



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 LAS LAGUNAS 513, COCHCA y RAJUPAQUINAN CON FINES DE SEGURIDAD Y APROVECHAMIENTO

Cordillera Blanca, Provincia de Carhuaz, Región Ancash

INFORME TÉCNICO N° 04



Huaraz, Abril 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. Daniel Colonia Ortiz
Ing. Roque Vargas Huamán
Ing. Edwin Tuya León



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

INDICE

	Pág.
RESUMEN.....	4
I. GENERALIDADES.....	6
1.1 Introducción.....	6
1.2 Antecedentes	6
1.3 Objetivos	7
1.3.1 Objetivos generales.....	7
1.3.2 Objetivos específicos.....	8
1.4 Ubicación y acceso	8
II. METODOLOGÍA	10
2.1 Fase preliminar de gabinete	10
2.2 Fase de campo	11
2.3 Fase final.....	11
III. DESCRIPCION GEOGRÁFICA.....	12
IV. GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGIA	13
4.1 Geología Regional.....	13
4.2 Geología local	13
4.3 Geomorfología regional	15
4.4 Geomorfología local	15
V. GLACIARES	18
5.1. Características de los glaciares:.....	18
VI. LAGUNAS.....	20
6.1. Descripción general de lagunas	20
VII. ECOSISTEMAS	27
VIII. HIDROLOGIA	29
IX. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS	30
9.1 Condiciones de peligrosidad en glaciares	30
9.2 Condiciones de peligrosidad en lagunas	34
X. CONCLUSIONES	39
XI. RECOMENDACIONES	40
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	41
GLOSARIO DE TERMINOS.....	42



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

RESUMEN

El retroceso acelerado de los glaciares ha producido la formación de lagunas nuevas, que de acuerdo a su evolución, características aledañas y la presencia de población aguas abajo permiten definir como lagunas peligrosas. Estas lagunas fueron el origen de aluviones en cuencas glaciares del Perú, ocasionando flujos de escombros con gran alcance y poder destructivo.

Dentro del programa de actividades 2016, el INAIGEM ha programado la inspección técnica de glaciares y lagunas, con el objetivo de caracterizar las condiciones actuales de glaciares y lagunas, estimando el nivel de peligrosidad de estos.

Los trabajos de campo, se sustentan en la toma de datos insitu, resaltando los aspectos físicos de lagunas y glaciares en el nevado Hualcán, mediante el uso de imágenes de satélite y toma de Fotografías. Además se usó modelos digitales de elevación, para facilitar la interpretación visual de imágenes, complementada con información de otros estudios en la subcuenca Chucchún.

En base a las características físicas y condiciones de los alrededores observadas en campo se estimó el nivel de peligrosidad (calificación cualitativa) de las lagunas en la subcuenca Chucchún. La laguna 513 fue definida con moderado nivel de peligrosidad, porque se identificó glaciares colgantes que podrían generar avalanchas sobre la laguna y a su vez oleajes con desborde, pero tiene un dique de roca con borde libre de 20-23 m, que protege y da estabilidad en condiciones normales a esta laguna; cerca del dique de roca, se ha implementado un Sistema de Alerta Temprana (SAT), para monitorear en forma permanente la ocurrencia de eventos sobre esta laguna. La laguna Cochca ha sido considerada con nivel de peligrosidad de moderado a alto, porque se ha identificado glaciares colgantes y la morrena terminal externa presenta erosión y varias filtraciones que podría condicionar su inestabilidad. Mientras que la laguna Rajupaquinan fue definida como peligro bajo, porque depende de un posible desbordamiento y erosión de la morrena terminal de la laguna Cochca.

Los factores detonantes identificados son los glaciares colgantes por la ocurrencia frecuente de avalanchas, el volumen actual de las lagunas, las pendientes pronunciadas entre glaciares-lagunas y la baja estabilidad de las morrenas en la laguna Cochca, los cuales requieren ser monitoreados con cierta frecuencia.



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

También se identificó un potencial peligro por la formación de una laguna futura en el glaciar Rajupaquinan que afectaría aguas abajo a la laguna Rajupaquinan, ocasionando un posible desbordamiento y erosión de la morrena superficial en el dique mixto (morrena y roca).



I. GENERALIDADES

1.1 Introducción

El retroceso acelerado del glaciar por efecto del cambio climático (calentamiento global), la formación de lagunas nuevas y desestabilización de los frentes glaciares con pendientes pronunciadas, ha ocasionado procesos de movimiento de masa, afectando poblaciones e infraestructuras en muchas zonas de alta montaña en las diferentes cordilleras nevadas del Perú.

A lo largo de la historia, la cordillera Blanca ha sido escenario de muchos eventos catastróficos y gran parte fueron ocasionados por el desbordamiento de lagunas o ruptura de sus diques de tipo morrénico, produciendo grandes flujos de escombros (aluviones) con gran alcance y poder destructivo. En ese contexto es importante realizar una evaluación de los riesgos que significan las lagunas de origen glaciar, evaluando el estado actual de los glaciares y el nivel de peligro de las lagunas.

En la programación de metas físicas 2016 del Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña, se programó las visitas de inspección técnica en lagunas de origen glaciar denominadas peligrosas en la Cordillera Blanca para su evaluación.

El presente informe describe los resultados de la inspección técnica realizada en las lagunas 513, Cochca y Rajupaquinan los días 16 y 17 de marzo de 2016, estimando las condicionantes de inestabilidad y detonantes que determinen su nivel de peligrosidad.

1.2 Antecedentes

En la década de 1980 el glaciar inventariado con el número 513-A, desapareció por el retroceso glaciar, originando la laguna denominada laguna 513 que desde entonces se denominó peligrosa.

En la quebrada Chucchún, se encuentran ubicadas 3 lagunas: la 513, Cochca y Rajupaquinan, que tienen aporte hídrico de los glaciares Cocha y Rajupaquinan; las lagunas Cochca y Rajupaquinan han sido intervenidas con trabajos de seguridad en el año 1953 que consistió en desaguar la laguna a través del tajo (excavación a cielo abierto) lográndose bajar el nivel del agua en 30 y 20 m respectivamente.



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

En el año 1993 la laguna 513 se bajó el nivel del agua en 20 m usando túneles de descarga a través de la ingeniería tradicional.

En el año 2010 hubo una avalancha de roca y hielo que impactó en la laguna y el oleaje sobrepasó el dique natural de roca existente con borde libre de 20 m, ocasionando un aluvión que afectó aguas abajo la infraestructura civil que se ubicaba en la planicie de Pampa Shonquil. Este evento destruyó la captación de agua potable de la ciudad de Carhuaz, puentes y zonas agrícolas y a lo largo del río Chucchún hasta desembocar al río Santa.

El desborde de la laguna 513, ocurrido el 11 de abril de 2010, dio lugar a la gestión de la subcuenca Chucchún a través de la creación de Proyecto Glaciares, ejecutado por la Universidad de Zúrich y Care Perú con el financiamiento de la Cooperación Suiza para el desarrollo. El proyecto tuvo como objetivo la adaptación al cambio climático y la gestión de riesgos de desastres. En relación a los peligros identificados en las lagunas se realizó el modelamiento de aluviones (escenarios) de la laguna 513 (Schneider et al, 2014) que permitió comprender los procesos que originó el aluvión (avalancha de hielo y roca, onda de impacto, oleaje, desbordamiento de la laguna y finalmente el aluvión de agua y flujos de escombros). Entre los resultados obtenidos fueron la elaboración de un mapa de peligros, zonas de evacuación y la implementación de un Sistema de Alerta Temprana (SAT). De este modo, se evalúa y monitorea las condiciones de peligrosidad de la laguna 513 por la Municipalidad de Carhuaz e instituciones relacionadas a la gestión de riesgos de desastres para toma de acciones anticipadas aguas abajo de la quebrada Chucchún.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivos generales

- Presentar los resultados de la inspección técnica, resaltando las características físicas actuales de las lagunas 513, Cochca y Rajupaquinan y las condiciones de los glaciares.
- Describir en forma general las características geológicas y geomorfológicas de la subcuenca del río Chucchún y el análisis hidrológico en el entorno de las lagunas 513, Cochca y Rajupaquinan.



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

1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar peligros de origen glaciar relacionados a la generación de avalanchas que podrían caer sobre las lagunas, originando oleajes y desborde con grandes daños en la parte baja de la subcuenca del río Chucchún.
- Estimar el nivel de peligrosidad de las lagunas 513, Cochca y Rajupaquinan en relación a la situación actual de taludes de las morrenas laterales.
- Evaluar las características físicas de las morrenas ubicadas en el entorno de las lagunas.

1.4 Ubicación y acceso

Ubicación

Las lagunas 513, Cochca y Rajupaquinan, se ubican al pie del nevado Hualcán (6125 m.s.n.m.). Hidrológicamente corresponden a la vertiente del Pacífico, cuenca del río Santa y subcuenca del río Chucchún que drena sus aguas sobre la margen derecha del río Santa. Políticamente pertenecen al distrito y provincia de Carhuaz (ver figura N° 01).

Las coordenadas UTM Datum WGS 84, y altitudes son¹:

Laguna 513 Norte: 8980740 m Este: 219876 m Altitud: 4472 m.s.n.m.

Laguna Cochca Norte: 8980195 m Este: 220425 m Altitud: 4550 m.s.n.m.

Laguna Rajupaquinán Norte: 8979627 m Este: 219431 m Altitud: 4097 m.s.n.m.

¹ Fuente: UGRH - ANA, (2014)



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

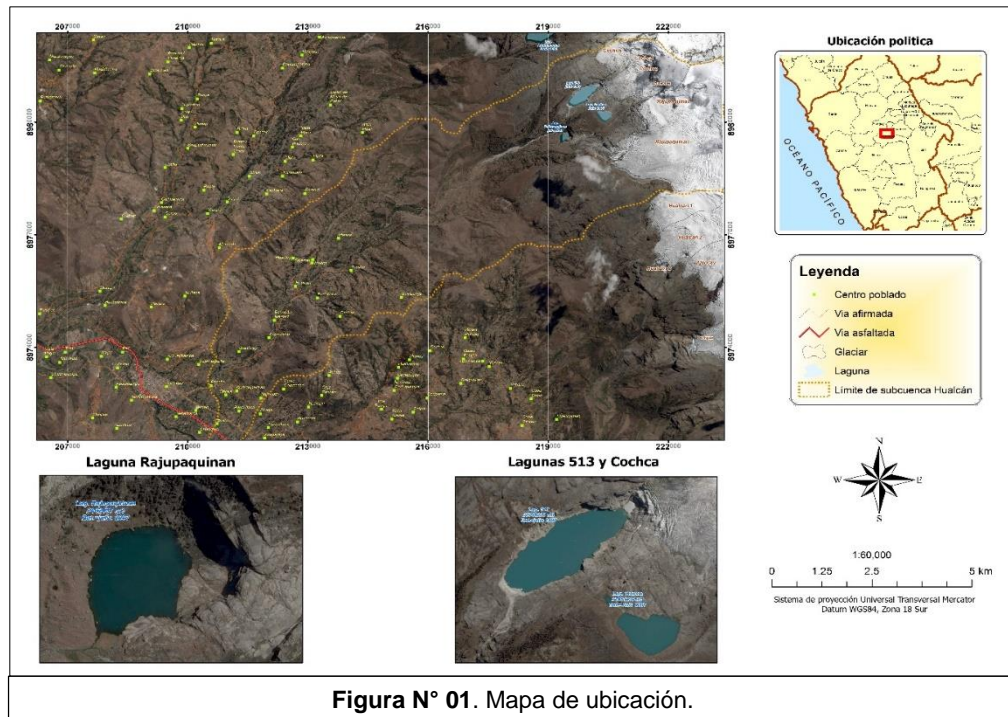


Figura N° 01. Mapa de ubicación.

Acceso

Desde la ciudad de Huaraz se viaja por vía asfaltada hasta Carhuaz, recorriendo 35 km, luego se continúa por carretera afirmada hasta Pampa Shonquil a lo largo de 15 km. Desde esta planicie, existe un camino de herradura de 5 km que demanda aproximadamente 3 h de caminata hasta la laguna Rajupaquin, de donde se sigue un camino de herradura de 1,5 km por 2,0 h. para llegar a la laguna Cochca; desde esta laguna se continúa aproximadamente 0,7 km por 0,5 h sobre la morrena para llegar a la laguna 513 (ver cuadro N° 01).



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

Cuadro N° 01. Vías de acceso, laguna 513.

Tramo	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo de recorrido (h)	Medio de Transporte
Huaraz-Carhuaz	Asfaltado	35	0:30	Vehículo motorizado
Carhuaz–Pampa Shonquil	Carretera afirmada	15	1:30	Vehículo motorizado
Pampa Shonquil-Laguna Rajupaquinan	Camino de herradura	5	3:00	A pie
Laguna Rajupaquinan a Laguna Cochca	Camino de herradura	1,5	2:00	A pie
Laguna Cochca a Laguna 513.	Camino de herradura	0,7	0:30	A pie
Distancia total		57,2	7:30	

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 preliminar de gabinete

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 las lagunas, así como de las estructuras hidráulicas, estableciéndose preliminarmente el análisis de las condiciones glaciológico-hidrológicas de las lagunas en base a lo cual se han construido las obras de seguridad.



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

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 las morrenas en las diferentes lagunas; 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 las lagunas. 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 las lagunas, utilizando las fotografías tomadas en campo y la observación realizada se hicieron composiciones que facilitaron la interpretación de las condiciones actuales de las lagunas y las morrenas.



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

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 las lagunas, las morrenas y el frente glaciar. Lo cual permitió estimar los niveles de peligro y el área de afectación.

Evaluación hidrológica de las lagunas:

Se analizó la información existente y se tomó información de caudales en base a lo cual se evaluó las obras de seguridad 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, lagunas, ecosistemas, aspectos hidrológicos y evaluación de peligros de la zona del área de interés.

III. DESCRIPCION GEOGRÁFICA

La subcuenca del río Chucchún se ubica en la Cordillera Blanca, área glaciar de mayor extensión en los trópicos (>40%), perteneciente al ramal occidental de los Andes del Norte del territorio peruano; Las pendientes se caracterizan por ser fuertes en las zonas próximas a los nevados. A lo largo de las quebradas, las laderas tienen pendientes de fuerte a moderadas. En los fondos de valle las pendientes son suaves, conformando superficies plano onduladas con pasturas 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.

La subcuenca Chucchún se ubica en el flanco occidental, zona central de la Cordillera Blanca, entre las coordenadas UTM 209764 m - 223735 m Este y 8970944 m - 8982495 m Norte. Esta subcuenca es una de las 25 subcuencas que confluyen a la cuenca del río Santa. Su altitud varía de los 2600 m.s.n.m. a los 6125 m.s.n.m. y tienen un área aproximada de 55,5 km², de las cuales aproximadamente el 16,7% está cubierto de glaciar. Esta subcuenca limita al norte con la subcuenca del río



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

Buin, al noreste con el nevado Hualcán, por el sur limita con la subcuenca del río Ucucharure y por el suroeste con el río Santa.

Considerando que la subcuenca Chucchún no dispone de un registro histórico de los parámetros climáticos (precipitación y temperatura), se realizó la regionalización de los datos a partir de estaciones e imágenes de satélite.

Según Villanueva, (2014) se realizó la regionalización (interpolación) de la precipitación a partir de datos confiables y externos a la subcuenca Chucchún. La precipitación anual varía de 250 mm a 1000 mm, siendo los meses de estiaje entre mayo y agosto, y la máxima precipitación se observa en el mes de marzo. En el caso de la temperatura se realizó la reconstrucción a partir de datos de re-análisis de la NOAA/NCEP, donde se aplicó la regionalización de datos en la subcuenca. En esta reconstrucción se estimó las temperaturas medias anuales para el periodo de 1979-2010 por zonas. Varía entre 16 y 18 °C para la zona baja, entre 13 y 15 °C para zona media y entre 3 y 4 °C para la zona alta.

IV. GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGIA

4.1 Geología Regional

En la subcuenca del río Chucchún, se observa rocas sedimentarias e ígneas, cubiertas por sedimentos cuaternarios de origen glaciar, resaltando las rocas ígneas de magnitud batolítica que se distribuyen en la parte alta de la subcuenca y entorno del nevado Hualcan.²

Regionalmente, se consideran las unidades estratigráficas representadas por el Grupo Goyllarisquizga, la Formación Yungay, los depósitos fluvioglaciares y depósitos aluviales, así como las rocas ígneas de tipo granodiorítico-tonalítico.

4.2 Geología local

Litológicamente, las tres lagunas inspeccionadas se encuentran con características diferentes: La laguna 513 está constituido por un vaso de roca maciza de origen ígneo, compuesto predominantemente de granodiorita con colores claros y fuertemente fracturado en forma local y regional (ver fotografía N° 01); tanto la cabecera como los taludes laterales de esta laguna se encuentran en buenas condiciones de estabilidad, observando un reducido

² INGEMMET, Carta Geológica Nacional.

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

aporte de material sólido hacia la laguna originado por intemperismo y meteorización en forma local, mientras que hacia el borde libre de desagüe, predomina un fuerte afloramiento rocoso que brinda una buena estabilidad al vaso. A 23 metros por debajo del borde libre de este frente, se ha construido un túnel de desagüe de la laguna, para evitar desbordes en caso de ocurrencia de avalanchas y oleajes fuertes como el que ocurrió en el año 2010, sin embargo por la presencia de glaciares colgantes hacia la cabecera y en la parte alta de la laguna, los especialistas han propuesto la construcción de otro túnel a 30 metros por debajo del nivel del túnel actual, con la finalidad de incrementar 10 metros de borde libre para mejorar la seguridad de la laguna y 20 metros para almacenar aproximadamente 4 millones de metros cúbicos de agua que podrían cubrir la demanda de agua en épocas de estiaje.



Fotografía N° 01. Roca intrusiva tipo granodiorita, con abundante presencia de bandeamiento silíceo por enriquecimiento secundario. La roca es de buena competencia, pero se encuentra fuertemente fracturada en forma local y regional. El intemperismo y la meteorización originan bloques y fragmentos de diferente dimensión.

La laguna Cochca, conforma un vaso mixto, la mitad de esta laguna se encuentra sobre afloramiento rocoso tipo granodiorita incluyendo la boquilla de salida y la otra mitad se encuentra controlado por un dique morrénico semicircular de 25 a 30 metros de altura, la misma que se encuentra fuertemente erosionado hacia el talud externo, donde se notan ciertos niveles de filtración y derrumbes locales. Esta laguna es potencialmente peligrosa por considerarse que la morrena circular se encuentra sobre un plano inclinado rocoso que podría favorecer su deslizamiento y rápida erosión en caso de presentarse sismos de considerable magnitud; en tal sentido es recomendable un monitoreo permanente por la presencia de lenguas glaciares colgantes en la



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

parte alta de la laguna y la fuerte erosión en la base de la morrena que controla esta laguna.

La laguna Rajupaquinan, es de menor dimensión que la 513 y Cochca, tiene poca profundidad y se encuentra formando un vaso mayormente sobre una morrena erosionada de baja altura, con fragmentos gruesos y depósitos semiconsolidados; está limitado por afloramiento de roca hacia la cabecera y la margen izquierda, teniendo aporte hídrico principalmente por filtración desde la base de la laguna Cochca. El mayor peligro se estima en caso que ocurra un desborde de la laguna Cochca que se encuentra en la parte superior.

a) Comportamiento estructural

El comportamiento estructural en el entorno de las 3 lagunas, se encuentra dominado por alineamientos en dos direcciones: uno más regional paralelo al eje principal de la quebrada con orientación NE-SO y otro más local en forma transversal al anterior en dirección NO-SE. Estas características han determinado la forma y profundidad de la laguna 513, mientras que superficialmente un intenso intemperismo origina el fracturamiento de los macizos rocosos, conformando considerables depósitos de escombros que incrementan los niveles de peligro en caso de desbordes.

4.3 Geomorfología regional

La subcuenca del río Chucchún, se caracteriza por la presencia de diferentes formas topográficas, siendo las más importantes las geoformas montañosas hacia la parte alta y colinas y laderas hacia las partes bajas. Regionalmente las unidades geomorfológicas están representadas por fondos de valle fluvio aluvial, planicies coluvio aluviales, planicies fluvio glaciares, superficies inclinadas de origen glaciar, colinas altas fuertemente disectadas, laderas de montaña ligeramente empinadas, laderas de montaña moderadamente empinadas y laderas de montaña fuertemente empinadas.

4.4 Geomorfología local

Morfológicamente, las lagunas 513, Cochca y Rajupaquinan, se han formado sobre un gran afloramiento rocoso que forma parte del batolito de la cordillera blanca, vierten sus aguas hacia la cuenca del pacífico y tienen una acelerada actividad geodinámica marcada por la presencia de torrenteras activas con

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

fuerte pendiente y la ocurrencia de eventos extraordinarios como avalanchas, desbordes e inundaciones en la parte baja de la subcuenca.

Localmente las tres lagunas muestran diferentes niveles de evolución geomorfológica: en la laguna 513 se observa el vaso conformado por afloramiento de rocas ígneas con taludes de fuerte pendiente, indicando una geodinámica mayormente de origen glaciar y por desborde de la laguna, sobresaliendo depósitos de escombros con grandes bloques de rocas granodioríticas hacia la margen izquierda. En la laguna Cochca, se observa una morrena circular de 25 a 30 m de altura que controla gran parte del volumen de agua almacenada; ésta morrena se caracteriza por una elevada inestabilidad hacia el talud externo, donde se observa fuerte erosión que podría originar colapso de la morrena con gran impacto hacia la parte baja de la subcuenca del río Cucchún. La laguna Rajupaquinan se encuentra con mayores niveles de estabilidad donde la morrena frontal que controla esta laguna se encuentra semiconsolidada con drenaje natural hacia el sur oeste, mediante el cual la laguna mantiene un volumen estable; hacia la cabecera limita con afloramientos de roca ígnea con buena competencia (ver fotografía N° 02).



Fotografía N° 02.- Morfología típica originada por erosión glaciar y control estructural sobre rocas de origen intrusivo, donde el hielo a modelado las rocas en favor de la pendiente facilitando el desplazamiento de grandes bloques y fragmentos que se desplazan hacia las partes bajas, originando morrenas y material de escombros.

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

Los principales procesos geodinámicos en estas lagunas son de origen glaciar por avalanchas y desplomes de masas de hielo que elevan el nivel de peligrosidad; asimismo se observa procesos de origen hídrico principalmente en las morrenas de la laguna Cochca, donde han sido identificados flujos subsuperficiales que se manifiestan como manantiales y pequeños torrentes en el talud externo que limita con la partes altas de laguna Rajupaquinan.

a) Condiciones de Estabilidad

De acuerdo a la morfología diferencial de estas lagunas, las condiciones de estabilidad geodinámica también son variables: La laguna 513, actualmente es bastante estable por su configuración geológica y geomorfológica, sin embargo la presencia de glaciares colgantes en la parte alta podría originar avalanchas de gran magnitud generando oleajes de gran altura en la laguna (ver fotografía N° 03). En base a estas condiciones, se ha instalado un sistema de alerta temprana-SAT, sobre la margen derecha del borde libre de salida, con la finalidad de prevenir a la población en caso ocurriera un evento que podría originar grandes daños en la ciudad de Carhuaz, (ver fotografía N° 04).

La laguna Cochca, es de moderada estabilidad, debido a la presencia de glaciares colgantes en la parte alta que podrían originar avalanchas y desborde de esta laguna, por otro lado, la morrena circular que controla esta laguna se encuentra erosionada hacia el talud externo que ante un sismo de gran magnitud, podría originar desborde y avalanchas hacia la quebrada principal.



Fotografía N° 03.- Parte alta de la laguna 513 y laguna Cochca, se observa sectores con glaciares colgantes que podrían originar avalanchas. Estas condiciones elevan el nivel de peligro de las lagunas, las cuales requieren un monitoreo permanente para minimizar el riesgo.

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



Fotografía N° 04.- Vista principal del Sistema de Alerta Temprana instalado en la laguna 513, sobre la margen derecha del dique de roca por encima del túnel existente. Este sistema permite alertar a la población en caso de producirse un evento extraordinario.

La laguna Rajupaquinan tiene mejores condiciones de estabilidad en base a su morfología y volumen de almacenamiento, sin embargo un probable desborde de la laguna Cochca, podría incrementar su nivel de inestabilidad.

V. GLACIARES

5.1. Características de los glaciares:

La cabecera de la subcuenca, está conformada por cuerpos glaciares, ubicándose al glaciar Cochca y Rajupaquinan. El glaciar Cochca se ubica en las coordenadas Norte: 8981518; Este: 221349 y tiene 2 picos superiores a los 5500 m.s.n.m., mientras que el glaciar Rajupaquinan se localiza en las coordenadas Norte: 8980227; Este: 222474 con un pico superior a los 6000 m.s.n.m. Ambos pertenecen al nevado Hualcán.

a) Glaciar Cochca: Sus altitudes varían con un máximo de 6074 m.s.n.m., promedio 5336 m.s.n.m. y mínimo 4598 m.s.n.m. Tiene un área de 2,61 km²; con longitud máxima de 2021,57 m y ancho máximo de 2112,19 m. La orientación predominante es al sur oeste, (UGRH-ANA, 2014).

b) Glaciar Rajupaquinan: Las altitudes varían con un máximo de 6119 m.s.n.m., promedio de 5298 m.s.n.m. y mínimo de 4477 m.s.n.m. Tiene un área de 6,77 km²; con longitud máxima de 4364,41 m y ancho máximo de 3328,77 m. La orientación predominante es al oeste (UGRH-ANA, 2014).

El área del glaciar Cochca estimada al 2003 (hacia la laguna 513) fue de 2,61 km² con una pérdida del 26% según el inventario glaciar base de 1970 de la Cordillera Blanca. En el glaciar Rajupaquinan, el retroceso de su área fue del

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

14% entre 1970-2003 (UGRH, 2014). En consecuencia la pérdida de masa glaciar afecta las reservas de agua dulce en los Andes del Norte y desestabiliza la cohesión entre el glaciar y lecho rocoso en laderas con pendientes pronunciadas.

La reducción del área glaciar es notable en las zonas de color gris (ver figura N° 02), donde se expone el lecho de roca por debajo de glaciares con pendientes pronunciadas, originando glaciares colgantes con grandes masas de hielo, demostrando así el retroceso acelerado de los glaciares tropicales del Perú (Rabatel et al. 2013).

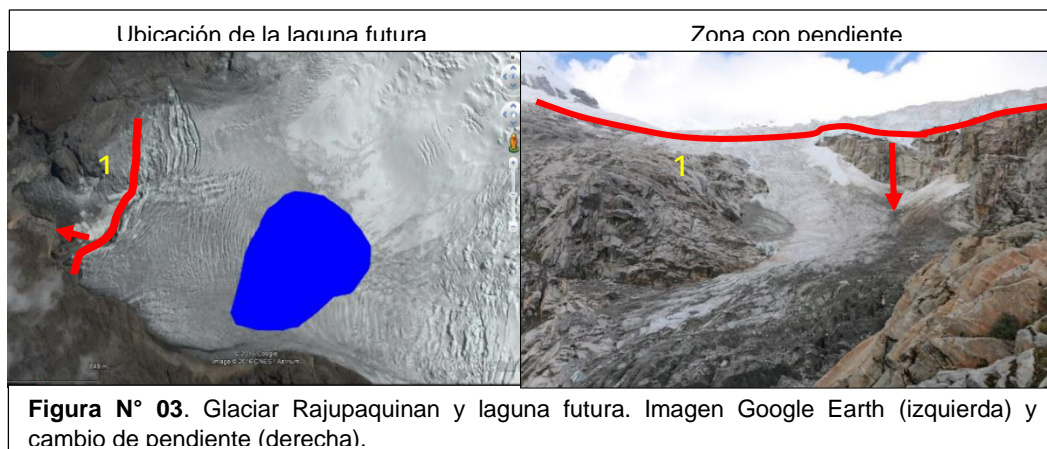


Figura. N° 02. Retroceso del glaciar y exposición del lecho rocoso (línea de color amarillo) y zona de donde se desprendió masas de hielo y bloques de roca en el evento de 2010 (derecha).

El glaciar Rajupaquinan muestra un retroceso acelerado, evidenciando avalanchas constantes del frente glaciar y fusión de hielo, debido a que descarga grandes volúmenes de agua.

Este glaciar tiene condiciones para la formación de una laguna futura (ver figura N° 03) según los criterios morfológicos del glaciar (cambio de pendiente, zona sin grieta y seguida de la zona con grieta y el estrechamiento del frente glaciar por las laderas laterales) que permite definir la ubicación del posible vaso de la laguna. Cuando la lengua glaciar desaparezca, la laguna nueva que podría formarse, sería un peligro potencial que afectaría aguas abajo de la subcuenca, llegando a afectar a la laguna Rajupaquinan que podría generar un flujo de escombros de gran magnitud.

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



VI. LAGUNAS

6.1. Descripción general de lagunas

Las lagunas 513, Cochca y Rajupaquinan, se encuentran en la cabecera de la subcuenca del río Chucchún, el cual forma un valle de origen glaciar con fuerte pendiente cerca de las lagunas y moderada a baja pendiente a medida que se acerca a la planicie Pampa Shonquil (ver fotografía N° 05). Las lagunas han sido originadas por el derretimiento de los glaciares Cochca y Rajupaquinán (fuente: ANA 2010), sobre depresiones naturales con importante control estructural; actualmente estas lagunas se encuentran localizadas sobre un vaso rocoso como ocurre en la laguna 513 y mixtos con roca y morrenas como las lagunas Cochca y Rajupaquinán. Las características locales se describen a continuación:



Fotografía N° 05. Vista panorámica de la subcuenca del Chucchún, formando un valle de origen glaciar con inicio en glaciares Cochca y Rajupaquinan del nevado Hualcán.

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

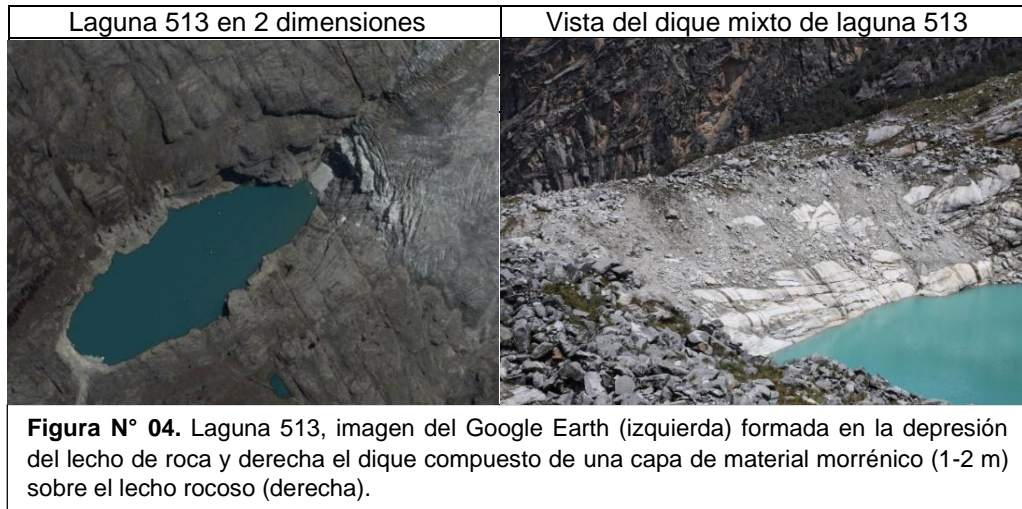
a) Laguna 513.- Esta laguna es de forma alargada, conformando un vaso en roca ígnea completamente cerrada, tiene taludes casi verticales y buena estabilidad por la presencia de rocas de buena competencia. Hacia la cabecera la laguna se encuentra en contacto con la lengua glaciar y hacia las partes altas existen glaciares colgantes que podrían originar avalanchas y oleaje en la laguna (ver fotografía N° 06). Sobre la margen izquierda, hacia el borde libre, existen depósitos de escombros que podrían ser arrastrados por un desborde de gran magnitud, motivo por el cual se ha construido un túnel a 23 m del borde libre, para desaguar y evitar desbordes por caída de avalanchas que podrían originar daños a lo largo de la quebrada, en el centro poblado de Acopampa y parte de la ciudad de Carhuaz.



Fotografía N° 06. Vista principal de la laguna 513, formada sobre un vaso de roca intrusiva con 84 m de profundidad, almacenando más de 8 millones de m³ de agua. Se observa que la lengua glaciar está fuertemente fracturada en forma local. Se ha construido un túnel a 23 m del borde para evitar desbordes en caso de avalanchas.

Es de tipo proglaciar, esta laguna se ha formado por el proceso de derretimiento del glaciar, donde hubo una fuerte erosión en el lecho rocoso, originando una depresión en la roca de tipo granodiorita, cuando el glaciar desapareció (ver figura N° 04). Esta laguna se formó en la década de 1980 (Kaser y Osmaston, 2002) con una longitud de 880 m, ancho de 330 m y profundidad > 100 m.

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



Actualmente esta laguna recibe el aporte del glaciar Cochca, tiene un vaso rocoso, con taludes interiores de 60% a 75% de inclinación, una longitud máxima de 826 m, ancho máximo de 314 m y profundidad máxima de 84 m; el volumen ha sido calculado en 8'746,223 m³ (UGRH 2007), altitud de 4431 m.s.n.m. y el borde libre es aproximadamente de 23 m (ver fotografía N° 07).



Fotografía N° 07. Vista de la laguna 513 desde la margen izquierda.

Tiene obras de seguridad a partir del año 1992, donde se construyó un túnel de desagüe de longitud 146 m, para lo cual fue necesario la construcción de un pique y 02 galerías de descarga temporal (ver fotografías N° 08 y 09). Actualmente se tiene un caudal de 1,50 m³/s que sale del túnel de la laguna.

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



Fotografía N° 08. Se muestra el pique excavado en roca.



Fotografía N° 09. Vista del interior de la galería de descarga temporal.

b) Laguna Cochca.- La laguna Cochca, es de forma semicircular, controlada por una morrena de 25 a 30 m de altura que se encuentra bastante erosionada hacia el talud exterior, estas características determinan moderada estabilidad, considerando que se encuentra emplazada sobre roca y que un desborde a través de la morrena semicircular, impactaría sobre la laguna Rajupaquinán, aumentando su volumen y generando una considerable avalancha hacia la parte baja de la quebrada. Esta laguna requiere un monitoreo permanente para estimar el nivel de peligro por desborde e inundación (ver fotografía N° 10). Esta laguna se encuentra alejada de la lengua glaciar, sin embargo por la fuerte pendiente entre la laguna y el frente glaciar, existe una alta probabilidad de

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

ocurrencia de avalanchas que podrían provocar desborde de consideración. Así mismo, se ha observado que la morrena circular que sostiene a la laguna se encuentra sobre una plataforma rocosa con fuerte pendiente, la misma que presenta algunos derrumbes locales hacia el talud interior y derrumbes con filtraciones permanentes hacia el talud exterior que drenan hacia la quebrada principal y sobre la laguna Rajupaquinan. En tal sentido esta laguna se considera con alto nivel de peligro frente a avalanchas de gran volumen.



Fotografía N° 10. Vista panorámica de la laguna Cochca, caracterizada por su morrena circular bastante uniforme, altura promedio de 25-30 metros, poco consolidada. Esta laguna tiene un peligro de moderado a alto por tener un dique morrénico erosionado hacia la parte externa y estar expuesto a avalanchas provenientes del glaciar.

Esta laguna se ha formado entre la pequeña edad de hielo y 1962, tiene el aporte del glaciar Cochca, tiene un vaso de material morrénico, con espesor significativo, pero conformado por material inestable, en la zona sur se observa que la morrena es de menor espesor (ver fotografía N° 11—línea punteada), los taludes interiores van de 60% a 75% de inclinación y tiene una longitud máxima de 361 m, ancho máximo de 250 m y profundidad máxima de 27,20 m y un volumen de 1 001 230 m³ (UGRH 2007), el borde libre es aproximadamente de 25 – 30 m. El caudal que sale de la laguna es 0,35 m³/s.



Fotografía N° 11. Zona inestable en la morrena lateral izquierda.

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

En el año 1953, fue intervenida esta laguna, en la que bajaron el nivel de las aguas a 3.00 m de profundidad. Aguas abajo de la laguna se tiene una pendiente bien pronunciada, pero llega a una zona de amortiguamiento (debajo del glaciar Cochca – ver fotografía N° 12).



Fotografía N° 12. Zona de amortiguamiento debajo de la morrena terminal.

c) Laguna Rajupaquinán.- Es de menor dimensión que las dos anteriores, se encuentra en la parte inferior de las lagunas 513 y Cochca, resaltando por tener cierta estabilidad en referencia al volumen y amenazas que podrían significar un desborde imprevisto (ver fotografía N° 13). Esta laguna tiene forma semicircular y se ha formado en una depresión estructural de roca intrusiva. Es de baja profundidad, con poco volumen y la recarga es principalmente por filtraciones que provienen desde la parte inferior de la laguna Cochca; la laguna se encuentra estabilizada con un dique morrénico de baja altura y moderadamente erosionado, teniendo una desagüe natural hacia el sur oeste que se conecta a un torrente que baja desde el glaciar Rajupaquinan. En base al análisis de peligro de esta laguna, se estima de baja peligrosidad, sin embargo de producirse un desborde de la laguna Cochca, los aportes serían directamente sobre esta laguna que podría desbordarse originando daños en la parte baja de la subcuenca.

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



Fotografía N° 13. Vista panorámica de la laguna Rajupaquinan de reducida extensión y poco volumen. Rodeado de afloramiento de granodiorita en la cabecera y dique mixto (morrénico y roca) estabilizado. Tiene desfogue natural hacia un torrente que va a la quebrada (línea punteada de color rojo). Se considera de baja peligrosidad.

Esta laguna se ha formado entre la pequeña edad de hielo y 1962, tiene el aporte del glaciar Rajupaquinan, vaso rocoso y hacia el oeste se tiene una morrena lateral (ver fotografía N° 14– línea punteada), los taludes interiores en roca son casi verticales, mientras que los taludes sobre el material morrénico tienen en promedio de 30% a 45% de inclinación. La longitud máxima de 253 m, ancho máximo de 170 m y profundidad máxima de 27,40 m y un volumen de 462,407 m³ (UGRH 2007), el borde libre es aproximadamente de 5.00 m. El caudal que sale de ésta laguna es 0,05 m³/s.



Fotografía N° 14. Vista de la morrena.

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

También en el año 1953 desaguaron esta laguna, bajando el nivel de agua a 2 m. Aguas abajo de la laguna se tiene una pendiente bien pronunciada, pero luego llega a la Pampa Shonquil que tiene una pendiente muy suave y de ancho aproximado de 300 m (ver fotografía N° 15 – línea punteada).



Fotografía N° 15. Vista de Pampa Shonquil.

VII. ECOSISTEMAS

En la subcuenca Chucchún se ha identificado 6 zonas de vida que se relacionan a la ecología y las interrelaciones entre los diversos factores que conforman el ambiente. Las zonas de vida se distribuyen de la siguiente manera: Estepa espinosa Montana Bajo Tropical con el 24,8%; Estepa Montana Tropical con el 20,7%; Paramo pluvial Subalpino tropical con el 9,7%; Bosque seco Montano Bajo tropical con el 15,6%; Bosque húmedo Montano Tropical con el 12,5% y Nival tropical con el 16,7% (Villanueva, 2014).

Estos entornos determinan los ecosistemas que brindan servicios ambientales que cumplen funciones importantes para el desarrollo de la población desde el punto de vista social, productivo, económico y ambiental. Los ecosistemas importantes de gran valor ecológico son: los nevados, lagunas, pajonales, bofedales, bosques altoandinos y matorrales (ver fotografía N° 16) que proveen beneficios a la población aguas abajo de la subcuenca.

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



Fotografía N° 16. Vista panorámica de Pampa Shonquil, resaltando importantes ecosistemas.

Los ecosistemas que guardan relación directa con la identificación de peligros y evaluación del potencial hídrico son los nevados y las lagunas, sin embargo los bofedales, los pajonales y los relictos de bosques son importantes por el gran potencial hídrico que representan y como hábitats de una variedad de especies de flora y fauna como parte de una gran biodiversidad.

En la subcuenca del río Chucchún, los glaciares representan ecosistemas importantes en zonas de montaña; como reservas de agua (grandes masas de hielo) que regulan la disponibilidad de agua en la quebrada, la cual es usada en diferentes actividades, localizados a lo largo de la subcuenca. Por otro lado, desde el punto de gestión del riesgo, se evalúa las características de los frentes glaciares y la potencial ocurrencia de avalanchas sobre las lagunas que podrían originar aluviones, ocasionando grandes daños en la parte baja de la subcuenca.

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

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

extraordinarios que podrían afectar las actividades que se desarrollan a lo largo de la subcuenca.

VIII. HIDROLOGIA

La subcuenca del río Chucchún es tributario del río Santa por su margen derecha, tiene una superficie de 55.56 Km² y en la parte alta se encuentran las lagunas 513, Cochca y Rajupaquinán, donde se inicia la quebrada Chucchún. La información obtenida de la ciudad de Carhuaz, indica un clima templado y seco durante los meses de abril a diciembre, moderado lluvioso en los meses de verano, con una temperatura anual que varía entre 11° y 21° C. (SENAMHI y CORPAC en “Provincia de Carhuaz, Estadística Básica”, INEI, 1996). Las tres lagunas ubicadas en la parte alta de Carhuaz, aportan directamente hacia el río Chucchún, Estas, reciben el aporte hídrico de los glaciares de la siguiente manera: La laguna 513 se ha formado por aporte directo del glaciar Cochca; la laguna Cochca recibe el aporte de los glaciares Cochca y Rajupaquinán, mientras que la laguna Rajupaquinán recibe el aporte del glaciar Rajupaquinán (ver figura N° 05).

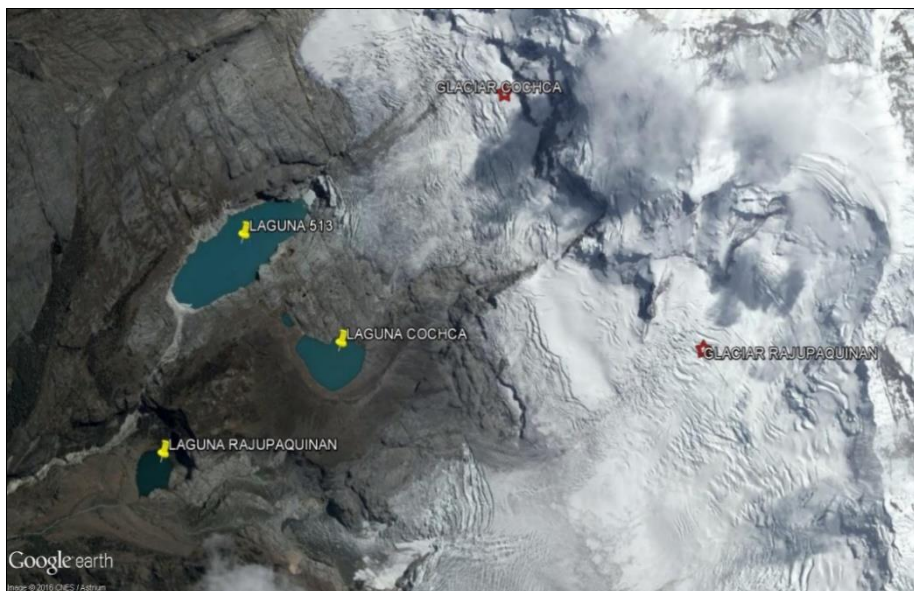


Figura N° 05.- Toma de imagen del satélite en 2D, mostrando las lagunas 513, Cochca y Rajupaquinán; el Glaciar Cochca aporta agua a la laguna 513 y Cochca, y el glaciar Rajupaquinán aporta agua a la laguna Rajupaquinán.

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

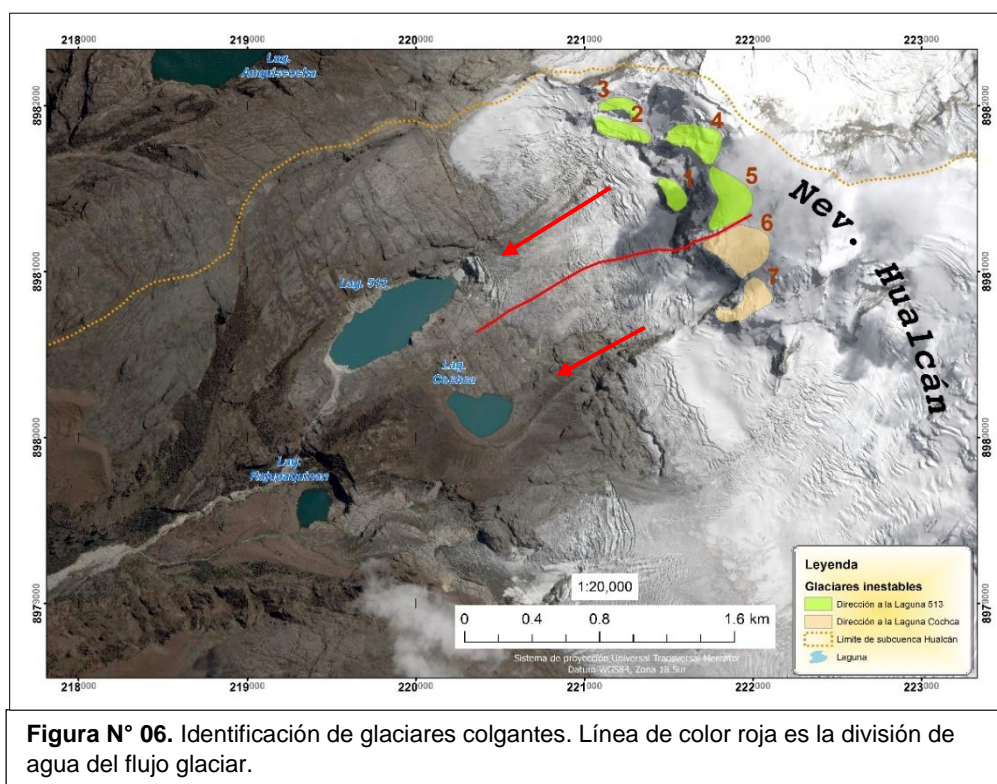
Se realizaron aforos de caudales con el método del flotador en la salida de cada una de las lagunas, en la laguna 513 se tuvo un caudal de 1.50 m³/s, laguna Cochca 0.35 m³/s y laguna Rajupaquinán 0.05 m³/s.

IX. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

9.1 Condiciones de peligrosidad en glaciares

a) Glaciar Cochca

Al pie del nevado Hualcán se identificó zonas con glaciares colgantes, los cuales podrían ocasionar una avalancha e impactar en las lagunas 513 y Cochca. En la figura N° 06 se evidencia en color verde las zonas que presentan glaciares colgantes e inestables en dirección a la laguna 513, mientras que las zonas de color naranja siguen la dirección del flujo glaciar hacia la laguna Cochca.



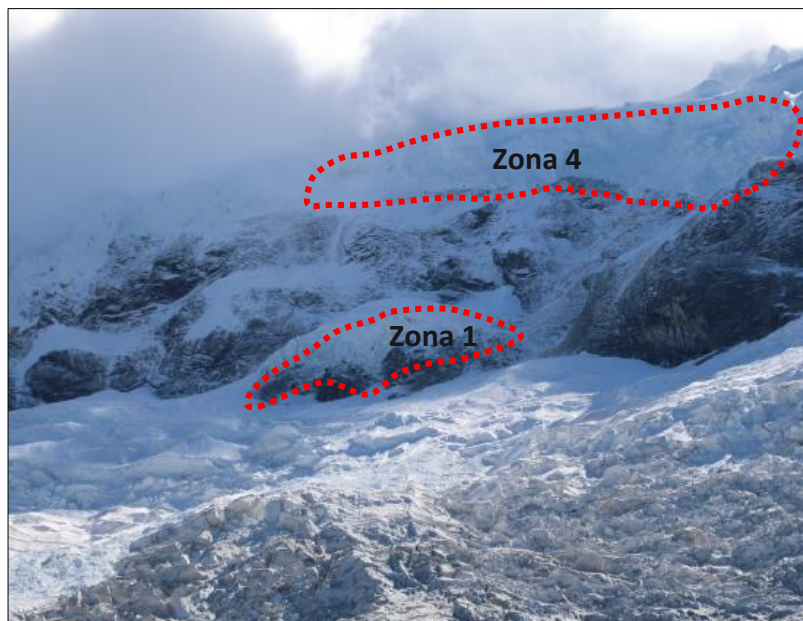
“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”

1) Glaciares inestables hacia la laguna 513.

Se identificó 5 zonas con presencia de glaciares colgantes o inestables. Estas zonas podrían impactar en la laguna 513. Las zonas concentran diferentes volúmenes; la zona 1, 2 y 3 tienen volúmenes aproximados de 515344,03 m³, 462702,54 m³ y 255 610,23 m³ respectivamente, mientras que la zonas 4 y 5 tienen volúmenes de 2222391,54 m³ y 2890261,47 m³ respectivamente (ver fotografías 17 y 18).



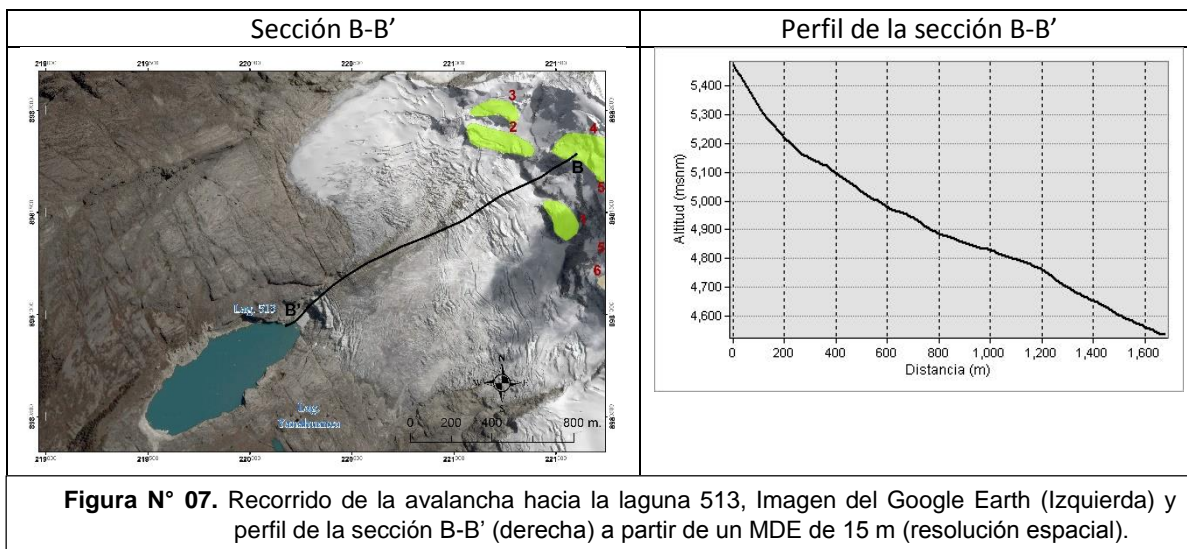
Fotografía N° 17. Glaciares colgantes de las zonas 2 y 3 en dirección a la laguna 513.



Fotografía N° 18. Glaciares colgantes de las zonas 1 y 4 en dirección a la laguna 513.

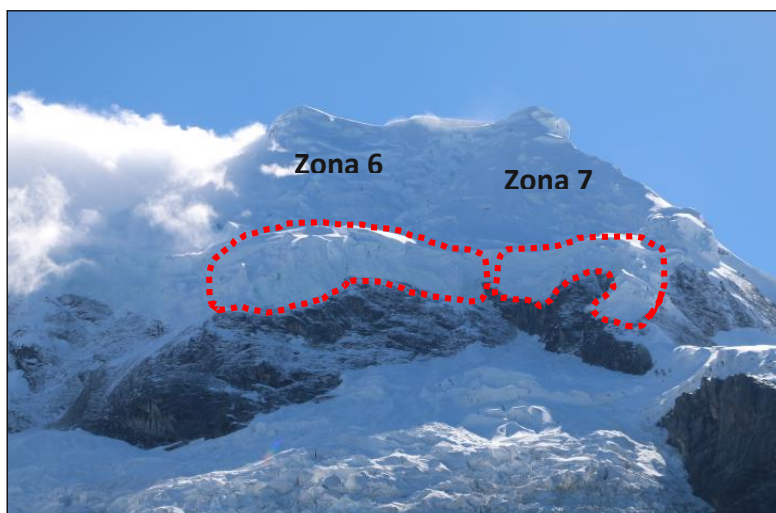
“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”

Entre las zonas glaciares inestables y la laguna 513 la pendiente promedio estimada fue de 27° y 30° con una longitud de recorrido de alrededor de 1678 m (ver figura N° 07).



2) Glaciares inestables hacia la laguna Cochca.

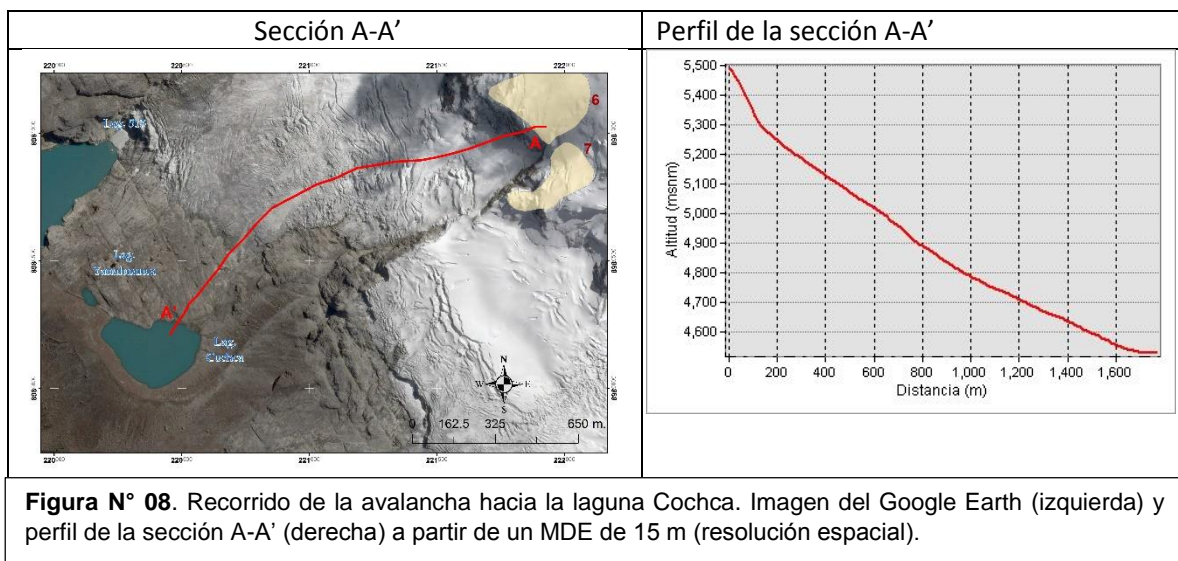
Se identificó 2 zonas con glaciares colgantes que podrían impactar en la laguna Cochca. Teniendo en cuenta la divisoria de flujo glaciar (ver figura N° 06), la masa glaciar al lado izquierdo tiene un volumen aproximado de 1700361,82 m³ (zona 6, fotografía N° 19) y al lado derecho tendría un volumen de 3131333,04 m³ (zona 7, fotografía N° 19). Ambas masas glaciares son el inicio de avalanchas de hielo, descubriendo cada vez más el lecho rocoso y convirtiéndose aún más en zonas inestables.



Fotografía N° 19. Glaciares colgantes en dirección a la laguna Cochca.

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

Según la figura N° 08, se evidencia que hacia la laguna Cochca existe la posibilidad de ocurrencia de avalanchas con grandes volúmenes. También, es necesario resaltar, que entre las zonas glaciares inestables y la laguna Cochca se ha estimado las pendientes promedio de 30° con una longitud de recorrido de 1770 m aproximadamente.



pendientes que superan los 23° , considerada como la pendiente máxima para que los glaciares tropicales sean estables, y no puedan producir avalanchas de grandes magnitudes (Portocarrero, 2014).

b) Glaciar Rajupaquinan

En la parte inferior del glaciar Rajupaquinan, debido a la moderada pendiente de la lengua glaciar, se observa avalanchas pequeñas en forma consecutiva, originadas por el empuje lateral que ejerce el glaciar sobre los taludes verticales, dando lugar al desplome de masas de hielo que se disipan en la ladera inferior. Este proceso en parte disminuye la probabilidad de una gran avalancha por pérdida de masa en forma lenta y gradual (ver fotografía N° 20).

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



Fotografía N° 20.
Al sur del glaciar Rajupaquinan, se observa el frente glaciar con taludes verticales que se desploman por empuje de las partes altas, originando avalanchas locales en forma permanente.

9.2 Condiciones de peligrosidad en lagunas

a) Laguna 513

La laguna en las últimas 3 décadas es escenario de rápidos y violentos movimientos de masa, donde los trabajos de ingeniería (el túnel de desagüe) y el borde libre de 23 m del dique de roca, han disipado el desborde de la laguna. Sin embargo la presencia de glaciares colgantes con volumen superior al evento ocurrido al 2010 ($> 400\,000\text{ m}^3$), podría generar oleajes y desborde de la laguna ocasionando un aluvión y daños en la parte baja de la subcuenca (ver figura N° 09).

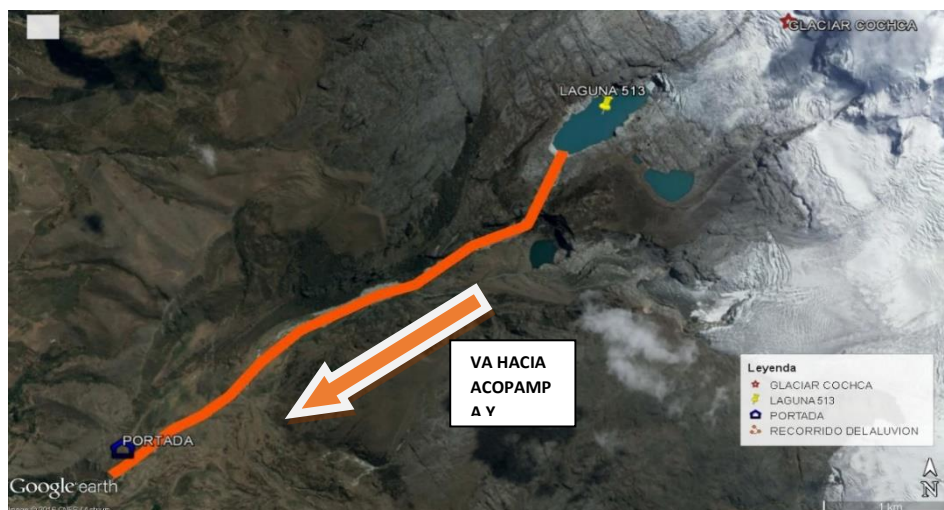


Figura N° 09. Posible recorrido del aluvión.

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

1) Depósitos de escombros

Hacia el sector sur y suroeste de la laguna 513 se ha observado depósitos de escombros distribuidos en forma caótica, conformado por bloques grandes de 2 a 3 m de diámetro, los cuales podrían ser arrastrados en caso de ocurrir un desborde de la laguna (ver fotografía N° 21). Estos sectores tienen condiciones de alta peligrosidad por la considerable carga que significan como material que podría ser transportado por una avalancha, acá es importante dimensionar el volumen de material que podría ser transportado.



Fotografía N° 21. Roca granodiorítica y material de escombros con gran volumen en el entorno de la laguna 513, que constituyen material fácilmente transportable en caso de ocurrir avalanchas o desbordes. Incrementan el nivel de peligro de esta laguna.

2) Comportamiento estructural

El análisis del comportamiento estructural es importante para determinar el nivel de peligro que significan las lagunas, sobre todo considerando el gran volumen de agua que almacena la laguna 513, sobre la cual se nota claramente el control estructural que ha dado origen a la laguna.

El análisis del control estructural en la laguna 513, marca claramente dos patrones dominantes: uno en forma paralela al eje de las principales quebradas y otro transversal que origina el fracturamiento local dando lugar a la formación de depósitos de escombros (ver fotografía N° 22). El control estructural asimismo ayuda a estimar la probabilidad de formación de nuevas lagunas sobre lenguas glaciares como es el caso del glaciar Rajupaquinan, donde se evalúa una depresión estructural que podría convertirse potencialmente en una laguna.

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



Fotografía N° 22. Características estructurales importantes en el entorno de la laguna 513. Se observa hasta dos alineamientos principales: uno NE-SO sobre el eje longitudinal de la laguna y otro NO-SE en forma transversal a la anterior.

b) Laguna Cochca

Se estima que esta laguna tiene moderada estabilidad. La morrena terminal tiene un borde libre entre 25-30 m con pendiente promedio entre 60% y 75%. La morrena lateral izquierda muestra erosión en los taludes internos del vaso con pendientes promedio de 60% (ver fotografía N° 23). Además, existe vegetación en los taludes internos que estabiliza los deslizamientos de material morrénico con mayor densidad en la morrena terminal debido al contenido de humedad. Ante un impacto fuerte de una avalancha en la laguna podría erosionar fuertemente la morrena terminal. En consecuencia, se requiere determinar el espesor de la morrena y definir su estabilidad.

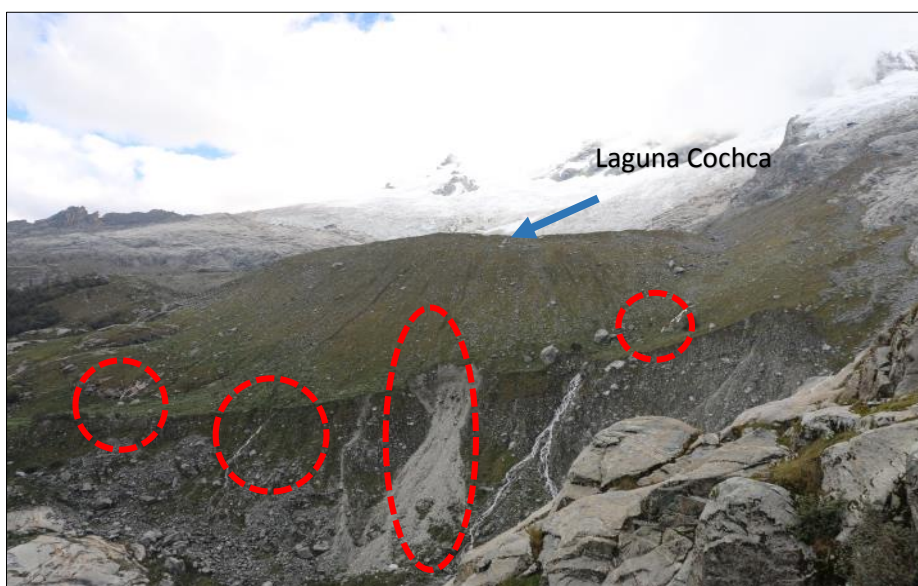


Fotografía N° 23. Vaso de la laguna Cochca, donde se muestra la morrena lateral izquierda y terminal.

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

1) Inestabilidad de taludes

En la parte inferior del talud externo de la morrena que controla a la laguna Cochca, existen pequeñas filtraciones y derrumbes locales que van marcando la inestabilidad de la misma. En caso de incrementarse estos procesos podrían acelerar la inestabilidad del talud, debilitando la morrena con probabilidad de ocurrencia de un desborde (ver fotografía N° 24). En estos sectores se requiere un monitoreo permanente para medir el incremento de los procesos de origen hídrico y gravitacional y estimar el nivel de peligro que significa la laguna, sobre todo ante la presencia de un sismo de gran magnitud.



Fotografía N° 24. Filtraciones (líneas punteadas de color rojo) en la morrena terminal de la laguna Cochca.

c) Laguna Rajupaquinan

La laguna tiene un dique de tipo mixto con una capa de morrena sobre un lecho de roca (ver fotografía N° 25), donde el borde libre es de aproximadamente 5 m. También se observó que el dique de la laguna es estable que contienen un volumen de agua menor a 500000 m³.

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



Fotografía N° 25. Laguna Rajupaquinan, Fotografía izquierda muestra la capa de la morrena terminal sobre el lecho rocoso y Fotografía derecha vista de la parte posterior cerca del lecho rocoso con pendiente pronunciada.

Asimismo se ha identificado que el dique morrénico terminal de la margen derecha de la laguna Rajupaquinan ha sido afectado por el flujo de escombros proveniente del desbordamiento de la laguna 513 (evento del año 2010). Esto requiere un estudio para determinar la estabilidad de la morrena terminal y su composición.

Por otro lado, la posible laguna futura en el glaciar Rajupaquinan sería un peligro por su ubicación (zona alta) y su gran cantidad de volumen de agua que almacenaría, ocasionando una cadena de procesos (avalancha-oleaje-impacto en el dique-flujo de escombros). Esta condición podría generar el desborde de la laguna Rajupaquinan o erosión por completo de la morrena terminal depositada sobre el lecho de roca (ver figura N°10). Esto podría incrementar el volumen de escombros y agua que destruiría todo a su paso aguas abajo de la quebrada Chucchún.

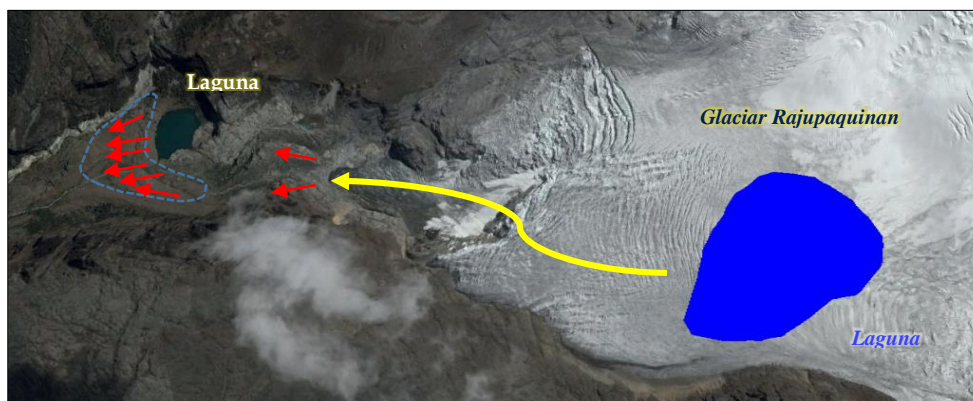


Figura N° 10. Ubicación de la posible laguna futura y erosión de la morrena terminal de la laguna Rajupaquinan, imagen del Google Earth 2013.



X. CONCLUSIONES

- El retroceso glaciar en el nevado Hualcán (ladera sur) es dramático con una pérdida de área del glaciar en dirección a la laguna 513 de 26% entre 1970-2003. Esto ha ocasionado la inestabilidad de las laderas de la zona glaciar, debido a que se pierde masa glaciar y se descubre cada vez más el lecho rocoso así como la cohesión entre el hielo y la roca. De este modo, origina glaciares colgantes en pendientes pronunciadas.
- Considerando la frecuencia de avalanchas de hielo y roca de gran magnitud, se han identificado 7 zonas glaciares inestables, donde los volúmenes varían entre 462702,54 m³ y 3131333,04 m³, que podrían ser definidas como detonantes.
- En el glaciar ubicado encima de la laguna Cochca se identificó 2 zonas inestables con pendientes promedio de 30° y 5 zonas inestables en dirección a la laguna 513 con pendientes promedios de 28° y 30°.
- Geológicamente, las lagunas 513, Cochca y Rajupaquinan, se han formado sobre vaso de roca ígnea tipo granodiorita, roca con morrena en el caso de Cochca y sobre morrenas erosionadas en el caso de la laguna Rajupaquinan.
- La laguna 513 es considerada como de peligro bajo por la presencia de glaciares colgantes y tiene un túnel principal que controla el nivel del agua y viene siendo monitoreada en forma permanente mediante el Sistema de Alerta Temprana (SAT) que permite enviar señales a la Municipalidad de Carhuaz e instituciones competentes en el monitoreo de la laguna. De este modo, permite tomar acciones de evacuación ante un posible aluvión.
- La laguna Cochca es de peligro moderado a alto debido a que presentan glaciares colgantes en 2 zonas inestables con grandes volúmenes de masa de hielo de 1700361, 82 m³ y 3131333,04 m³ que podrían impactar en la laguna afectando la morrena terminal y producir un aluvión.
- La laguna Rajupaquinan fue estimada como un peligro bajo que dependen de un posible aluvión en la laguna Cochca, que en su recorrido aguas abajo afectaría la laguna.
- También se identificó una posible formación de una laguna futura en el glaciar Rajupaquinan, que podría ser un potencial peligro, por su ubicación y recorrido escalonado que afectaría la laguna Rajupaquinan, ocasionando un



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

posible desbordamiento y erosión de la morrena superficial en el dique mixto (morrena y roca) y la ocurrencia de un aluvión de grandes magnitudes.

XI. RECOMENDACIONES

- Evaluar y monitorear la presencia de glaciares colgantes que podrían generar avalanchas y seguir la cadena de procesos de movimiento de masas: oleaje, desborde de la laguna y aluvión aguas abajo de la quebrada Chucchún.
- Realizar mediciones con geofísica a través de un radar de penetración para definir el vaso de la posible laguna futura en el glaciar Rajupaquinan y conocer el potencial peligro.
- Evaluar y monitorear el talud externo de la laguna Cochca con la finalidad de estimar el nivel de peligro que significa el incremento de las filtraciones y derrumbes que vienen ocurriendo.
- Evaluar la posibilidad de construir un nuevo túnel en la laguna 513, con la finalidad de mejorar el nivel de seguridad y paralelamente almacenar agua para atender la demanda en época de estiaje.
- Proponer un proyecto de desagüe con corte en la morrena de la laguna Cochca para disminuir el nivel de peligro por desborde de la laguna.
- Realizar un modelamiento de la cadena de proceso de movimiento de masa en la laguna Cochca con respecto a un posible desbordamiento o erosión de su morrena terminal para delimitar las áreas afectadas por la inundación de flujos de escombros.



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

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Kaser, G., and Osmaston, H., 2002, Tropical Glaciers: Cambridge, Press Syndicate of the University of Cambridge, 207 p

- Portocarrero, C. 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.

- Schneider, D., C. Huggel, A. Cochachin, S. Guillén, and J. García. 2014. “Mapping Hazards from Glacier Lake Outburst Floods Based on Modelling of Process Cascades at Lake 513, Carhuaz, Peru.” Advances in Geosciences 35 (January): 145–55. doi:10.5194/adgeo-35-145-2014.

- SENAMHI y CORPAC. INEI, 1996, “Provincia de Carhuaz, Estadística Básica”.

- 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. Diponible en: <http://www.ana.gob.pe/sala-de-prensa/inventario-de-glaciares-y-lagunas-2014.aspx>

- Villanueva Ramírez R., 2014, Identificación de Unidades Ecológicas de la subcuenca Chucchún, Care Perú-Proyecto Glaciares, Huaraz, 160 p.



“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.