas es por rebose por un vertedero mixto empalmado a un canal natural, con descarga mínima promedio de 0,25 m³/s y máxima promedio de 1,4 m³/ (ver fotografía N° 10).



Fotografía N° 10.- Vista panorámica de la laguna Artesoncocha.



“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”

Laguna Parón

Es una laguna de origen glaciar que se encuentra en las faldas de los nevados: Huandoy, Pisco, Chacraraju, Pirámide, Parón, Artesonraju, Caraz y Agujas Nevadas, la misma que es alimentada de forma permanente por las aguas de fusión de los nevados mencionados y por la laguna Artesoncocha, así mismo la laguna Parón tiene una superficie de 1480488,7 m², un volumen de 39888952,6 m³ y una profundidad de 45,4 m, estos resultados fueron obtenidos cuando la laguna se encontraba al nivel de espejo de agua de 4176,9 m.s.n.m. (ver fotografía N° 11).

El trabajo de batimetría fue realizado por la Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos – ANA en setiembre de 2007, sus laterales derecho e izquierdo se encuentran formados por farallón rocoso con una pendiente de 87%, el desagüe de la laguna es por la compuerta de regulación que fue construida por la empresa Corporación Peruana del Santa en el año 1969 en 3 etapas concluyendo la obra en 1992, donde se construyó 1243 m de túnel con una capacidad de descarga de 17,3 m³/s de caudal, así mismo cuenta con un vertedero al final del túnel donde fue diseñado para una descarga máxima de 4 m³/s, sus aguas fueron almacenadas hasta la cota de seguridad 4190 m.s.n.m., almacenando un volumen de 60972917,3 m³, tiene una profundidad de 58,5 m, estas aguas fueron desembalsadas en épocas de estiaje por la empresa Duke Energy, con fines de aprovechamiento hidroenergético en la Central Hidroeléctrica Cañón del Pato desde el año 1993 donde almacenaban 45 millones de m³ al año. En el año 2008 la comunidad campesina de Cruz de Mayo toma como custodia a la laguna Parón evitando la descarga que la empresa Duke Energy utilizaba las aguas de forma irresponsable provocando diversos daños a los usuarios agrarios a lo largo de toda la sub cuenca Lullán.

“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”



Fotografía N° 11.- Vista panorámica de la laguna Parón.

a) Comportamiento estructural

Es necesario considerar el comportamiento estructural de las rocas que conforman el vaso. Existen sectores con intenso fracturamiento y taludes con fuerte pendiente, donde la gravedad y la sobrecarga del material morrénico en la parte alta, origina derrumbes y caída de bloques sobre la laguna (ver figura N° 03).

En la margen derecha se identificó morrenas antiguas inestables y caída de rocas de las zonas altas por el proceso de ablación y talud de roca fragmentada (ver figura N° 03b) que originan derrumbes sobre la laguna. Este sector limita con un gran depósito de escombros de granulometría gruesa muy inestables que tienen una alta dinámica a medida que la laguna incrementa su volumen. Estas zonas muestran pendientes que varía entre 58% y 69%. También se observó flujos pequeños de agua (ver figura N° 03a), saturando y desestabilizando el material morrénico que caen a la laguna y podría ocasionar oleajes que sobrepasen el borde libre.

“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”

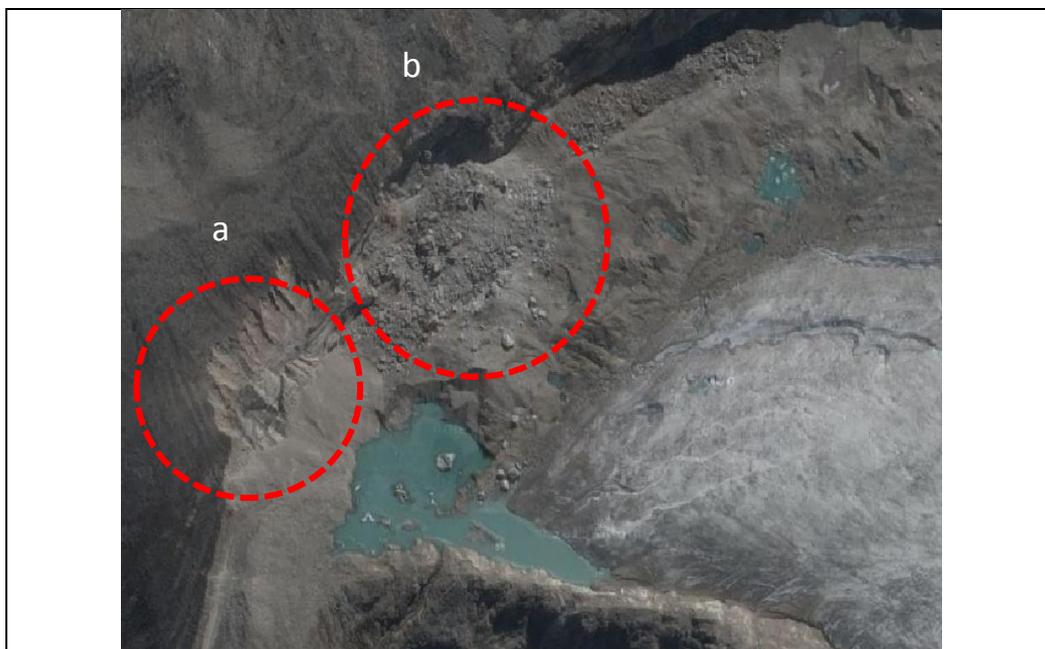


Figura N° 03a.- Morrena inestable con deslizamiento constante en la margen derecha de la laguna.

Figura N° 03b.- Caída de roca, debido al afloramiento de roca fracturada con diámetros entre 0,5-3,0 m.



Figura N° 03.- Deslizamiento de material en la margen derecha de la laguna.

b) Depósito de escombros

El sector con mayor inestabilidad geodinámica se encuentra sobre el dique terminal erosionado de la laguna; en este sector sobresale un gran volumen de escombros distribuidos en forma caótica con diferentes dimensiones, que se reacomodan a medida que la laguna incrementa sus dimensiones. Este sector tiene condiciones de alta peligrosidad por la dinámica del depósito, el cual se encuentra aparentemente sobre hielo y que podría originar un gran flujo de escombros (agua y material sólido) hacia la laguna Artesoncocha. Este sector requiere un monitoreo permanente, (ver fotografía N° 12).

“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”



Fotografía N° 12.- Dique morrénico terminal de laguna “Artesoncocha Alta”. Material totalmente inestable, cubierto con una capa de escombros con material grueso (2-3 m de diámetro). Aparentemente se encuentra sobre hielo y representa un dique erosionado altamente peligroso que puede ser arrastrado por la laguna al crecer en forma longitudinal.

Otro sector con depósitos inestables, se observa en la parte inferior del acantilado sobre el cual drena la laguna, en este sector se observan restos de antiguas morrenas y depósitos aluvionales muy erosionados sobre laderas con fuerte pendiente. La caída de escombros o desborde de la laguna, arrastraría estos depósitos sobre la laguna Artesoncocha, (ver fotografía N° 13).



Fotografía N° 13.- Parte inferior del acantilado (vista anterior), con fragmentos de morrena erosionada, constituyendo potencialmente, material sólido de aporte hacia la laguna Artesoncocha.

“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”

c) Inestabilidad de taludes

A lo largo del camino de acceso entre la laguna Artesoncocha Alta y laguna Artesoncocha, existen considerables depósitos de conos de escombros, en condiciones de alta inestabilidad, sobre laderas de montaña muy empinadas. Estos materiales constituyen depósitos con alto nivel de peligro por la dinámica gravitacional permanente y por la pendiente, estando expuestos a derrumbes provenientes de la parte alta. La presencia de sismos de mediana magnitud, podrían activar estos depósitos, transportando grandes cantidades de material sólido hacia la laguna Artesoncocha, incrementando su nivel de peligrosidad, (ver fotografía N° 14).



Fotografía N° 14.- Cono de escombros sobre la laguna Artesoncocha, con bloques de roca de 1-2 m de diámetro con alta inestabilidad y erosión activa. Potencialmente peligrosos por la fuerte pendiente. Un evento sísmico de mediana magnitud, podría provocar un considerable aporte de material hacia la laguna Artesoncocha.

d) Trayectoria

La posible trayectoria del flujo de escombros desde la laguna Artesoncocha Alta a la laguna Parón (perfil) muestra un inicio de pendiente promedio de 52° hacia la laguna Artesoncocha (ver figuras N° 04 y 05), luego de la laguna Artesoncocha (con pendiente promedio 18%) el flujo de escombros incrementaría y podría aumentar las dimensiones de la brecha, incorporando gran cantidad de agua y escombros a la laguna Parón. Esta laguna



“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”

actualmente tiene una cota alrededor 4195 m.s.n.m., sobrepasando la cota de seguridad (4185 m.s.n.m.). Considerando que la cota máxima (salida de agua por rebose) es de 4200 m.s.n.m., se podría tener un gran impacto en el dique morrénico (glaciar cubierto de Jatunraju) de la laguna Parón al momento del ingreso de flujo de escombros y podrían ocasionar el desbordamiento o aluvión (fuerte erosión) que afectaría a las poblaciones aguas abajo y la ciudad de Caraz.

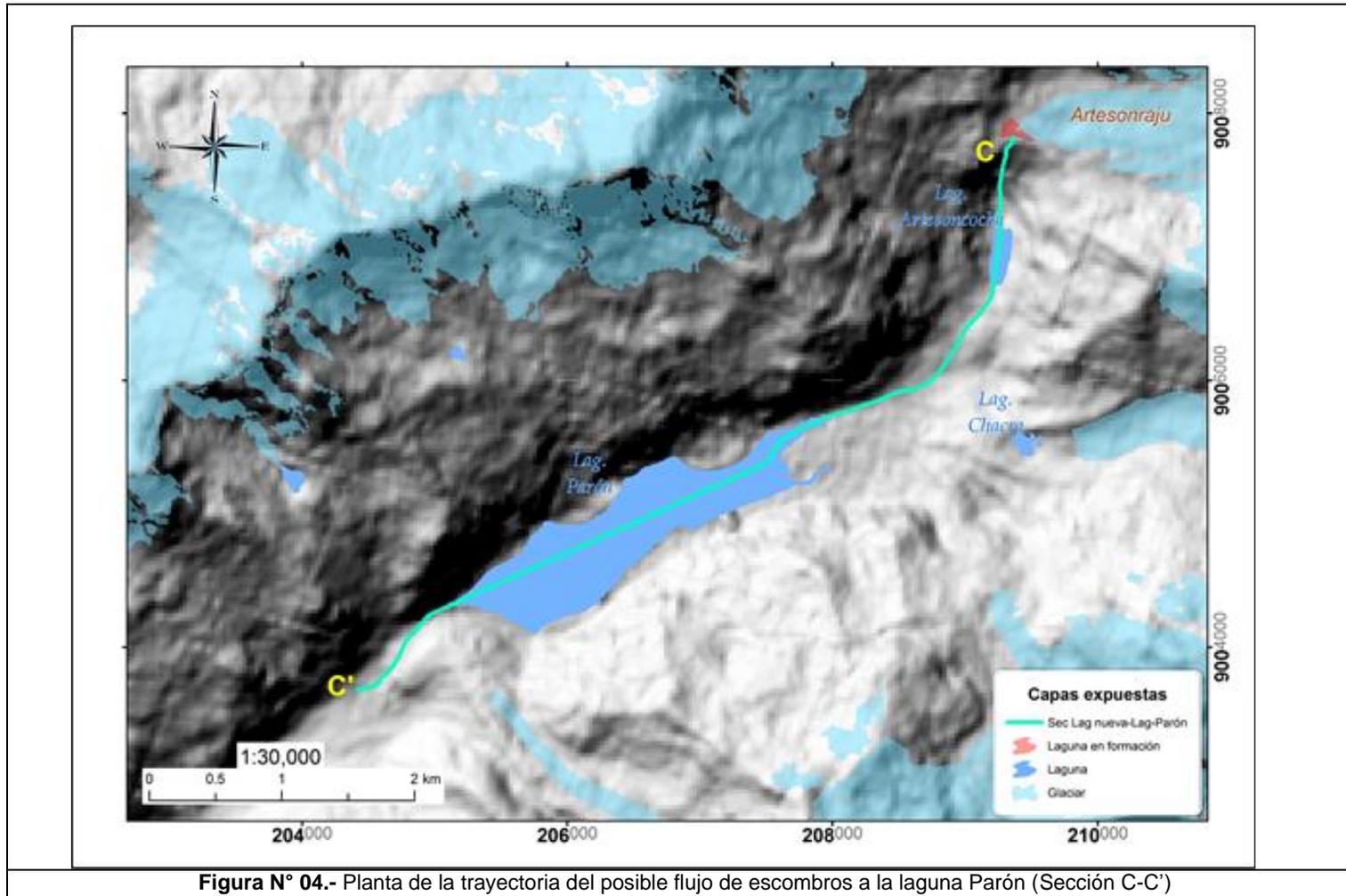


PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto Nacional de Investigación en
Glaciares y Ecosistemas de Montaña

“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”





PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto Nacional de Investigación en
Glaciares y Ecosistemas de Montaña

“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”

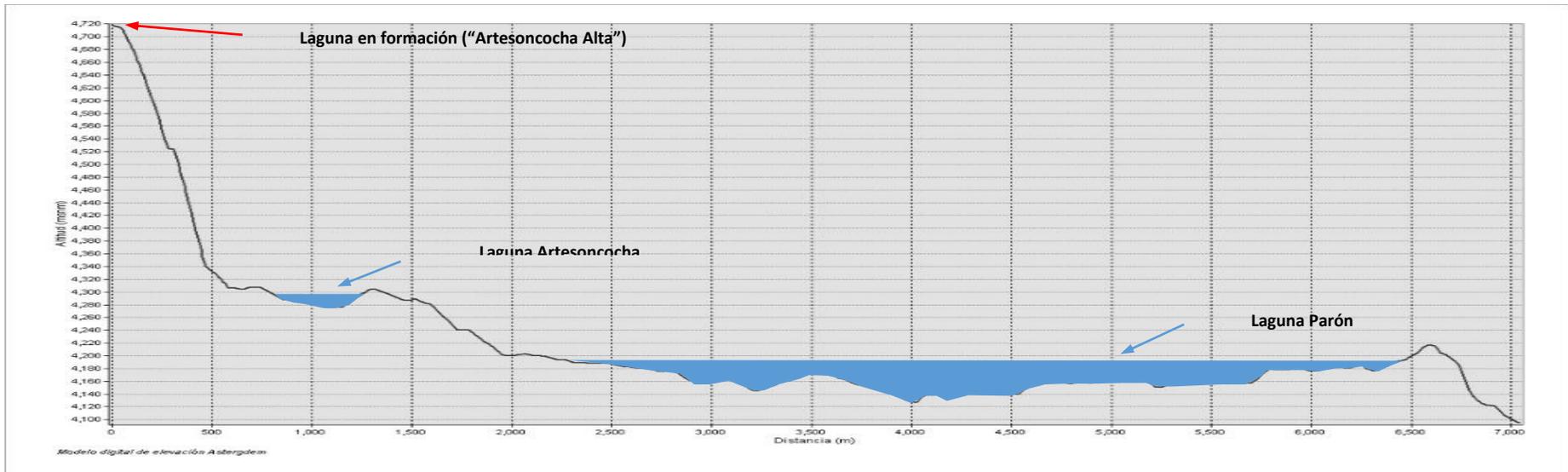


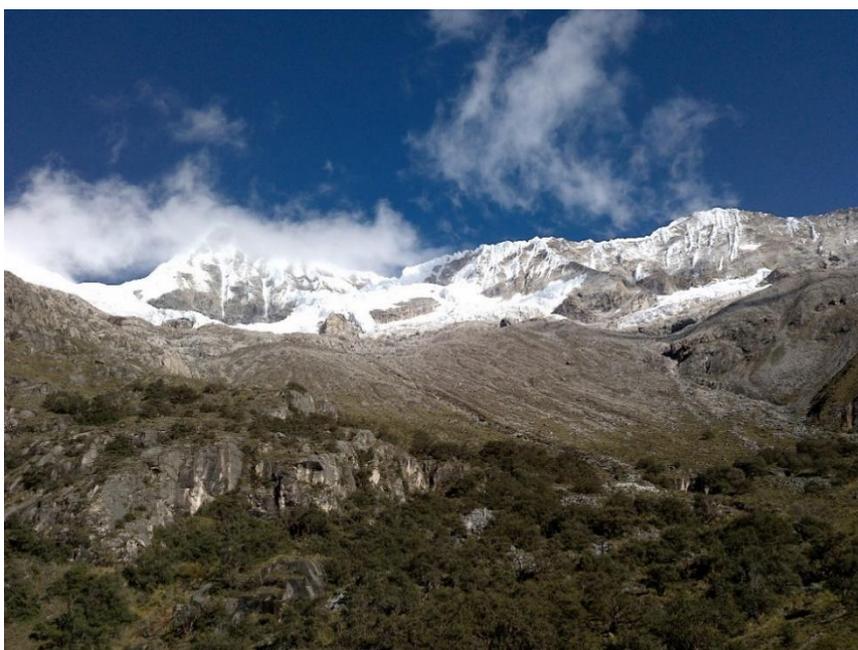
Figura N° 05.- Perfil de la trayectoria del posible flujo de escombros a la laguna Parón (sección C-C')



“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”

VII. ECOSISTEMAS

En la parte alta de la quebrada Parón se observa diferentes tipos de ecosistemas que aportan importantes servicios turísticos, enfocados desde el punto de vista social, productivo, económico y ambiental; se puede mencionar los más importantes como los nevados, lagunas, pajonales, bosques alto andinos y matorrales (ver fotografía N° 15).



Fotografía N° 15.- Vista de la quebrada Parón, mostrando parte del ecosistema cerca de la laguna nueva Artesoncocha Alta.

Los ecosistemas que tienen relación directa con la identificación de peligros y evaluación del potencial hídrico son los nevados y las lagunas, sin embargo los pajonales y los relictos de bosques son importantes por el gran potencial hídrico que representan y como hábitats de un sinnúmero de especies de flora y fauna que representan una gran biodiversidad según sus pisos ecológicos.

En la quebrada Parón, durante los trabajos de campo se pudo apreciar que los nevados representan dos importantes variables ambientales: uno por constituir importantes fuentes de agua almacenada en grandes bloques de hielo que en forma continua alimentan los torrentes y quebradas que sirven para garantizar las diferentes actividades que se desarrollan en la parte baja de la subcuenca y otro desde el punto de gestión del riesgo, en base a lo cual se evalúa las características de los frentes glaciares y la potencial generación de avalanchas sobre las lagunas



“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”

de origen glaciar, que podrían originar aluviones causando grandes daños en la parte baja de la subcuenca Lullán.

Así mismo, las lagunas de origen glaciar formadas al pie de los frentes glaciares, generan depósito o reservorios naturales almacenando importantes volúmenes de agua que pueden ser regulados y utilizados en forma sostenible para diferentes fines. Sin embargo, estas cubetas naturales, también representan un peligro potencial con diferentes niveles, relacionados directamente con la geometría y las condiciones de los diques morrénicos que las controlan, siendo necesario realizar la vigilancia y monitoreo permanente con la finalidad de prevenir eventos extraordinarios que podrían afectar las actividades que se desarrollan a lo largo de la subcuenca.

VIII. HIDROLOGÍA

La subcuenca del río Lullán (Parón) (dos nombres: desde la parte media hacia la laguna se denomina río Parón y desde la parte media hacia Caraz se denomina río Lullán). Tiene su origen en las lagunas Parón y Artesoncocha, (Mapa de Peligros, Programa de Prevención y Medidas de Mitigación ante Desastres - Ciudad de CARAZ; Octubre 2005; PROYECTO INDECI PNUD PER/02/051- CIUDADES SOSTENIBLES), éste río es tributario del río Santa por su margen derecha, tiene una superficie de 143,92 Km² y en la parte alta se encuentran las lagunas “Artesoncocha Alta”, Artesoncocha y Parón, donde se inicia la quebrada. La falta de datos de la estación de Parón no ha permitido realizar un análisis local de los parámetros hidrometeorológicos actuales.

Entre los años 1953 y 2003, en la laguna Parón se tenía una precipitación promedio anual de 782 mm/año, y caudal medio anual 1,59 m³/s (Fuente: Estudio Hidrológico Centrales Hidroeléctricas Cañón del Pato y Carhuaquero – Duke Energy International). La laguna “Artesoncocha Alta” sólo recibe el aporte hídrico debido a la de fusión del glaciar Artesonraju (ver figura N° 06).

“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”

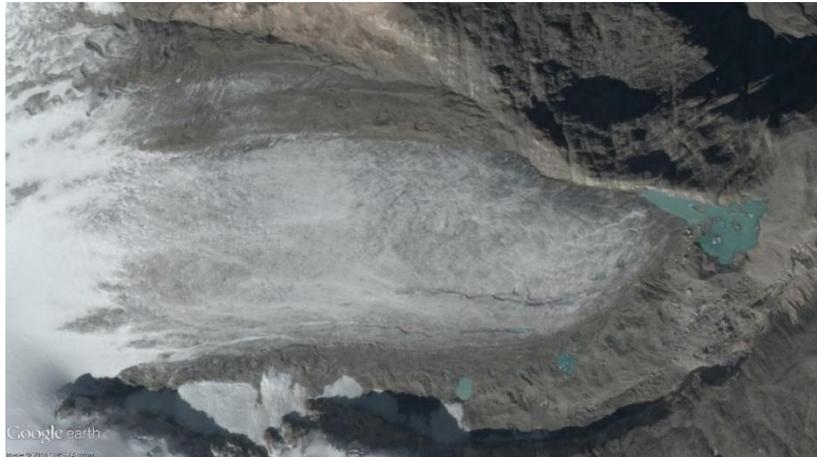


Figura N° 06.- Toma de imagen del satélite en 2D, mostrando la laguna “Artesoncocha Alta”, donde llega recibe el aporte hídrico del glaciar Artesonraju.

Las descargas máximas instantáneas anuales registradas en la estación Parón dentro de los periodos del año 1953 al 1982 es de $4,23 \text{ m}^3/\text{s}$ ocurrida entre los años 1978 y 1979 (Mapa de Peligros, Programa de Prevención y Medidas de Mitigación ante Desastres-Ciudad de CARAZ, Octubre 2005-PROYECTO INDECI PNUD PER/02/051- CIUDADES SOSTENIBLES).

A la altura de la ciudad de Caraz, el caudal máximo instantáneo calculado en el río Lullán para un periodo de retorno de 100 años es de $34,03 \text{ m}^3/\text{s}$ (Mapa de Peligros, Programa de Prevención y Medidas de Mitigación ante Desastres - Ciudad de CARAZ, Octubre 2005-PROYECTO INDECI PNUD PER/02/051-CIUDADES SOSTENIBLES).

Por otro lado, la laguna “Artesoncocha Alta” descarga aproximadamente un caudal de $1,14 \text{ m}^3/\text{s}$ (ver fotografía N° 16); este aforo se efectuó con el método del flotador que consiste en calcular la velocidad media del flujo y una área media de la sección y como resultado se tiene el caudal que discurre considerando que los datos de aforo se realizó en época lluvias.

“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”



Fotografía N° 16.- Desagüe de la laguna

IX. IDENTIFICACION DE PELIGROS

9.1 Condiciones de peligrosidad en glaciares

Las condiciones de estabilidad geodinámica y geotécnica en el entorno de la laguna y los glaciares son variables: En la margen derecha, sobresalen afloramientos de rocas intrusivas con buena competencia pero muy fracturadas. En las partes altas se observan frentes glaciares colgantes con paredes verticales sobre afloramientos rocosos que originan avalanchas permanentes.

Las dos zonas (ver figura N° 07 y fotografías N° 17 y 18) identificadas tienen pendientes promedio de 42° (zona 1) y 45° (zona 2), sin embargo el impacto es sobre la lengua glaciar que ocupa el posible vaso de la laguna en formación. Estos datos muestran que en ambas zonas tienen pendientes pronunciadas (parámetro físico del glaciar) superior a 23° que es la pendiente máxima para ser estables los glaciares temperados (Portocarrero, 2014). También las zonas muestran presencia de grietas y seracs que condicionan la ocurrencia de avalanchas.



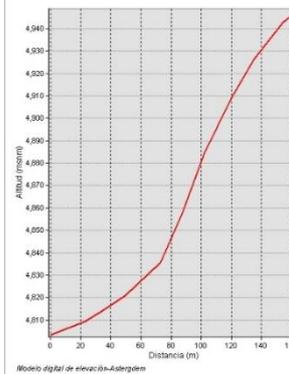
“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”



Fotografía N° 17.- Vista del frente glaciar - sección A-A', Zona 1



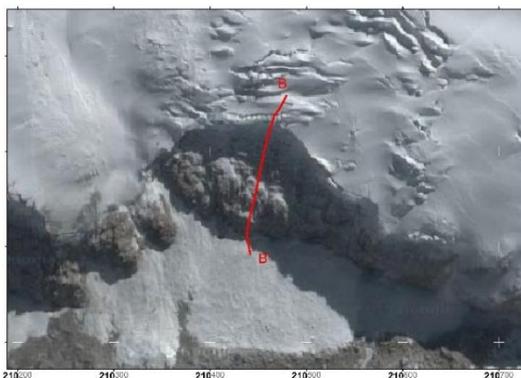
Sección A-A', Zona 1



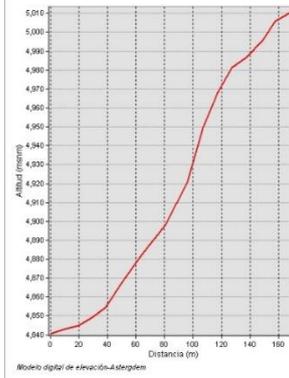
Perfil sección A-A', Zona 1



Fotografía N° 18.- Vista del frente glaciar - sección B-B', Zona 2



Sección B-B', Zona 2



Perfil sección B-B', Zona 2

Figura N° 07.- Perfil de las secciones A-A' y B-B' y estimación de la pendiente, se usó imágenes del Google Earth 2015 y Modelo digital de elevación de 30 m (resolución espacial), Aster Gdem.



“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”

9.2 Condiciones de peligrosidad en la Laguna

Las condiciones de peligrosidad de la laguna Artesoncocha Alta se estiman de moderada a alta, por los siguientes aspectos:

- El desagüe de la laguna Artesoncocha Alta es por el lateral izquierdo por un canal natural y por rebose, no cuenta con un dique de seguridad, tiene un borde libre de 3 m, en caso se ocurra un oleaje, sobrepasaría el agua, llegando a la laguna Artesoncocha, lo cual ocasionaría un desborde de la misma provocando un aluvión.
- El talud lateral derecho tiene pendiente superior a 45%, donde presenta inestabilidad originando derrumbes y caída de bloques de rocas fragmentadas sobre la laguna incrementando su nivel de peligro, también hay varios puntos por donde drenan escorrentías hacia la laguna.
- El dique natural de cierre de la laguna se encuentra hacia el oeste, cuyas laderas tienen pendientes aproximadas de 42% con constante caída de escombros. Conforman una morrena terminal con grandes bloques de roca, distribuidos en forma caótica con alto nivel de inestabilidad y aparentemente se encuentra sobre hielo enterrado. Esta morrena soporta y controla actualmente los posibles flujos del glaciar Artensoraju, sin embargo, las condiciones de inestabilidad de este material eleva el nivel de peligro potencial por desborde de la laguna a medida que aumenta su volumen, siendo necesario un permanente monitoreo y evaluación en este sector.

X. CONCLUSIONES

- El glaciar Artesonraju ha retrocedido su frente a un ritmo de -9,23 m/año entre 1970 y 2003, pero en el siglo 21 ha incrementado su tasa de retroceso a -10,3 m/año en 12 años (2005-2015). Esto evidencia que el glaciar retrocede rápidamente, permitiendo la formación de la laguna proglacial, debido a las características de una depresión en el lecho rocoso y a los procesos de ablación.
- La laguna Artesoncocha Alta, evoluciona rápidamente, porque ha incrementado su área de 2020 m² a 22314 m² con un aumento de 1004% en solo 12 años de análisis (2005-2015) con un volumen estimado de 134002 m³. Esto demuestra que no solo el retroceso del glaciar Artesonraju incrementa la extensión de la laguna sino también el efecto Calving que acelera el retroceso del frente glaciar.



“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”

- Las avalanchas son frecuentes en la margen derecha (zonas altas), debido a que las zonas son inestables y tienen pendientes $>45\%$, impactando en la lengua glaciar Artesonraju. Por lo tanto en las siguientes décadas son detonantes potenciales, cuando la lengua glaciar desaparezca y la laguna incremente su extensión (dimensiones aproximadas) con un largo máximo de 1500 m y un ancho máximo de 500 m.
- Desde un enfoque prospectivo la evolución de la laguna es peligrosa en las siguientes décadas porque se ubica en una depresión del lecho rocoso (no hay grietas pronunciadas en la lengua glaciar), cambio de pendientes y un estrechamiento de la lengua glaciar. La posible trayectoria inicia con una pendiente de 52° hacia la laguna Artesoncocha, seguida de una pendiente promedio de 18% hacia la laguna Parón: Estas pendientes y la trayectoria condicionan que el volumen de los escombros impactaría con violencia en la laguna Parón, ocasionando una fuerte erosión del dique morrénico terminal.
- Geológicamente, la laguna “Artesoncocha Alta”, se encuentra en procesos de formación, sobre la parte final de una lengua glaciar, el vaso se encuentra sobre rocas graníticas de buena competencia; sin embargo hacia la parte terminal existe un sector muy fracturado.
- Desde el punto de vista geodinámico, el vaso tiene un sector altamente inestable, cubierto por material de escombros, que determinan el dique terminal de cierre de la laguna. Este sector todavía no ha alcanzado su nivel de equilibrio, por lo tanto constituye el sector con mayor nivel de peligro.

XI. RECOMENDACIONES.

- Realizar un vuelo con el drone para obtener ortofotos de alta resolución espacial y un Modelo digital de elevación para estimar el volumen y el ritmo de retroceso del glaciar Artesonraju.
- Realizar mediciones de espesor y volumen de la lengua glaciar con GPR.
- Realizar la batimetría y topografía de la laguna Artesoncocha Alta para conocer el volumen y área y así monitorearlo periódicamente.
- Instalar una regla graduada para monitorear el caudal de salida de la laguna “Artesoncocha Alta”



“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”

- Monitoreo del material de escombros de morrena terminal de la laguna para medir el desplazamiento horizontal y vertical en referencia a las cotas y los volúmenes (vuelo con drone y geofísica).
- En base a los estudios preliminares analizar la propuesta de una obra de seguridad como medida de prevención.



“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Huggel, Christian, Andreas Käab, Wilfried Haeberli, Philippe Teysseire, and Frank Paul. 2002. “Remote Sensing Based Assessment of Hazards from Glacier Lake Outbursts: A Case Study in the Swiss Alps.” *Canadian Geotechnical Journal* 39 (2): 316–30. doi:10.1139/t01-099.
- Mapa de Peligros, Programa de Prevención y Medidas de Mitigación ante Desastres - Ciudad de CARAZ; Octubre 2005; PROYECTO INDECI PNUD PER/02/051- CIUDADES SOSTENIBLES
- Portocarrero, César. 2014. “THE GLACIAL LAKE HANDBOOK REDUCING RISK FROM DANGEROUS GLACIAL LAKES IN THE,” no. February: 68.
- Rabatel, a., B. Francou, a. Soruco, J. Gomez, B. Cáceres, J. L. Ceballos, R. Basantes, et al. 2013. “Current State of Glaciers in the Tropical Andes: A Multi-Century Perspective on Glacier Evolution and Climate Change.” *The Cryosphere* 7 (1): 81–102. doi:10.5194/tc-7-81-2013.
- Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos (UGRH), Autoridad Nacional del Agua (2014). Inventario de glaciares del Perú. Autoridad Nacional del Agua, Huaraz-Lima, 56 p. Dponible en: <http://www.ana.gob.pe/sala-de-prensa/inventario-de-glaciares-y-lagunas-2014.aspx>



“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”

GLOSARIO DE TERMINOS

ALUVIÓN.- Desplazamiento violento de una gran masa de agua con mezcla de sedimentos de variada granulometría y bloques de roca de grandes dimensiones. Se desplazan con gran velocidad a través de quebradas o valles en pendiente, debido a la ruptura de diques naturales y/o artificiales o desembalse súbito de lagunas, o intensas precipitaciones en las partes altas de valles y quebradas.

ÁREA DE ABLACIÓN.- Es el área de un glaciar donde predominan los procesos que propician la pérdida de masa, por fusión o sublimación. (National Snow and Ice Data Center, (NSIDC - NASA), 2012).

ÁREA DE ACUMULACIÓN.- Es el área de un glaciar donde predominan los procesos que favorecen la ganancia de masa, por precipitación en forma de nieve, redistribución eólica de la cubierta nival o avalanchas, donde las condiciones topográficas son favorables.

AVALANCHA.- Desprendimiento violento en un frente glaciar pendiente abajo de una gran masa de nieve o hielo acompañado en algunos casos de fragmentos rocosos de diversos tamaños y sedimentos de diferente granulometría.

BALANCE DE MASAS.- Es el cambio en la relación pérdida-ganancia del glaciar, observado durante un período de tiempo determinado, que puede ser estacional o anual (el más utilizado). (Francou & Pouyaud, 2008 - b).

CORRIENTE SUPRA GLACIAR.- Es una corriente de agua de fusión del glaciar que corre sobre la superficie (Morales, 2014).

DESGLACIACIÓN.- Retroceso o disminución de la cobertura de hielo del glaciar de una montaña. Investigaciones recientes confirman la desglaciación en muchos lugares del mundo, incluyendo las zonas polares. En nuestro país se viene confirmando el registro de desglaciación en la Cordillera Blanca durante las últimas décadas.

DESLIZAMIENTO.- Ruptura y desplazamiento de pequeñas o grandes masas de suelos, rocas, rellenos artificiales o combinaciones de éstos, en un talud natural o artificial. Se caracteriza por presentar necesariamente un plano de deslizamiento o falla, a lo largo del cual se produce el movimiento que puede ser lento o violento, y por la presencia de filtraciones.

EROSIÓN.- Desintegración, desgaste o pérdida de suelo y/o rocas como resultado de la acción del agua y fenómenos de intemperismo.



“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”

FALLA GEOLÓGICA.- Grieta o fractura entre dos bloques de la corteza terrestre, a lo largo de la cual se produce desplazamiento relativo, vertical u horizontal. Los procesos tectónicos generan las fallas.

FARALLÓN GLACIAR.- Frente glaciar que termina en forma abrupta en paredes de hielo de decenas de metros de altura (Morales, 2014).

GEODINÁMICA.- Proceso que ocasiona modificaciones en la superficie terrestre por acción de los esfuerzos tectónicos internos (geodinámica interna) o esfuerzos externos (geodinámica externa).

GLACIAR.- Masa de hielo en movimiento formada en las cimas de las montañas durante periodos climáticos glaciares.

GLACIAR COLGADO.- Porción considerable de un glaciar que se encuentra adherido a las cumbres o sobre pendientes muy pronunciadas y que significan peligros glaciológicos (Morales, 2014).

INUNDACIONES.- Desbordes laterales de las aguas de los ríos, lagos y mares, cubriendo temporalmente los terrenos bajos, adyacentes a sus riberas, llamadas zonas inundables. Suelen ocurrir en épocas de grandes precipitaciones, marejadas y maremotos (tsunami).

MONITOREO.- Proceso de observación y seguimiento del desarrollo y variaciones de un fenómeno, ya sea instrumental o visualmente, y que podría generar un desastre.

MORRENAS.- Son acumulaciones de detritos que el glaciar tritura en su recorrido pendiente abajo y que los acumula en el frente glaciar y en sus flancos, denominándose morrena frontal, morrena lateral, morrena de fondo o morrena media (Morales, 2014).

MOVIMIENTO GLACIAR.- Desplazamiento por efecto de la carga de nieve anual que tienen en la zona de acumulación, por gravedad de la constitución de su masa como un cuerpo semi plástico y por la pendiente misma del sub suelo, tienen un movimiento continuo cuya velocidad es diferente de acuerdo a su posición, potencia glaciar y altura. (Morales, 2014).

PELIGRO.- Probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural o tecnológico potencialmente dañino, para un periodo específico y una localidad o zona conocidas. Se identifica, en la mayoría de los casos, con el apoyo de la ciencia y tecnología.



“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”

QUEBRADA.- Designación local a los valles glaciares de la Cordillera Blanca (Morales, 2014).

RIESGO.- Evaluación esperada de probables víctimas, pérdidas y daños a los bienes materiales, la propiedad y economía, para un periodo específico y área conocidos, de un evento específico de emergencia. Se evalúa en función del peligro y la vulnerabilidad. El riesgo, el peligro y la vulnerabilidad se expresan en términos de probabilidad, entre 1 y 100.

RIESGOS DE LOS GLACIARES.- Por el movimiento continuo de los glaciares y dependiendo de su posición y masa glaciar pueden ocasionar catástrofes graves como el caso de los aluviones de lagunas glaciares vaciadas por avalanchas de hielo. (Morales, 2014).

SISMO.- Liberación súbita de energía generada por el movimiento de grandes volúmenes de rocas en el interior de la Tierra, entre su corteza y manto superior, y se propagan en forma de vibraciones a través de las diferentes capas terrestres, incluyendo los núcleos externo o interno de la Tierra.

VALLE EN FORMA DE U.- Valle que muestra en su perfil la forma de una “U” labrada por erosión de los glaciares antiguos (Morales, 2014).

VALLE GLACIAR.- Valle que muestra la acción de la erosión glaciar en su superficie y que puede o no tener glaciares en su parte superior (Morales, 2014).

VARIABILIDAD CLIMÁTICA.- Estado medio del clima a escalas temporales y espaciales, más allá de fenómenos meteorológicos determinados. La variabilidad se puede deber a procesos internos naturales dentro del sistema climático (variabilidad interna), o a variaciones en los forzamientos externos antropogénicos (variabilidad externa). (IPCC, 2001).

VULNERABILIDAD.- Grado de resistencia y/o exposición de un elemento o conjunto de elementos frente a la ocurrencia de un peligro. Puede ser: física, social, económica, cultural, institucional y otros.