



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 DEL NIVEL DE PELIGRO DE LA LAGUNA MULLACA CON FINES DE SEGURIDAD Y APROVECHAMIENTO

Cordillera Blanca, Provincia de Huaraz, Región Ancash

## INFORME TÉCNICO N° 02



Foto: Oscar Vilca

Laguna Mullaca

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 TÉCNICO QUE PARTICIPÓ EN EL INFORME:**

**Ing. Luzmila R, Dávila Roller**

**Ing. Oscar Vilca Gómez**

**Ing. Edinson Ínga Espinoza**

**Ing. Cesar Cuentas Checa**



## INDICE

	Pág.
RESUMEN.....	4
I. GENERALIDADES.....	5
1.1 Introducción .....	5
1.2 Antecedentes .....	5
1.3 Objetivos .....	6
1.3.1 Objetivos generales .....	6
1.3.2 Objetivos específicos .....	6
1.4 Ubicación y acceso .....	6
II. METODOLOGÍA .....	8
2.1 Fase de pre campo .....	8
2.1.1 Definición del Objetivo y Alcance del Estudio.....	8
2.1.2 Elaboración del Plan de Trabajo .....	8
2.1.3 Recopilación y Análisis de la Información Existente .....	8
2.2 Fase de campo .....	9
2.2.1 Recolección de información .....	9
2.3 Fase final .....	9
2.3.1 Sistematización, análisis y evaluación de la información de campo .....	9
2.3.2 Elaboración del informe .....	10
III. DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA .....	10
IV. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA .....	11
4.1 Geología Regional .....	11
4.2 Geología local .....	11
4.3 Geomorfología .....	14
V. GLACIARES .....	15
VI. LAGUNAS .....	19
VII. ECOSISTEMAS.....	22
VIII. HIDROLOGÍA.....	23
IX. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS.....	24
9.1 Condiciones de peligrosidad en glaciares .....	24
9.2 Condiciones de Peligrosidad en la Laguna.....	27
X. CONCLUSIONES .....	27
XI. RECOMENDACIONES.....	27
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	29
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	30



## RESUMEN

La laguna Mullaca está ubicada en la cabecera de la subcuenca del río Mullaca, a una altitud de 4,596 msnm, es una laguna de origen glaciar formada por el deshielo del glaciar Vallunaraju, en la actualidad se encuentra sin contacto con el glaciar, además cuenta con una obra de seguridad construida en el año 1953, dicha obra hasta el momento sigue trabajando en la atenuación de eventuales oleajes suscitados en la laguna.

La subcuenca del río Mullaca, situada sobre la margen derecha del río Santa, es un tributario de esta cuenca que vierte sus aguas hacia la vertiente del Pacífico. Aguas abajo de la laguna se observa un valle típico en "U", en la cabecera y luego varía su forma por lo accidentado del terreno.

En base al reconocimiento en campo realizado del 10 al 12 de febrero del 2016, se ha identificado dos peligros importantes en esta laguna: primero, la posibilidad de desprendimientos de grandes bloques de roca y hielo y segundo la estabilidad de la morrena frontal.

En base a las características físicas de esta laguna y a las observaciones de campo, esta laguna se considera de moderada a baja peligrosidad, dependiendo de la magnitud de los procesos de desprendimiento de bloques de roca y hielo que se manifiestan constantemente en la superficie glaciar.

Los resultados a partir de esta visita de reconocimiento han sido concluyentes, debido a que existe una baja probabilidad de desprendimiento de masas de hielo por la lejanía del glaciar, además gran parte de la superficie glaciar tienen pendientes menores a 20°, sin embargo, de producirse una avalancha que llegue a la laguna, generaría el desborde de la laguna Mullaca, por eso mismo ha sido considerada de riesgo mediano a bajo.

Se considera necesario generar modelos de flujos de escombros (aluviones) para evaluar los impactos que un desborde pueda ocasionar aguas abajo de la laguna y proponer medidas de mitigación, estimando los niveles de riesgo en la subcuenca de la quebrada Mullaca.

También es de necesidad, realizar estudios de geofísica a fin de determinar las características del vaso de la laguna y depósitos morrénicos adyacentes.



## I. GENERALIDADES

### 1.1 Introducción

El INAIGEM a través del equipo de Investigación en Glaciares viene realizando el reconocimiento de las lagunas consideradas peligrosas en el ámbito de la Cordillera Blanca, con este motivo se ha realizado la visita a la laguna Mullaca a fin de determinar sus características.

La laguna Mullaca, se ubica en la Cordillera Blanca, en el lado oeste del glaciar Vallunaraju, de origen netamente glaciar, de forma ligeramente ovalada, posee un vaso de material morrénico con alto grado de consolidación, en la zona posterior presenta un farallón de roca granodiorítica que forma parte del macizo batolítico que a la vez sostiene al nevado Vallunaraju, sus dimensiones de la laguna son: 431 m. y 342 m. de largo y ancho respectivamente, el desagüe es por rebose mediante el conducto del dique de seguridad construida en el año 1953. La obra de seguridad se conserva en buen estado, a pesar de tener más de 60 años de construcción.

El glaciar proveniente del nevado Vallunaraju se ubica aproximadamente a 470 m con respecto a la laguna, la masa presenta fracturamiento y desmoronamiento de su parte terminal, se vienen desprendiendo en pequeños bloques de hielo pero estas no llegan a impactar de forma significativa a la laguna debido a que se cuenta con un dissipador natural y además se desintegran en el trayecto.

### 1.2 Antecedentes

Esta laguna fue desaguada mediante tajo abierto, reduciendo el nivel original del espejo de agua en 4 m. Posteriormente se construyó un dique artificial que se concluyó el año de 1953 (Archivos: UGRH – ANA).

En diciembre del 2006 se realizaron los trabajos de topografía y batimetría (1), los resultados son los siguientes:

Nivel del espejo de agua	: 4,596 msnm.
Área del espejo de agua	: 110,695 m <sup>2</sup> .
Volumen almacenado	: 2'043,738 m <sup>3</sup> .
Profundidad máxima	: 38 m, que corresponde al nivel 4,558 m.s.n.m.
Largo máximo	: 431 m.
Ancho máximo	: 342 m.



### 1.3 Objetivos

#### 1.3.1 Objetivos generales

- Determinar las condiciones de peligrosidad de la laguna Mullaca, desde el punto de vista glaciológico, geológico-geotécnico y volúmenes de agua.
- Describir en forma general las características geológicas y geomorfológicas de la subcuenca del río Mullaca y una evaluación de las condiciones hidrológicas de la zona.

#### 1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar peligros de origen glaciar relacionados a la generación de avalanchas que eventualmente podrían caer sobre la laguna, originando oleajes y desborde con grandes daños en la parte baja de la subcuenca del río Mullaca.
- Determinar el nivel de peligrosidad de la laguna Mullaca en relación a la situación actual de los taludes de las morrenas laterales y estabilidad de la obra de control del dique.
- Evaluar las características físicas de las morrenas ubicadas en el vaso de la laguna.

### 1.4 Ubicación y acceso

#### Ubicación

La laguna Mullaca se encuentra ubicada a 4,596 m.s.n.m, en inmediaciones del nevado Vallunaraju Oeste, en la cabecera de la quebrada del mismo nombre, subcuenca río Mullaca, cuenca del río Santa, vertiente occidental de la Cordillera Blanca (ver figura N°01 y 02).

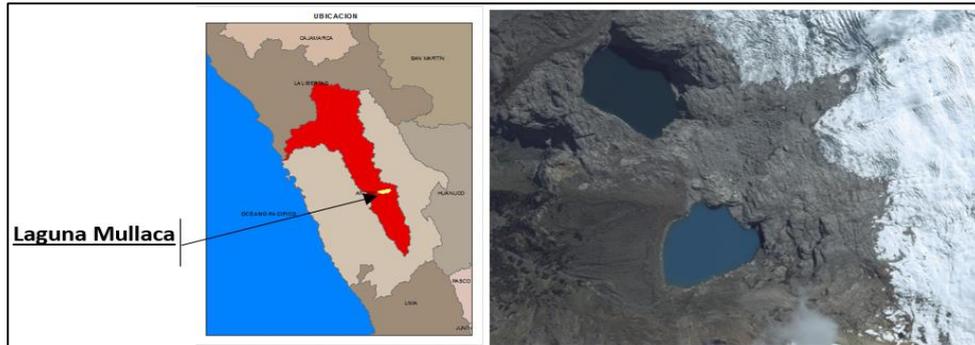


Figura N° 01: Ubicación de las lagunas en la cuenca del río Santa y en la región Ancash.

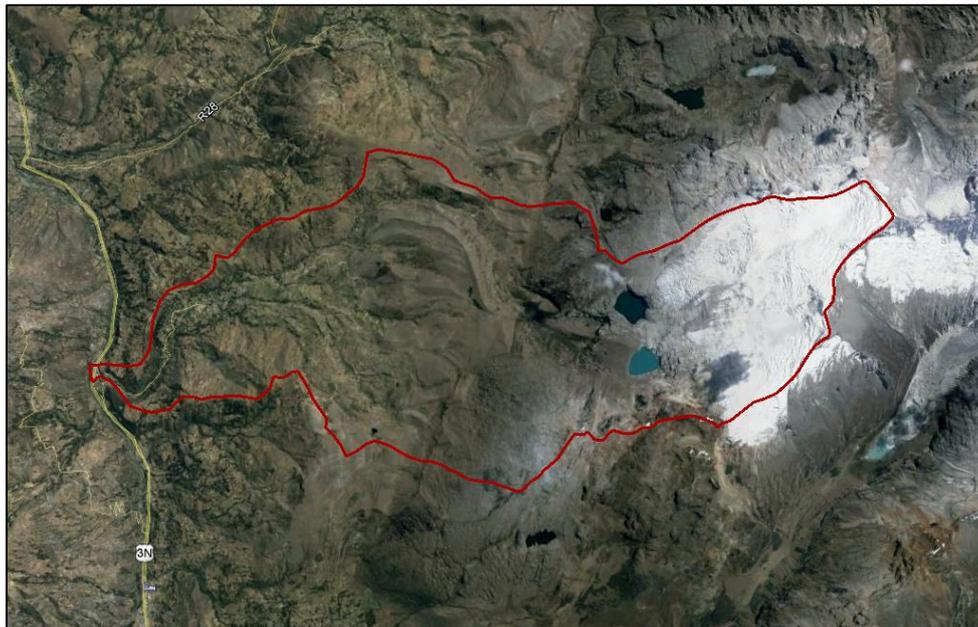


Figura N° 02: Mapa de ubicación de la subcuenca río Mullaca.

La subcuenca río Mullaca tiene una superficie de 29.09 Km<sup>2</sup>, su cota mínima y máxima varía desde los 2,950 m.s.n.m. a 5,686 m.s.n.m. respectivamente.

Altitud media de la laguna Mullaca es 4,596 m.s.n.m.

Políticamente, se encuentra dentro de la jurisdicción del distrito de Independencia, provincia de Huaraz, departamento de Ancash.

### Acceso

El acceso a la laguna Mullaca, desde la ciudad de Huaraz se realiza según el siguiente itinerario: Carretera Huaraz – Centro Poblado Chavín 16 Km. Camino de herradura C.P. Chavín – laguna Mullaca (tiempo de caminata aproximado 5 horas) (ver cuadro N°01).



Ruta	Tipo de Vía	Distancia (km)	Tiempo (h)	Medio de Transporte
Huaraz – Cruce C.P. Chavín	Carretera asfaltada	5	0:25 hrs.	Vehículo motorizado
Cruce C. P. Chavín – Desvío a Wilcahuain.	Trocha Carrozable	11	1:30 hrs.	Vehículo motorizado
Desvío a Wilcahuain – laguna Mullaca.	Camino de herradura	9	4:45 hrs.	A pie.
<b>Distancia Total Recorrida</b>		<b>25</b>	1:55 hrs.	

Cuadro N° 01: Vías de acceso, laguna Mullaca.

## II. METODOLOGÍA

La metodología empleada en la evaluación de peligros de lagunas de origen glaciar, consiste en evaluar las principales fases de trabajo; debiendo estar estandarizadas y complementadas entre sí, de acuerdo al nivel de estudio.

Comprende 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.

#### 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, así como de las estructuras hidráulicas, estableciéndose preliminarmente el análisis de las condiciones glaciológico-hidrologías de la laguna en base a lo cual se han construido las obras de regulación.



## 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 frontal 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 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 los sistemas de regulación existente.

#### **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 Mullaca se encuentra ubicada en el callejón de Huaylas, dentro de la cadena montañosa de la Cordillera Blanca, sistema glaciar de mayor extensión de los trópicos, ubicado en el ramal occidental de los Andes del Norte del territorio peruano, tiene pendientes muy fuertes en las zonas altas cerca a los nevados; a lo largo de las quebradas las laderas tienen pendientes fuertes a moderadas, sobre las cuales predominan bosques alto andinos y pajonales que sirven de alimento para la ganadería existente; en los fondos de valle la pendientes son suaves y altamente productivas donde se desarrolla una intensa actividad pecuaria aprovechando los pajonales y bofedales que se distribuyen en la parte media y alta de la subcuenca.

Geográficamente la subcuenca se encuentra ubicada entre los paralelos 09°25'30" y 09°26'06" de latitud sur y entre los meridianos 77°28'12" y 77°29'24" de longitud oeste, con un rango altitudinal de 2,900 hasta los 5,686 m.s.n.m.

La principal actividad desarrollada por los pobladores de Chavín en las cercanías a la laguna Mullaca es el pastoreo, existe en la zona una bocatoma que capta el agua de dicha laguna, para abastecer de agua a la población de Chavín.

El sistema glaciar que abastece de agua a la laguna Mullaca, es el sistema Huantsán, el cual es considerado como uno de los sistemas con mayor cobertura glaciar en la Cordillera Blanca.

#### IV. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

##### 4.1 Geología Regional

Desde el punto de vista de la geología regional, se considera que sobresalen las formaciones sedimentarias: Chicama, Oyón, Goyllarisquizga, Santa, Carhuaz y los depósitos cuaternarios, estos últimos conformados por depósitos fluvio-glaciares, que incluyen a las morrenas, arenas y gravas. Asimismo están presentes las rocas intrusivas representadas por el Batolito de la Cordillera Blanca, cuya litología corresponde a una granodiorita-tonalita de grano grueso.

##### 4.2 Geología local

Geológicamente, la laguna Mullaca, se encuentra sobre rocas intrusivas representadas por el Batolito de la Cordillera Blanca y a su vez está comprendida por depósitos morrénicos.

La litología del batolito, comprende rocas intrusivas como granodioritas y tonalitas de grano grueso. El tipo de litología que presenta la zona de estudio, da origen a numerosas escarpas que existe en el circo glaciar del nevado. Se presenta algunos diaclasamientos en diversos sectores, producto del fenómeno de deglaciación intensa, lo que origina desprendimientos de bloques y derrumbes no sólo alrededor de la laguna, sino también a lo largo de la quebrada Mullaca (ver fotografía N°01).



Fotografía N° 01: Cadena de rocas intrusivas que predominan en el fondo de valle y en la microcuenca glaciar.

##### **Depósitos Morrénicos:**

Estos depósitos son característicos de la sedimentación glaciar que se producen por la acumulación de fragmentos de roca y arcilla (tillitas), transportados y depositados por un glaciar. Las morrenas forman crestas y lomas alargadas, ubicadas en la zona del frente glaciar. Dada la importancia de ésta unidad en la zona de estudio, se dividirá en dos sub-unidades.



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



Fotografía N° 02: Morrena lateral derecha, compuesta exclusivamente por clastos de roca intrusiva del Batolito de la Cordillera Blanca.

Los depósitos morrénicos, tanto los de fondo de valle glaciar como las morrenas colgantes presentes en la zona de estudio, pertenecen a la edad holocena (0.01 M.A.); estos depósitos son producto de la acción y retroceso de los glaciares de los nevados. Las morrenas se caracterizan por ser carentes de estratificación y no ser muy consolidadas. (ver fotografías N°02 y 03).



Fotografía N° 03: Morrena lateral izquierda, compuesta inicialmente por pizarras y arcillas provenientes de la Formación Chicama.



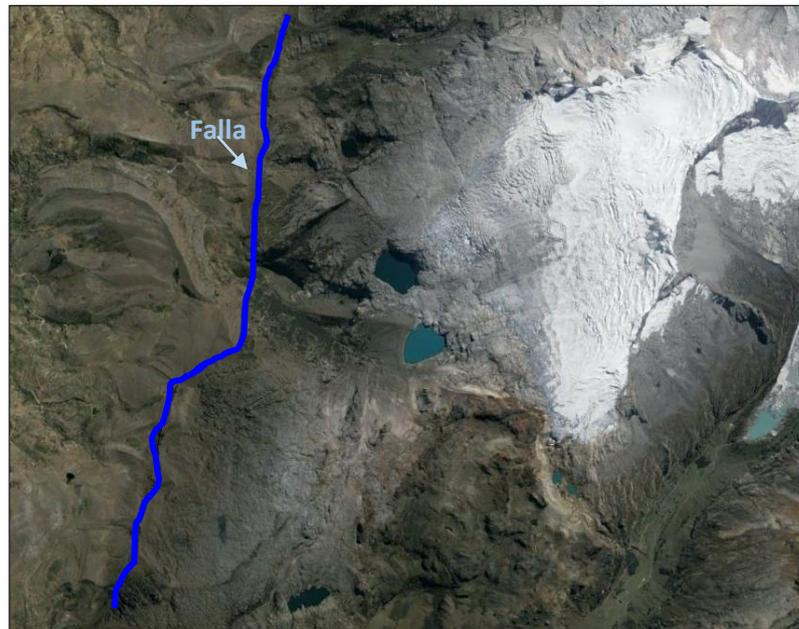


Figura N° 04: Vista satelital de la falla regional de la Cordillera Blanca.

### 4.3 Geomorfología

#### Condiciones de Estabilidad

Las formaciones de morrenas, es uno de los sedimentos más variables y el principal producto de la acción glacial. Se compone de distintos materiales que han sido incorporados durante la abrasión de taludes y sustratos. Su estructura depende de la posición en la cual fue transportado, el modo de deposición y sus cambios diagenéticos, pudiendo variar desde una morrena densa de matriz no plástica a una morrena arcillosa de baja consistencia. Geotécnicamente cabe diferenciar morrenas basales fuertemente pre consolidado y morrenas de fusión que se asemejan más a arcillas normalmente consolidadas.

#### Geodinámica de la Microcuenca

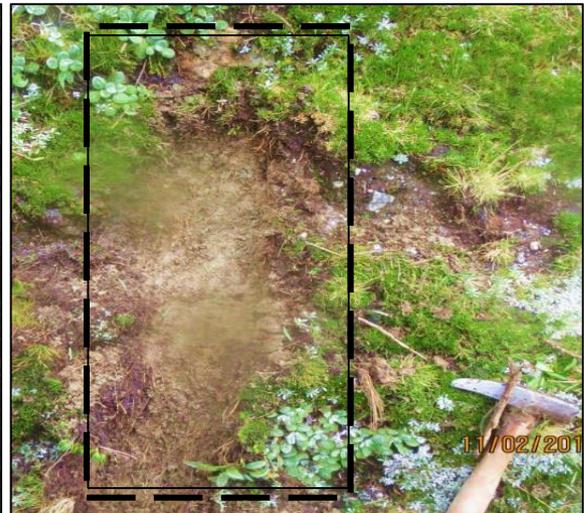
Teniendo presente el dinamismo existente de la cuenca glacial, área, que en términos geológicos, está sujeta a una continua evolución de la cadena andina junto a la Zona de Falla de la Cordillera Blanca, imponen características y aspectos relativamente diferentes o cambiantes años tras año. Esta microcuenca está relacionada a:

**Perfil Estratigráfico** Este registro se toma teniendo en cuenta al modo en que yacen o están dispuestos los materiales que se encuentran presente, sean suelos o rocas, lo que determina plasticidad, granulometría, presencia de agua etc., a su vez

esto servirá para relacionarlo a la estabilidad o inestabilidad de los terrenos, así por ejemplo, en capas gruesas, delgadas, intercaladas, o alternadas con estratos macizos blandos, deleznales, permeables o impermeables para esta evaluación se tomó registro de las paredes de la morrena frontal recopilando información detallada, elaborando una prospección geológica de campo, habiéndose realizado hasta dos perfiles estratigráficos (ver fotografías N°04 y 05).



Fotografía N° 04: Se observa un material mixto compuesto principalmente de gravillas de litología granodiorítica intercalada con presencia de materiales finos como limos y arenas.



Fotografía N° 05: Estrato muy húmedo con presencia de filtraciones formado de materiales más finos predomina, el limo y gravilla limosa, incluso pequeños estratos de arcillas semi compactas en forma tabloide.

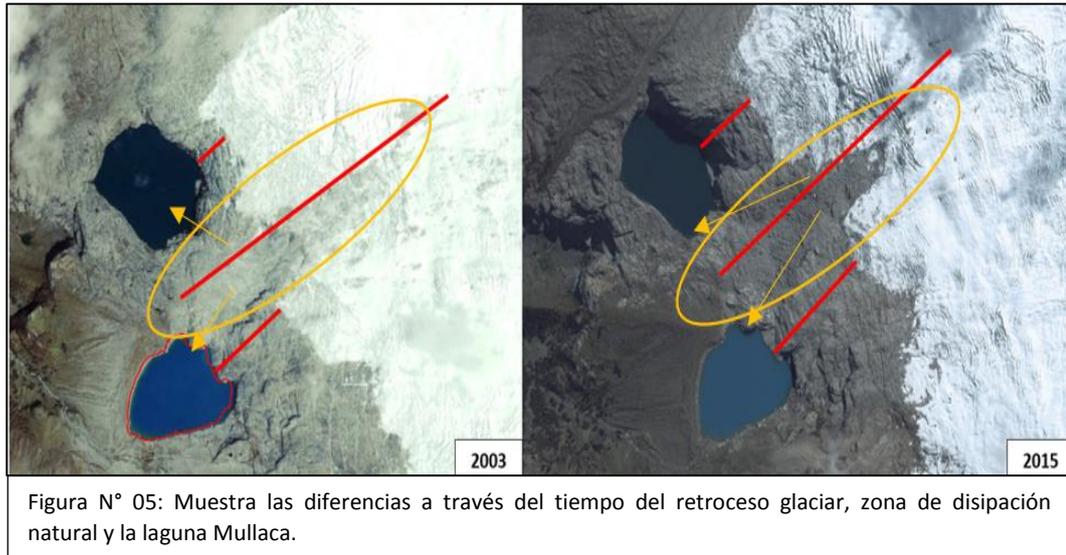
## V. GLACIARES

El frente glaciar del lado oeste del Nevado Vallunaraju está visiblemente alejado de la zona posterior de la laguna.

Para el año 2003 las distancias del glaciar respecto a la laguna Mullaca, se aproximaba en 340 metros, al año 2015 la distancia se aproxima en 470 metros, en los puntos de medición de las imágenes siguientes, es importante considerar que hay un aporte de material rocoso en medio de la laguna Mullaca y Carhuacraju, provocado por el desmoronamiento de material de la base del glaciar ejercido por presión del hielo y los cambios de temperatura superficial en la superficie glaciar, esto a través del tiempo aporta material rocoso en la parte central divisoria de las lagunas (ver figura N° 05).

La superficie glaciar aproximada en la cabecera de las lagunas Mullaca y Carhuacraju es de 4.76 Km<sup>2</sup>.

La zona posterior de la laguna Mullaca cuenta con una zona de disipación natural, se trata de la formación de un vaso receptor constituida íntegramente en roca y que hasta la fecha ha servido de contención natural ante eventos de avalanchas de hielo y roca (ver fotografía N° 06).



El glaciar Vallunaraju, es considerado un glaciar de montaña y es importante aclarar que el frente glaciar que presenta, cada vez se encuentra a mayor altura producto del retroceso glaciar (ver fotografías N°07 y 08).



Fotografía N° 07: Contacto de material desplazado en contacto con la laguna Mullaca.



Fotografía N° 08: Muestra la zona de desprendimiento de rocas del glaciar.

Durante las estaciones cálidas, liberan agua de deshielo, y crean cuerpos de agua importantes para la fauna y la flora, sin dejar de lado su utilidad para los seres humanos. La lengua glaciar proveniente del Vallunaraju, cuenta cómo se puede observar claramente, de zonas de mayor dinámica, aclarando que fue posible identificar las zonas de acumulación, ablación y la línea de equilibrio (ver figura N° 06).

También, es posible identificar a través del tiempo, que se ha ido marcando un proceso de desprendimiento de grandes bloques de roca y hielo de la lengua glaciar, en la parte central de la lengua entre las lagunas Mullaca y Carhuacraju (ver figura N° 07).

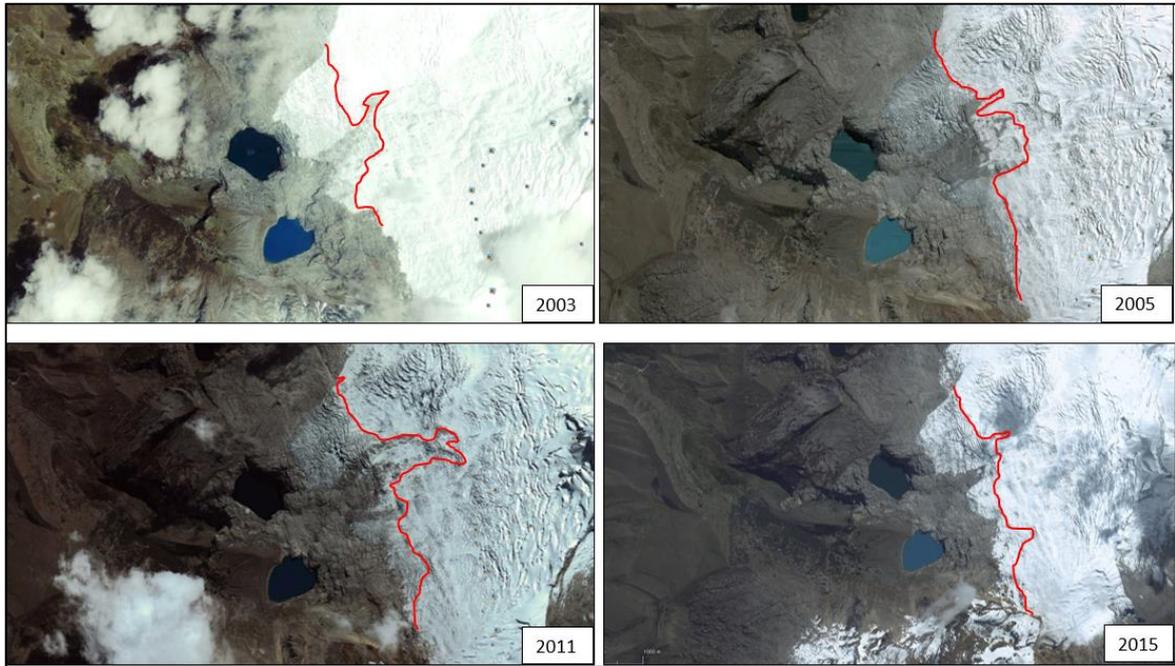


Figura N° 06: Muestra las zonas con mayor dinámica glaciar y los cambios a través del tiempo de la lengua glaciar del Vallunaraju a la laguna Mullaca.

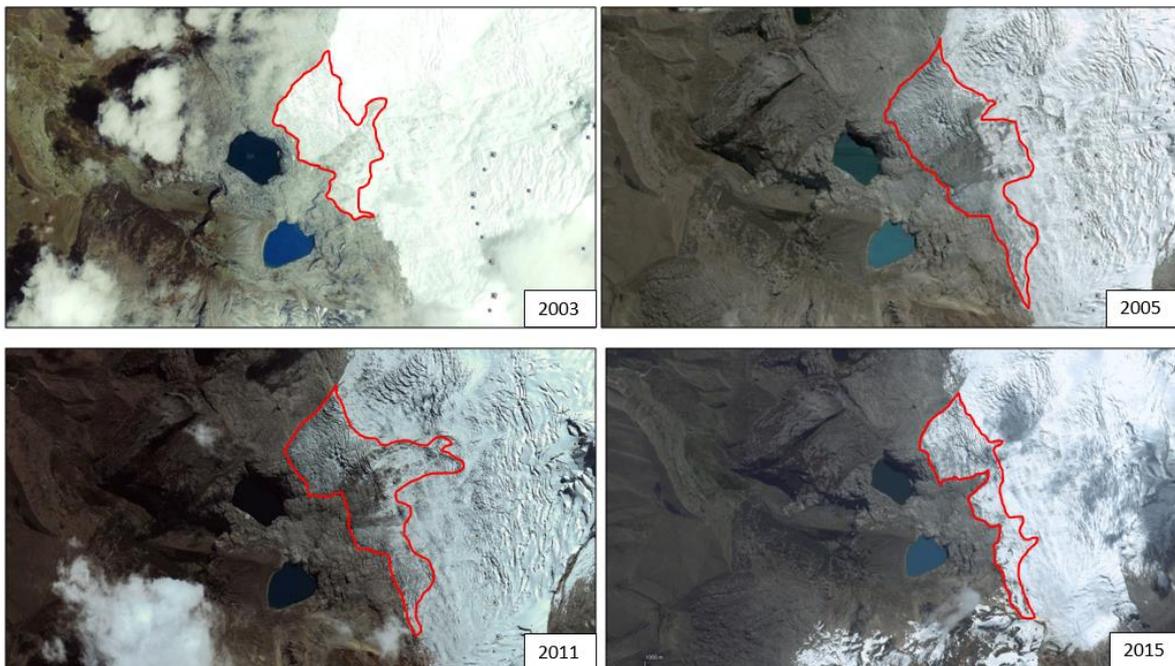
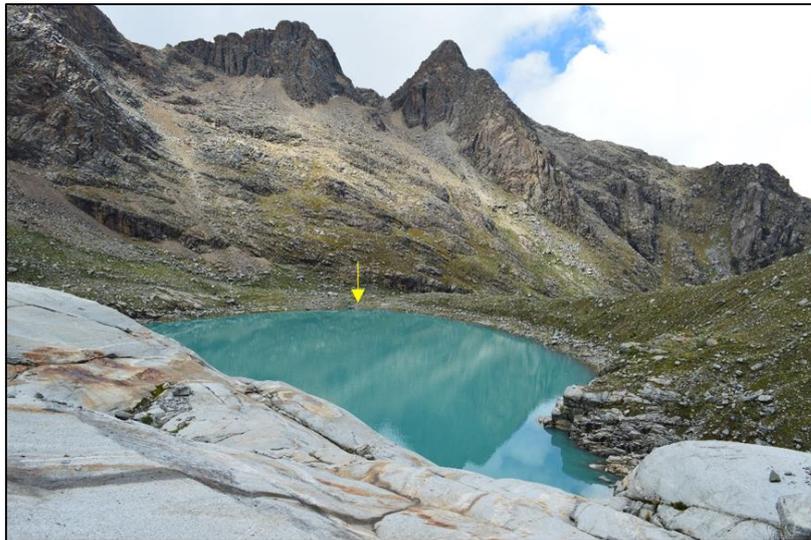


Figura N° 3: Muestra las zonas con mayor dinámica glaciar, observándose también el proceso de deslizamiento de material mixto de roca y hielo, sobre la lengua glaciar.

## VI. LAGUNAS

### Descripción General

El vaso de la laguna está constituido en roca tanto en la zona posterior como en los flancos, la zona frontal y parte del flanco derecho evidencia la presencia de una cresta en material morrénico, queda por determinar la profundidad en la que se encuentra la roca en la zona frontal, esto con la finalidad de conocer el grado de vulnerabilidad de la laguna Mullaca ante posibles avalanchas (ver fotografías N° 09 y 10).



Fotografía N° 09: Vista desde la zona posterior, se aprecia la zona de desagüe de la laguna Mullaca, así como los flancos y la zona frontal del mismo.



Fotografía N° 10: Zona de desagüe de la laguna Mullaca, vista desde el dique. También se aprecia la zona de disipación natural ubicada en la zona posterior de la laguna.

La zona de desagüe de la laguna Mullaca cuenta con una obra de seguridad (dique) con las siguientes características: Canal de aducción: 20.0 m., sección de conducto: 0.85 x 0.80 m (ver fotografía N°11).

Es posible observar el ducto de desfogue por la parte posterior de la laguna y el canal de desagüe (ver fotografías N°12, 13 y 14).

Dique artificial, borde libre: 3.00 m., ancho: 6.70 m y largo: 28.0 m.



Fotografía N° 11: Canal de ingreso y dique de seguridad de la laguna Mullaca.



Fotografía N° 12: Canal de salida.



Fotografía N° 13: Canal de salida y rápida de la laguna Mullaca.



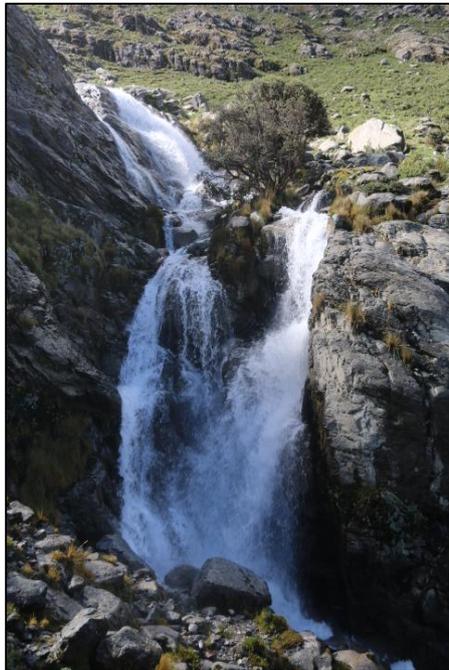
Fotografía N° 2: Canal de salida (Rápida) de la laguna Mullaca.



## VII. ECOSISTEMAS

En la parte alta de la subcuenca se observa ecosistemas que aportan importantes servicios ambientales, enfocados desde el punto de vista social, productivo, económico y ambiental; se puede mencionar los más importantes como los glaciares y lagunas, encontrándose un paisaje con poca vegetación propia de un reciente retroceso glaciar, se observa especies de flora propias de la puna (ver fotografía N°15).

Los ecosistemas que guardan relación directa con la identificación de peligros y evaluación del potencial hídrico son los glaciares y las lagunas, sin embargo los bofedales, los pajonales y los bosques relictos son importantes por el gran potencial hídrico que representan y como hábitats de un sin número de especies de flora y fauna que representan una gran biodiversidad (ver fotografías N°15 y 16).



Fotografía N° 3: Se observa las fuertes pendientes que producen caídas de agua en cascada.



Fotografía N° 4: Se observa los bosques de quenual en el trayecto de la quebrada y un poco del bofedal en la zona baja.



En la subcuenca del río Mullaca, durante los trabajos de campo se ha observado que los nevados representan una variable ambiental, por constituir importantes fuentes de agua almacenada en grandes masas de hielo que en forma permanente alimentan los torrentes y quebradas que sirven para garantizar las diferentes actividades que se desarrollan en la parte baja de la subcuenca.

Es importante mencionar la 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 de origen glaciar, que podrían originar aluviones causando grandes daños en la parte baja de la subcuenca, sin embargo como se ha explicado y mostrado a través del informe, la peligrosidad de moderada a baja, dado que el retroceso glaciar ha permitido que el frente de la lengua glaciar se encuentre bastante lejana a la laguna.

De igual manera, las lagunas de origen glaciar formadas al pie de los frentes glaciares, constituyen 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 hidrología de la subcuenca del río Mullaca, se rige principalmente por dos aspectos, época húmeda y época seca, tal como demuestran los estudios regionales, estas épocas son bien marcadas en el ámbito de la Cordillera Blanca. Los glaciares muestran fuerte influencia en la época seca (mayo – agosto), el aporte hídrico producto de la fusión de los glaciares es altamente significativo en dichos meses.

El sistema hidrológico de la subcuenca del río Mullaca, está conformado en primer lugar por el aporte de los glaciares que son fuente principal en los meses de época seca (mayo – agosto), glaciares ubicados en el lado oeste del nevado Vallunaraju, además por el agua almacenada de forma natural en las lagunas Carhuacraju y Mullaca, y finalmente por el bofedal ubicado aguas abajo de las lagunas que funcionan como agentes de atenuación y regulación del agua que ingresa al subsuelo, liberando agua de forma lenta durante los procesos de recesión de los caudales.

La laguna Mullaca desde el punto de vista hidrológico es un reservorio natural que cumple la función de colector de los escurrimientos provenientes tanto de la fusión de los glaciares como de la escorrentía producto de las precipitaciones.

## IX. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

### 9.1 Condiciones de peligrosidad en glaciares

Existen evidencias de una avalancha mixta de hielo y roca que probablemente pasó desapercibida por la población, dado que el volumen de escombros se depositó en una depresión rocosa en la zona posterior de la laguna Mullaca (ver fotografía N°17).



Fotografía N° 5: Frente glaciar más cercano, los fragmentos llegan directamente hacia la zona de disipación natural sin poner en peligro la estabilidad de la laguna Mullaca, abajo del curso de agua hacia la laguna.

Se ha realizado una estimación de masas de hielo colgantes que se podrían considerar peligrosas en el caso se produjera el desprendimiento o deslizamiento de alguno de estas masas de hielo (ver tabla N°01 y figura N° 08).



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

Las masas de hielo identificadas como posibles a desprenderse o deslizarse, se encuentran identificadas en el cuadro y mapa (ver fotografías N° 18, 19 y 20).

BLOQUES	AREA (m <sup>2</sup> )	H MAXIMA	H MINIMA	D (Km)	AREA (m <sup>2</sup> )	volumen (m <sup>3</sup> )	$\alpha$	$\tau$ (bar)	$\tau$ (Pa)	$\Delta H$
BM_01	6832.257	5006	4979	0.04	0.007	68322.57	34.02	0.05	4.783	0.03
BM_02	5269.13	5056	5036	0.05	0.005	52691.3	21.8	0.04	3.679	0.05
BM_03	3940.405	4970	4950	0.05	0.004	39404.05	21.8	0.04	3.679	0.02
BM_04	1910.913	4964	4951	0.03	0.002	19109.13	23.43	0.03	2.57	0.01
BM_05	1467.151	4936	4922	0.03	0.001	14671.51	25.02	0.03	2.729	0.01
BM_06	33027.941	5161	5098	0.18	0.033	330279.41	19.29	0.1	10.395	0.06
BM_07	10245.482	4933	4917	0.05	0.01	102452.82	17.74	0.03	3.046	0.02
BM_08	35900.702	4928	4882	0.13	0.036	359007.02	19.49	0.08	7.759	0.05
BM_09	6362.023	5482	5445	0.06	0.006	63620.23	31.66	0.06	6.353	0.04
BM_10	1543.551	5498	5476	0.04	0.002	15435.51	28.81	0.04	3.995	0.02
BM_11	8728.52	5326	5304	0.06	0.009	87285.2	20.14	0.04	3.995	0.02
BM_12	6445.089	4837	4804	0.09	0.006	64450.89	80.22	0.72	72.063	0.52

Tabla 1: Volúmenes de masas de hielo colgantes, estimados en el glaciar Vallunaraju 2016.

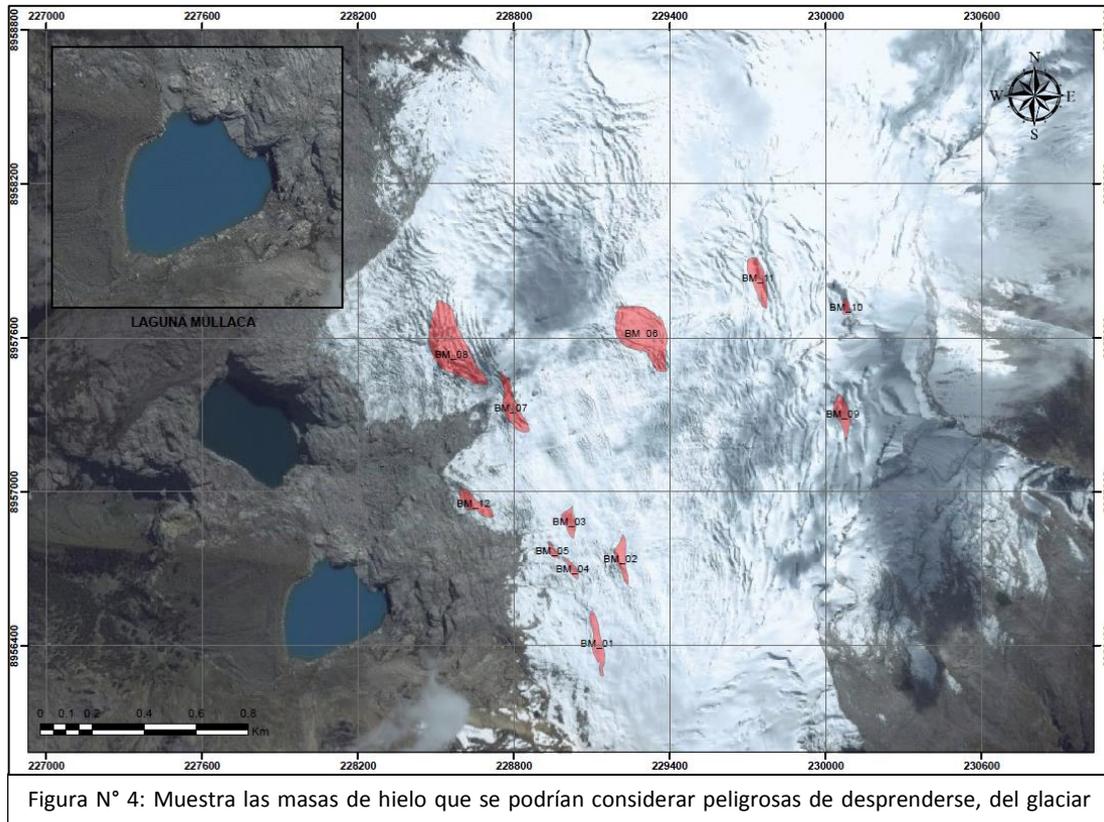


Figura N° 4: Muestra las masas de hielo que se podrían considerar peligrosas de desprenderse, del glaciar



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



Fotografía N° 6: Masas de hielo colgante N°08 en el Mapa.



Fotografía N° 7: Masa de hielo colgante del bloque N°07 en el mapa.



Fotografía N° 8: Masa de hielo colgante del bloque N°07 en el mapa.



Fotografía N° 9: Masa de hielo colgantes del bloque N°12 en el mapa.

## 9.2 Condiciones de Peligrosidad en la Laguna

La laguna Mullaca posee un vaso mixto (roca y morrena), queda por determinar el porcentaje de cada uno, especialmente en la zona frontal, sin embargo es posible apreciar los afloramientos de roca en las zonas laterales, se recomienda realizar estudios geofísicos para determinar la profundidad a la que se encuentra la morrena en contacto con el lecho de roca.

La zona de desagüe está constituida por material morrénico consolidado, esta conclusión se da gracias al indicador de cobertura vegetal existente en el lugar.

## X. CONCLUSIONES

- Por las características actuales del frente glaciar hacia la laguna Mullaca, se concluye que a la fecha esta laguna no representa peligro, podemos catalogar una peligrosidad mediana a baja y una reducida probabilidad de ocurrencia de avalanchas que comprometan la estabilidad del vaso de la laguna.
- La obra de seguridad, y el conducto de desagüe trabajan con normalidad.
- Existe presencia de masas de hielo colgantes en la parte superior del glaciar Vallunaraju, las cuales están alejadas de la laguna.

## XI. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios de geofísica que permitan detallar la estructura completa del vaso en la zona frontal, así como para determinar la profundidad a la que se encuentra la morrena en contacto con el lecho del substrato rocoso.
- Realizar estudios de modelamiento de avalanchas hacia la laguna Mullaca.
- Se debe ejecutar tareas de mantenimiento y limpieza de la estructura de control, canal de desagüe, dado que se encuentran con elementos que obstruyen el ducto de salida.



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”

- Realizar estudios de batimetría, para actualizar la información y verificar si existen cambios en el volumen desde el 2006.
- Instalación de un limnógrafo automático en el canal de salida y un pluviómetro automático en inmediaciones, que nos permitiría cuantificar el aporte hídrico del glaciar hacia la laguna.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA - UGRH. (2014). Inventario de Glaciares de la Cordillera blanca. Huaraz: UGRH - ANA.

Francou & Pouyaud. (2004 - a). Métodos de observación de glaciares en los Andes tropicales. Curso 1:Definiciones – Fluctuaciones - Balance de masa - Dinámica - Balance mensual.(23), 29.

Francou & Pouyaud. (2008 - b). Balance de Masa de un Glaciar. pdf, publicacion.

Frank, P. &. (2012). Modeling of glacier bed topography from glacier outlines, central branch lines, and a DEM. International Journal of Geographical Information Science, 1-18.

IPCC. (2001). Glosario de Términos: Anexo B, Tercer Informe de Evaluación. IPCC, 198.

Martinez, P. (2006). Procedimiento de topografía. Panama: Universidad Tecnologica de Panama.

Morales, B. (2014). Vocabulario Técnico en Investigación en Glaciares / INAIGEM. Huaraz: INAIGEM.

National Snow and Ice Data Center, (NSIDC - NASA). (2012). All about Glaciers: The Life of a Glacier; Glaciers Glosary. NSIDC: NASA Earth Observatory Reference: Global Warming., 1.

Zamaripa, M. (2010). Apuntes de topografía. Madrid: Facultad de Estudios Superiores Aclatan.



## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**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.



**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.

**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.