



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 RAJUCOLTA CON FINES DE SEGURIDAD Y APROVECHAMIENTO

Cordillera Blanca, Provincia de Huaraz, Región Ancash

INFORME TÉCNICO N° 07



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 TECNICO QUE PARTICIPÓ EN EL INFORME:

Ing. Luzmila R. Dávila Roller

Ing. Roque Vargas Huamán

Ing. Edwin Tuya León

Ing. Lucas Torres Amado

**INDICE**

RESUMEN	4
I. GENERALIDADES	6
1.1 Introducción.....	6
1.2 Antecedentes	6
1.3 Objetivos	8
1.3.1 Objetivos generales.....	8
1.3.2 Objetivos específicos	8
1.4 Ubicación y acceso.....	8
II. METODOLOGÍA.....	10
2.1 Fase de pre campo.....	10
2.1.1 Definición del Objetivo y Alcance del Estudio	10
2.1.2 Elaboración del Plan de Trabajo.....	10
2.1.3 Recopilación y Análisis de la Información Existente	10
2.2 Fase de campo.....	10
2.2.1 Recolección de información.....	10
2.3 Fase final.....	11
2.3.1 Sistematización, análisis y evaluación de la información de campo.....	11
2.3.2 Elaboración del informe.....	11
III. DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA	12
IV. GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGIA.....	12
4.1 Geología Regional.....	12
4.2 Geología local	13
4.3 Geomorfología regional	15
4.4 Geomorfología local	15
V. GLACIARES	19
VI. LAGUNAS.....	22
VII. ECOSISTEMAS	29
VIII. HIDROLOGÍA	30
IX. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS	33
9.1 Condiciones de peligrosidad en glaciares	33
9.2 Condiciones de Peligrosidad en la Laguna.....	34
X. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	39
XI. RECOMENDACIONES	40
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	42
GLOSARIO DE TERMINOS.....	43



RECONOCIMIENTO DEL NIVEL DE PELIGRO DE LA LAGUNA RAJUCOLTA CON FINES DE SEGURIDAD Y APROVECHAMIENTO

RESUMEN

La laguna Rajucolta de origen glaciar, se encuentra ubicada en la cabecera de la subcuenca del río Pariac, a una altitud de 4280 m.s.n.m., formada por el deshielo del nevado Huantsán, el cual se encuentra actualmente alejado del espejo de agua. La laguna tiene forma elíptica, y se encuentra controlada por un dique artificial de regulación construido por la empresa Duke Energy para mejorar la oferta hídrica de la Central Hidroeléctrica del Cañón del Pato.

La subcuenca del río Pariac, sobre la margen derecha del río Santa, es un tributario importante de esta cuenca que vierte sus aguas hacia la vertiente del Pacífico. Aguas abajo de la laguna se observa un valle típico en “U”, de origen glaciar con baja pendiente cerca de la laguna, la cual se va incrementando a medida que desciende hacia el río Santa.

Los principales objetivos del presente estudio es determinar las condiciones de peligrosidad de la laguna, desde el punto de vista glaciológico, geológico-geotécnico, y volumen de agua almacenada con fines de aprovechamiento.

En base al análisis de peligro, se ha identificado dos factores importantes que podrían originar un aluvión de considerable magnitud, uno es la existencia de una lengua glaciar de gran dimensión en la parte alta de la laguna, de donde se producen continuos desprendimientos de hielo que en parte son disipados por una pequeña lengua glaciar reconstituida en contacto con la laguna, que sin embargo, un evento sísmico de gran magnitud podría generar la caída de grandes masas de hielo sobre la laguna, donde el oleaje ocasionaría un desborde con gran volumen de agua ocasionando daños considerables en la parte baja de la subcuenca; el otro es el diseño de construcción de la presa de regulación, de baja altura, manteniendo el espejo de agua con baja altura con respecto a la coronación (borde libre), o por presentar un reducido tirante de seguridad, lo cual indica que esta estructura soporta una elevada carga hidráulica, por lo cual podría verse afectada seriamente ante la presencia de oleajes y desborde de las aguas.

Teniendo en cuenta las características físicas, y en base a las observaciones de campo, las condiciones de peligrosidad de la laguna Rajucolta se considera de alto a moderado, por lo que es necesario realizar un monitoreo permanente sobre la lengua glaciar que se encuentra en la parte alta y sobre el dique artificial de regulación, con la finalidad de mejorar la seguridad en la parte baja de la subcuenca.



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”

En una eventual ocurrencia de grandes avalanchas, donde los oleajes producidos en la laguna, sobrepasen el dique construido y den lugar a un aluvión de gran magnitud, se afectaría la parte baja de la subcuenca, donde se localizan zonas agrícolas y ganaderas, así como infraestructura existente, el centro poblado de Macashca, incluyendo la ciudad de Huaraz.



I. GENERALIDADES

1.1 Introducción

El cambio climático y las prácticas del uso del territorio, incrementa la sensibilidad de los glaciares ubicados en cordilleras nevadas tropicales como la Cordillera Blanca y otras de importancia en el territorio nacional. El acelerado retroceso glaciar origina la formación de nuevas lagunas y genera inestabilidad en frentes glaciares con pendientes pronunciadas, ocasionando movimientos en masa que impactan sobre las lagunas, elevando el nivel de peligrosidad y poniendo en riesgo a las poblaciones e infraestructura ubicadas aguas abajo.

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 diques naturales compuestos por morrenas, produciendo grandes flujos aluvionicos con gran poder destructivo. En ese contexto es importante realizar una evaluación de los riesgos en las lagunas de origen glaciar, evaluando el estado actual de los glaciares y lagunas e identificando el nivel de peligrosidad, que permita tomar medidas de prevención para disminuir el riesgo.

El Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña - INAIGEM, para el año 2016, programó el reconocimiento de lagunas de origen glaciar denominadas peligrosas en la Cordillera Blanca, estando considerada dentro de ellas la laguna Rajucolta.

El presente informe describe los resultados del reconocimiento preliminar de la laguna Rajucolta, realizado el 13 de Abril de 2016, mediante los cuales se determinaron los factores condicionantes y detonantes, a fin de hallar su nivel de peligrosidad.

1.2 Antecedentes

El 24 de Junio de 1883 (fuente: Acta Montana Ing. M Zapata L.-2002), ocurrió el desborde de la laguna Rajucolta conocida también como Tambillo, originando un aluvión que afectó Macashca, destruyendo escuelas, casas, sementeras y pérdida de vidas humanas.

Entre 1966 y 1974, cuando la Corporación Peruana del Santa y Electro Perú S.A. elaboraron los estudios con fines de regulación hídrica de la Central Hidroeléctrica del Cañón del Pato, la laguna Rajucolta, fue evaluada a nivel de Estudios Definitivos,



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

orientados principalmente a proyectos de represamiento que permitan almacenar y regular mayores volúmenes de agua.

Según información elaborado por ELECTROPERU en 1974, la laguna Rajucolta, fue considerada peligrosa, debido a la presencia de una lengua glaciar en contacto con la laguna. Las condiciones morfológicas favorables de la cubeta, y los estudios realizados, concluyeron favorablemente realizar trabajos combinados de seguridad y represamiento, bajando 10 m el nivel de agua y construir un dique de tierra de 25 m de altura para almacenar 5 millones de metros cúbicos de agua, dejando 15 m de borde libre como factor de seguridad. El volumen original estimado de la laguna era 23000000 m³ (Fuente: Memoria Bienal del Programa de Glaciología y Seguridad de Lagunas 1973–1974, Huaraz – Junio 1975, Pag. 25 y 26; ELECTROPERU, UC. 16).

El 30 de mayo de 2002 la empresa DUKE ENERGY – EGENOR S.A., contrató a la empresa CESEL S.A. para la elaboración del estudio de la presa de regulación en la laguna Rajucolta con una capacidad de almacenamiento de 9000000 m³, que permitiría la regulación estacional de este recurso con fines de afianzamiento de la Central Hidroeléctrica Cañón del Pato durante el periodo de estiaje.

Entre los años 2003 a 2004, se construyó la presa de regulación, con un aliviadero de

150 m de longitud, con descarga máxima de 8.3 m³/s, una altitud de 4290,88 m.s.n.m., y un conducto de 111 m, de longitud, que permite una descarga mínima de 3,00 m³/s. (Estudio de Ingeniería para la Regulación de la laguna Rajucolta, CESEL S.A., 2002).

En octubre de 2014, la Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos – ANA, realizó trabajos de batimetría en la laguna Rajucolta, determinando el nivel del espejo de agua en 4272,71 m.s.n.m., una superficie de 512723 m², volumen almacenado 17546151 m³, largo máximo de 1428 m, ancho máximo de 493 m y una profundidad máxima de 72,7m.

Actualmente el control de esta laguna se encuentra a cargo de la empresa Duke Energy con fines de aprovechamiento hídrico para la Central Hidroeléctrica del Cañón del Pato.



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

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivos generales

- Determinar las condiciones de peligrosidad de la laguna Rajucolta, desde el punto de vista glaciológico, geológico-geotécnico y volumen de agua.
- Analizar las condiciones glaciológico-hidrológicas de la laguna para ver la posibilidad si podrían ser usadas como embalses reguladores.

1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar peligros de origen glaciar relacionados a la generación de avalanchas que podrían caer sobre la laguna, originando oleajes y desborde con grandes daños a todo lo largo de la zona del aluvionamiento.
- Determinar el nivel de peligrosidad de la laguna Rajucolta en relación a la situación actual de los taludes de las morrenas laterales y las condiciones de funcionamiento de la presa de regulación construida por la empresa Duke Energy.
- Evaluar las características físicas de las morrenas ubicadas en el vaso de la laguna.

1.4 Ubicación y acceso

Ubicación

La laguna Rajucolta se ubica al pie del Nevado Huantsán (6366 m.s.n.m.). Hidrológicamente se encuentra en la vertiente del Pacífico, cuenca del río Santa y subcuenca del río Pariac. Políticamente pertenece al distrito y provincia de Huaraz, departamento de Ancash (ver figuras N° 01, 02).

Las coordenadas UTM WGS 84 son¹:

Norte	8946459
Este	242820
Altitud	4280 m.s.n.m.

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



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

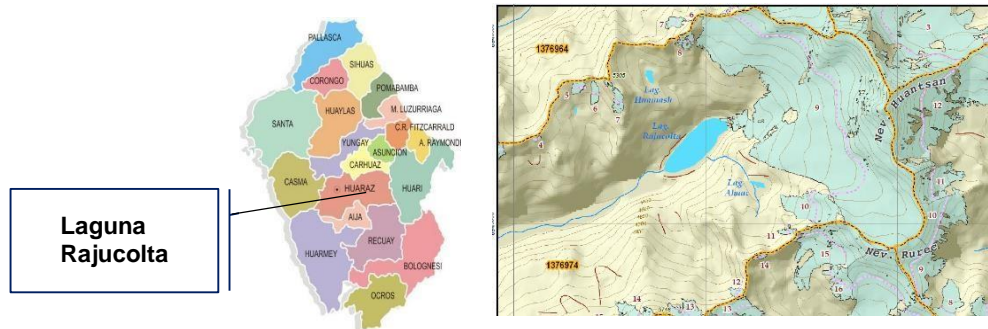


Figura N° 01.- Ubicación Geográfica

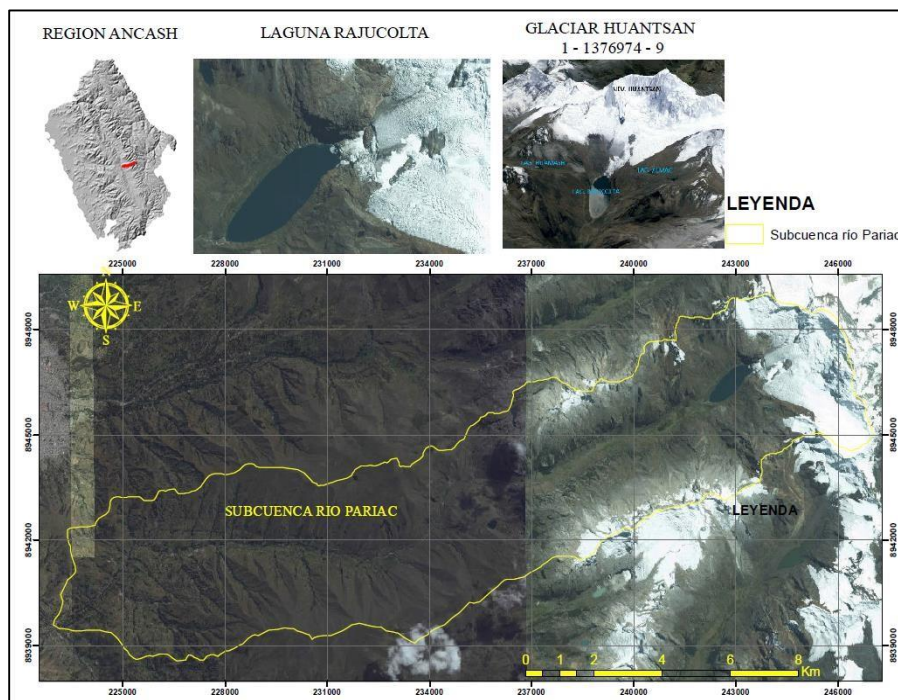


Figura N° 02.- Mapa de ubicación de la laguna y área glaciar

Acceso

Desde la ciudad de Huaraz se viaja por una vía asfaltada hasta el cruce Pariac, recorriendo 8 km durante 15 minutos. Luego se continúa por una trocha carrozable hasta el campamento de la laguna Rajucolta a lo largo de 25 km, pasando por la localidad de Macashca, en un tiempo aproximado de 1.5 horas (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 Rajucolta.

Ruta	Tipo de Vía	Distancia (km)	Tiempo (h)	Medio de Transporte
Huaraz – Cruce Pariac	Carretera asfaltada	8.0	0:15 h.	Vehículo Motorizado
Cruce Pariac – Macashca - laguna Rajucolta	Trocha Carrozable	25.0	1:30 h.	Vehículo Motorizado
Distancia total recorrida		33.0	1:45 h.	

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-hidrológicas 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



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

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



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

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 Pariac 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 y a lo largo de las quebradas, las laderas tienen pendientes de 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 las pendientes son suaves, conformando superficies planas 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.

Geográficamente la subcuenca se encuentra ubicada entre los paralelos 09°30'1,34" y 09°35'3,92" de latitud sur y entre los meridianos 77°18'17,37" y 77°31'22" de longitud oeste, cuya altitud varía entre 6331 m.s.n.m. y 3125 m.s.n.m. y un área total de 107,36 km². El clima es variable resaltando la precipitación entre 700 mm en el extremo occidental, hasta 1000 mm hacia la parte oriental sobre los 5000 m.s.n.m., las temperaturas son variables a lo largo de la subcuenca, alcanzando hasta 20°C de diferencia entre el día y la noche.²

En la cabecera de la subcuenca se encuentra el sistema glaciar Huantsán que tiene una orientación principal sur oeste; la laguna de Rajucolta, se encuentra en la región natural Puna (4000 m.s.n.m. a 4800 m.s.n.m.), cuya morfología corresponde a una zona glaciar.³

IV. GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGIA

4.1 Geología Regional

En la subcuenca del río Pariac, sobresalen rocas de diferentes orígenes, siendo las más importantes las rocas ígneas de magnitud batolítica que se distribuyen en la

² Duke Energy - ECSA Ingenieros -2002, Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto de Regulación de la laguna Rajucolta (Tambillo)

³ Zonas de Vida, Javier Pulgar Vidal, 1938

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

cabecera y entorno de los nevados, mientras que en la parte baja sobresalen rocas volcánicas cubiertas por sedimentos cuaternarios de origen aluvial y glaciar⁴.

4.2 Geología local

Litológicamente, el vaso de la laguna Rajucolta se encuentra en una cubeta mixta, limitada hacia la cabecera por un afloramiento rocoso tipo diorita y granodiorita y estratos de la Formación Chicama de moderada competencia, en contacto con una pequeña lengua glaciar reconstituida (ver fotografía N° 01). Hacia la boquilla de salida, sobresalen dos morrenas laterales antiguas parcialmente erosionadas, las cuales se encuentran bastante estables aunque en la margen derecha cerca del dique, se observa huellas de asentamiento y derrumbe local por gravedad y cambio de nivel del espejo de agua.

El comportamiento estructural, guarda relación directa con la forma y profundidad de la laguna, estimando que un alineamiento principal paralelo al eje de la quebrada ha favorecido la formación de esta laguna, mientras que un alineamiento transversal ha servido para la concentración de minerales cuya lixiviación contribuye a deteriorar la calidad del agua en esta subcuenca (ver fotografía N° 01).



Fotografía N° 01.- Vaso de la laguna Rajucolta, conformado por material mixto: desde la parte media a la cabecera, predominan rocas ígneas y sedimentarias y hacia la boquilla de salida, restos de morrenas antiguas erosionadas, sobre las cuales se ha construido la presa de regulación. Sobre las márgenes de esta laguna, hay afloramientos de rocas fuertemente mineralizadas con aporte de minerales pesados hacia el curso principal del valle.

➤ Aspectos estructurales

La estructura más importante en el entorno de la laguna Rajucolta es la falla de la Cordillera Blanca; esta se encuentra aproximadamente a 7 km aguas abajo de la

⁴ INGEMMET, Carta Geológica Nacional

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

laguna y separa dos ambientes con características morfológicas diferentes. El entorno de la laguna Rajucolta ha sufrido un intenso tectonismo regional, resaltando en forma local dos direcciones dominantes: uno más regional paralelo al eje principal de la quebrada Pariac con orientación NE-SO y otro más local NO-SE, casi en forma transversal a la anterior. Ambos sistemas tienen fuerte inclinación, siendo casi verticales sobre la margen izquierda de la quebrada, aguas abajo de la laguna (ver fotografía N° 02). Sobre las estructuras con orientación NO-SE, se observa una mayor presencia de mineralización secundaria, aportando minerales pesados con abundante óxidos de hierro hacia la quebrada Pariac que lentamente pueden degradar la calidad del agua de esta subcuenca.

La intensidad de fracturas, también determinan el nivel de peligrosidad de la laguna, sobre todo cuando la dirección de los alineamientos se orienta hacia la cubeta; éste no es el caso de la laguna Rajucolta, por que durante la inspección técnica realizada, no se ha identificado un alineamiento estructural inestable que se oriente a la laguna, ni sobre el dique de regulación existente.



Fotografía N° 02.- El patrón estructural dominante en el entorno de la laguna Rajucolta se da en dos direcciones: uno NE-SO a lo largo del eje principal de la quebrada Pariac y otro NO-SE, casi en forma transversal, sobre el cual ocurre la mayor mineralización que aportan minerales pesados hacia el curso principal de la quebrada. Además se observa que por tectónica local, en algunos sectores el alineamiento estructural es casi vertical.

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

4.3 Geomorfología regional

Los rasgos morfológicos de esta subcuenca, son el resultado de procesos erosivos de origen glaciar, que han cortado afloramientos compactos del batolito de la Cordillera Blanca, dando lugar a formas topográficas accidentadas con diferentes pendientes⁵.

Regionalmente, las unidades geomorfológicas están representadas por cauces fluviales activos, fondo de valle glaciar, lomadas y colinas, laderas de montaña, vertientes montañosas y nevados.

4.4 Geomorfología local

La subcuenca del río Pariac, aguas abajo de la laguna Rajucolta, se caracteriza por ser un valle típico en “U” de origen glaciar con planicies amplias en el fondo, cubiertas de bofedales con intensa actividad pecuaria (ver fotografía N° 03); la pendiente dominante es baja cerca de la laguna, la cual se va incrementando a medida que se acerca al río Santa. Los procesos erosivos en el entorno de la laguna se caracterizan por la presencia de derrumbes y asentamientos en forma local que no representan mayor peligro hacia la laguna; mientras que a lo largo de la quebrada Pariac se ha identificado varios torrentes estacionales con fuerte pendiente que se reactivan durante las lluvias interrumpiendo temporalmente el acceso a la laguna Rajucolta, (ver fotografía N° 04).



Fotografía N° 03.- Vista panorámica de la quebrada Pariac, aguas abajo de la laguna Rajucolta; se observa una amplia planicie cubierta por bofedales con intensa actividad pecuaria; morfológicamente, gran parte de la quebrada se caracteriza por constituir un típico valle en “U” de origen glaciar.

⁵ Duke Energy-ECSA Ingenieros -2002, EIA, del Proyecto de Regulación de la laguna Rajucolta (Tambillo).

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



Fotografía N° 04.- Procesos de origen hídrico y gravitacional en diferentes sectores de la quebrada Pariac. Se observa torrentes estacionales que se reactivan durante las lluvias interrumpiendo temporalmente el acceso a la laguna Rajucolta.

➤ **Condiciones de Estabilidad**

Las condiciones de estabilidad geodinámica en el entorno de la laguna Rajucolta y en el frente glaciar Huantsán, son variables:

El frente glaciar, con dos picos representativos ubicados en la parte alta de la laguna se caracterizan por una acelerada pérdida de masa glaciar, dejando descubierto afloramientos de roca ígnea en laderas de diferente pendiente, formando taludes escarpados en unos casos y laderas poco empinadas en otros, que en parte disipan la caída de masas de hielo que se desprenden en la parte alta de los picos (ver fotografía N° 05). Sin embargo entre estos dos picos, existe una amplia lengua glaciar de considerable dimensión y espesor con fuerte pendiente, que se desplaza lentamente en favor de la pendiente, dando lugar al desplome de pequeñas masas de hielo en la parte inferior que caen sobre una pequeña lengua glaciar reconstituida en la cabecera de la laguna. Si este proceso se incrementa, aportando grandes volúmenes de hielo sobre la laguna, incrementan el nivel de riesgo a lo largo de la subcuenca del río Pariac, incluyendo parte de la cuenca del río Santa.

Las morrenas laterales, actualmente se encuentra en condiciones de moderada a buena estabilidad, han sido erosionadas en gran porcentaje y se encuentran actualmente protegidas por una considerable cobertura vegetal. Es importante considerar que en la parte inferior de la morrena lateral derecha, existen

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

derrumbes locales y pequeños deslizamientos que podrían reactivarse con movimientos sísmicos de considerable magnitud.

El dique artificial de regulación ha sido construido sobre la morrena frontal, determinando una moderada a buena estabilidad de la laguna, sin embargo, el mantenimiento del espejo de agua (con un borde libre de baja altura) eleva las condiciones de vulnerabilidad ante una avalancha o caída de masas de hielo del frente glaciar sobre la laguna, lo cual podría generar oleajes que fácilmente podrían evacuar un gran volumen de agua hacia la quebrada, incluso con riesgo que el dique no pueda resistir el empuje hidrodinámico durante estos eventos.



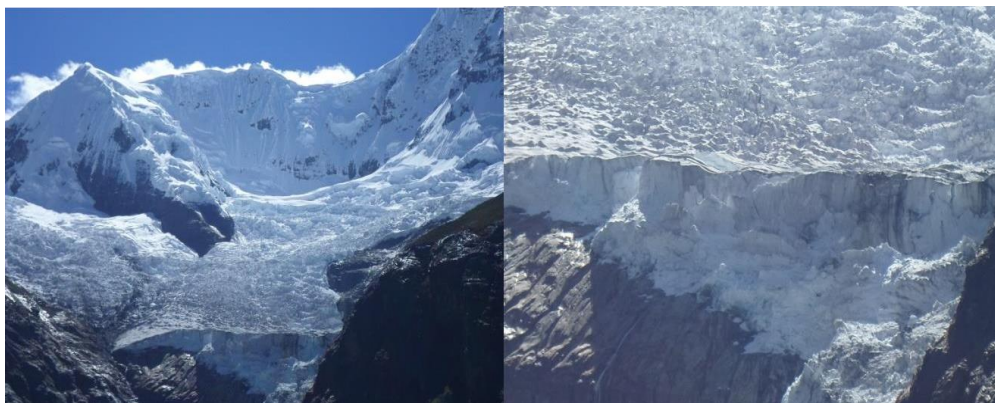
Fotografía N° 05.- Vista principal de los glaciares en la parte alta de la laguna Rajucolta. Se observa la pérdida de volumen por desplome de masas de hielo, dejando descubierta la roca base. Estos sectores son muy inestables debido a la pendiente de los frentes glaciares.

➤ **Inestabilidad de taludes**

El comportamiento de los taludes como se mencionó en párrafos anteriores, se analiza desde dos factores: el primero referido a las características del frente glaciar ubicado entre los dos picos en la parte alta de la laguna, con grandes dimensiones, espesor mayor a los 20 o 30 m, sobre una ladera de montaña con fuerte pendiente, que se desplaza lentamente en favor de la pendiente, dando lugar al desplome de pequeñas masas de hielo que pierden estabilidad en la parte inferior por efecto del cambio climático; éstos, caen sobre una pequeña lengua glaciar reconstituida en la cabecera de la laguna, siendo un proceso constante originado por inestabilidad de taludes en el frente glaciar, que se incrementaría potencialmente ante la ocurrencia de un movimiento sísmico de considerable magnitud (ver fotografía N° 06).

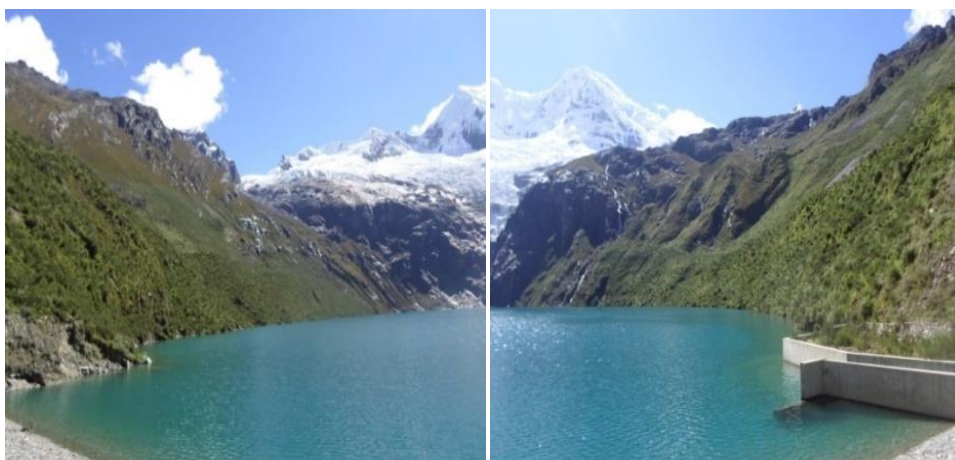


“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”



Fotografía N° 06.- En la vista izquierda, se observa la lengua glaciar con gran dinámica sobre la laguna Rajucolta. En la vista derecha, se observa taludes verticales inestables que marcan el retroceso del frente glaciar, que favorece la caída de masas de hielo hacia la laguna.

El otro aspecto, se relaciona a las condiciones actuales de las morrenas laterales, con moderada a buena estabilidad, por haber sido erosionadas en gran porcentaje y se encuentran actualmente protegidas por una considerable cobertura vegetal. Sin embargo es importante resaltar que en la parte inferior de la morrena lateral derecha, existen derrumbes locales y pequeños deslizamientos por inestabilidad de taludes, que podrían reactivarse con movimientos sísmicos de considerable magnitud, siendo necesario dimensionar y monitorear estos procesos en épocas de estiaje y cuando el espejo de agua de la laguna se encuentre en su nivel inferior, con la finalidad de considerar medidas preventivas para estabilizar este sector de la morrena (ver fotografía N° 07).



Fotografía N° 07.- Talud derecho e izquierdo de la laguna Rajucolta. En ambas márgenes se observa la presencia de morrenas erosionadas desde la parte media hacia la boquilla de salida, resaltando en forma local procesos erosivos en la base de los taludes cerca de la presa de regulación, mientras que hacia la cabecera, predominan afloramientos de rocas con pequeños torrentes y mejor estabilidad.



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

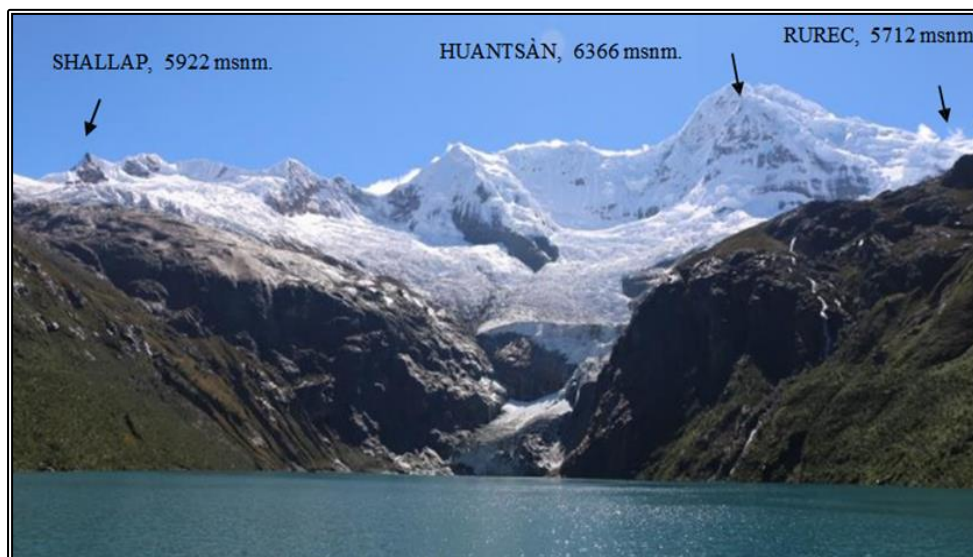
V. GLACIARES

La Cordillera Blanca presenta huellas muy marcadas de las glaciaciones pleistocénicas y holocénicas; este modelo se puede observar especialmente a partir de los 3500 m.s.n.m. de altitud con la presencia de circos glaciares, depósitos morrénicos, valles en forma de “U”, superficies rocosas bien pulimentadas y lagunas glaciares.

Durante varios períodos de retroceso y avance, los glaciares han depositado numerosos grupos de morrenas ubicadas en diferentes altitudes, evidenciando varios períodos y niveles de actividad glacial.

Los cuerpos glaciares del sistema Huantsán se localizan en la cabecera de la laguna Rajucolta, donde el glaciar Huantsán está ubicada en la parte central de la cabecera, y los glaciares Shallap y Rurec ocupan parte de la cabecera de la referida laguna.

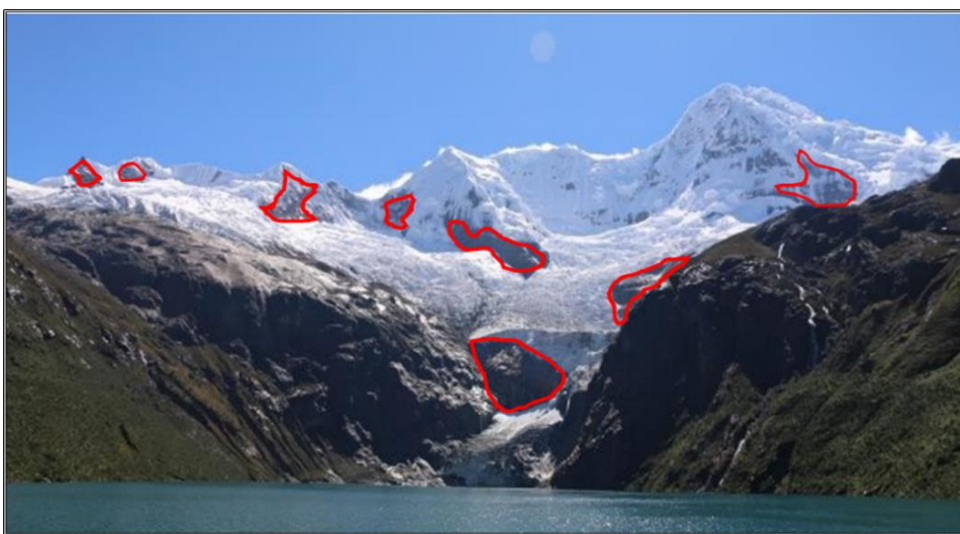
El glaciar Huantsán está ubicado en las coordenadas UTM WGS 84245106 Este y 8947448 Norte, con una dirección suroeste, cubriendo una superficie glacial de 9,21 Km², a una altitud máxima de 6366 m.s.n.m. y mínima de 4299 m.s.n.m. (UGRH-ANA 2014) (ver fotografía N° 08).



Fotografía N° 08.- Laguna Rajucolta, al pie del glaciar Huantsán en contacto con la parte frontal de la lengua glacial. Obsérvese parte de los glaciares Shallap y Rurec, así como el gran crecimiento de la laguna.

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

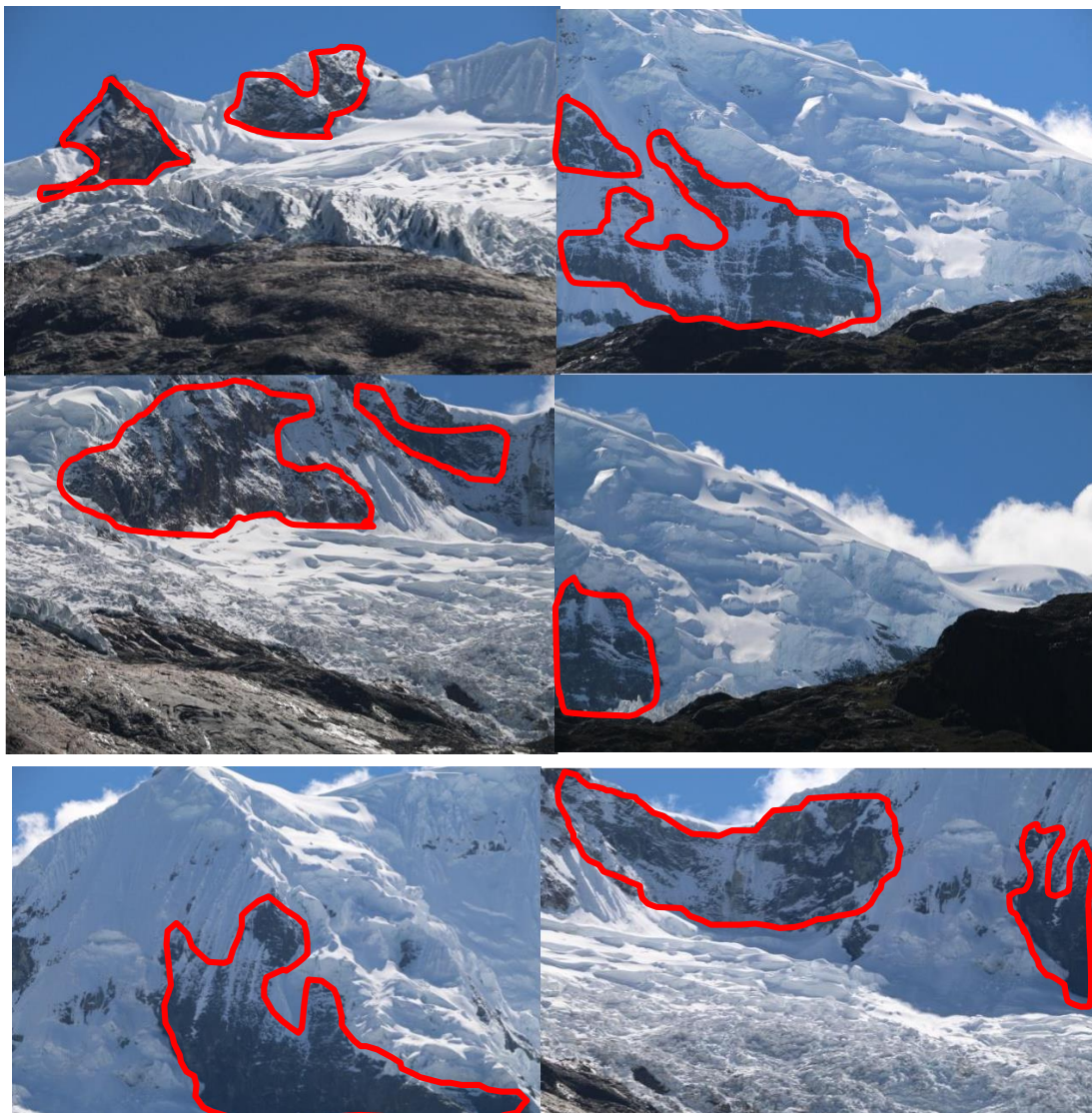
Asimismo, se observan importantes sectores del glaciar con presencia de afloramientos rocosos, debido a la fuerte pendiente de estos, y por efecto del incremento de temperatura, se origina la pérdida de estabilidad del frente glaciar. Este proceso se traduce en desprendimiento, desplome o deslizamiento de masas de hielo y nieve sobre el glaciar, dejando las rocas expuestas con alto contenido de minerales pesados que originan el drenaje ácido de las rocas (DAR), fuente de contaminación natural sobre las aguas que discurren hacia la laguna Rajucolta, que podría incrementarse por una mayor pérdida del glaciar (ver fotografías N° 09 y 10).



Fotografía N° 09.- Se observa roca expuesta a través del tiempo por efecto del desprendimiento, desplome o deslizamiento de hielo y nieve, por la pérdida de adherencia del hielo a la roca, así como del retroceso o pérdida de masa glaciar, ocasionado por el incremento de la temperatura.



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



Fotografía N° 10.- Se observa rocas expuestas en fuertes pendientes, que a través del tiempo absorbe energía solar y luego actúa como cuerpo negro, que permite el deshielo y consecuentemente la desestabilización de masas de hielo y nieve que se encuentran en el entorno y sobre dichos espacios

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

VI. LAGUNAS

- **Descripción general de laguna**

Morfológicamente, la laguna Rajucolta, se ha formado por acción glaciar, cerrada por depósitos morrénicos de considerable altura: dos morrenas laterales con buena estabilidad y una morrena frontal de menor altura que ha sido erosionada, permitiendo el desagüe natural de la laguna a medida que la lengua glaciar retrocedía por calentamiento global. Sobre la morrena frontal, se ha construido un dique de regulación de 22,7 m de altura compuesto por un ducto controlado por una compuerta y un aliviadero para liberar demasías en caso de incrementarse el volumen en forma excesiva. Hacia la cabecera la laguna se encuentra en contacto con una pequeña lengua glaciar reconstituida y hacia las partes altas existen frentes de glaciares colgantes que al desplomarse, podrían originar avalanchas y oleajes en la laguna.

La laguna Rajucolta de origen glaciar, tiene forma elíptica, y es el inicio de la quebrada Pariac que forma un valle de origen glaciar con pendiente moderada cerca de la laguna y pendiente baja en la planicie (ver fotografía N° 11); se encuentra al pie del glaciar Huantsán que tiene una altitud de 6366 m.s.n.m., esta laguna recibe aporte hídrico de 2 lagunas que se encuentran en la parte alta, por el lado derecho la laguna Huamash, lado izquierdo la laguna Almac, también se puede apreciar el aporte del sistema glaciar Huantsán por ablación de su masa glaciar y el aporte periódico de las lluvias.



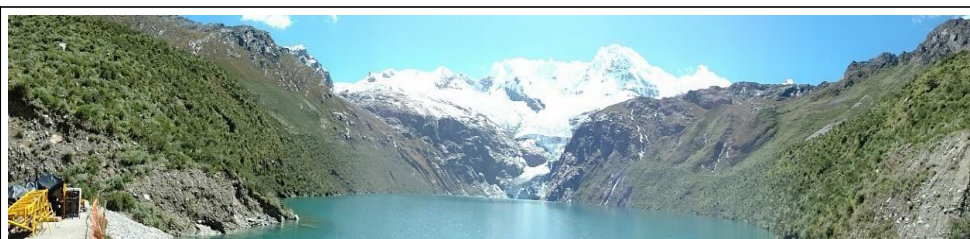
Fotografía N° 11.- Vista panorámica de la quebrada Pariac, aguas abajo de la presa de regulación. Se observa la planicie fluvio-glaciar

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

con baja pendiente que podría disipar el impacto de un potencial desborde de la laguna.

Según datos de la Batimetría 2004, realizada por la UGRH, las dimensiones de esta laguna son las siguientes: nivel del espejo de agua 4272,71 m.s.n.m.; longitud máxima de 1428 m; ancho máximo de 493 m; profundidad máxima de 72,7 m, superficie de 512723 m² y volumen de 17546151 m³.

El vaso de la laguna limita con afloramientos rocosos hacia la cabecera y dos morrenas laterales, siendo la más larga sobre la margen derecha (ver fotografía N° 12 y figura N° 03).



Fotografía N° 12.- Vista panorámica de la laguna Rajucolta

Laguna en 2D



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

Figura N° 03.- Vista principal de la laguna Rajucolta, formada por horadación de la roca debido a la acción glacial y desarrollo de morrenas, durante el proceso de la corriente glacial principal (Imagen Google Earth - 2016).

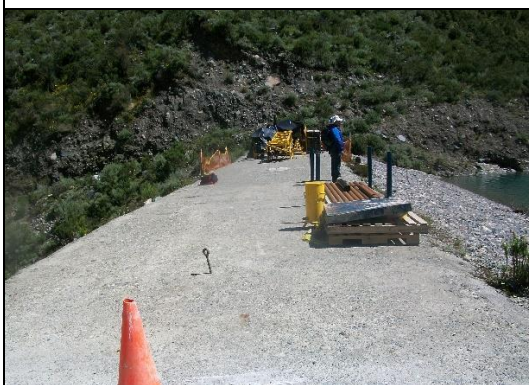
En esta laguna, la empresa DUKE ENERGY, ha construido una obra de regulación entre los años 2003 y 2004 (ver fotografías N° 13 - 20), con las siguientes características: Nivel de agua máximo de operación (NAMO) 4290,88 m.s.n.m., volumen útil $9 \times 10^6 \text{ m}^3$, nivel aguas máximas excepcionales (NAME) 4292,08 m.s.n.m., nivel del volumen muerto (NAMI) 4274,88 m.s.n.m. y borde libre es aproximadamente de 3,7 m. La presa artificial tiene un ancho de corona de 5,50 m; longitud de corona 53,50m; cota de corona 4294,58 m.s.n.m.; altura de 22,70 m (altura máxima desde la fundación) y un borde libre de 3,7 m.



Fotografía N° 13.- Vista del talud aguas abajo o cara exterior de la presa.



Fotografía N° 14.- Vista del talud aguas arriba o cara interior de la presa.



Fotografía N° 15.- Vista de la corona de la presa.



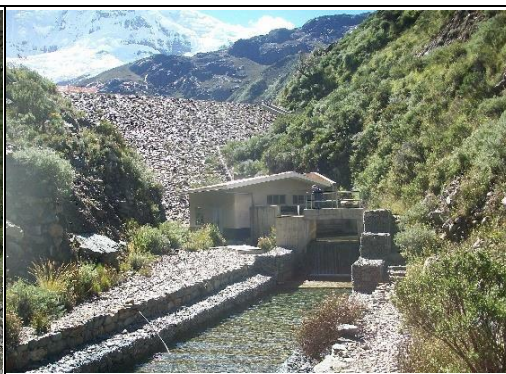
Fotografía N° 16.- Parte del tramo inicial del aliviadero-vertedero.

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

El



Fotografía N° 17.- Vista del aliviadero (rápida).



Fotografía N° 18.- Vista de la caseta de válvulas del conducto de descarga y la Cámara de Impacto.

caudal de salida de esta laguna es por rebose de $1,40 \text{ m}^3/\text{s}$, a través de un aliviadero con 150 m de longitud. El diseño de descarga máxima del aliviadero es $8,30 \text{ m}^3/\text{s}$ y cuenta con un conducto de descarga de 111 m de longitud ubicado a 22,70 m de profundidad a partir de la corona con una capacidad de descarga mínima de $3 \text{ m}^3/\text{s}$.



Fotografía N° 19.- Cabezal del piezómetro tipo Casagrande que se ubica en el talud aguas abajo de la presa.



Fotografía N° 20.- Punto de nivelación o asentamiento, ubicado en el talud aguas abajo de la presa.

La presa cuenta con 4 piezómetros tipo Casagrande, 5 hitos topográficos desde donde se realiza el control de nivelación o asentamiento, 3 puntos de alineamiento para el control de desfase de la presa. En la parte baja de la presa hay un vertedero para medir el caudal de salida de aguas de filtración donde se midió un caudal de $0,01 \text{ m}^3/\text{s}$ (ver cuadro N° 02).



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

VII. ECOSISTEMAS

En la parte alta de la subcuenca se observa diferentes tipos de 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 nevados, lagunas, pajonales, bofedales, bosques altoandinos y matorrales (ver fotografía N° 21).



Fotografía N° 21.- Vista panorámica de la quebrada Pariac, resaltando importantes ecosistemas cerca de la laguna Rajucolta.

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 bosques relictos son importantes por el gran potencial hídrico que representan y como hábitats de un sinnúmero de especies de flora y fauna que representan una gran biodiversidad.

En la subcuenca del río Pariac, durante los trabajos de campo se ha observado que los nevados representan dos importantes variables ambientales: uno 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 y otro desde el punto de gestión del riesgo, en base a lo cual se evalúa las características de los frentes glaciares



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

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.

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

Esta laguna está rodeada por 2 lagunas menores que se encuentran en la parte alta y a su vez contribuyen con el aporte hídrico hacia la laguna mencionada, una de ellas por la margen derecha denominada laguna Huamash y la otra por la margen izquierda denominada laguna Almac, la laguna Rajucolta también es alimentada por el aporte de fusión del nevado Huantsán

La subcuenca del río Pariac es tributaria de la cuenca del río Santa por su margen derecha, tiene una superficie de 107,36 Km² y en la parte alta se encuentra la laguna Rajucolta, donde se inicia la quebrada Pariac. Al año 2002 la laguna Rajucolta, tenía una temperatura mínima entre 12 y 13 °C en los meses de lluvia (diciembre-marzo) y para los meses restantes es de 13-14 °C, con una humedad relativa más baja durante todo el año, entre 66-76%, bajando relativamente en el resto del año a 57% promedio y una precipitación promedio anual de 1070,5 mm/año (ver figura N° 04).

Esta laguna se encuentra represada por la empresa Duke Energy, la cual regula el caudal de salida en las estaciones secas y húmedas, habiendo encontrado un caudal de salida de la represa de 1,46 m³/seg.



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

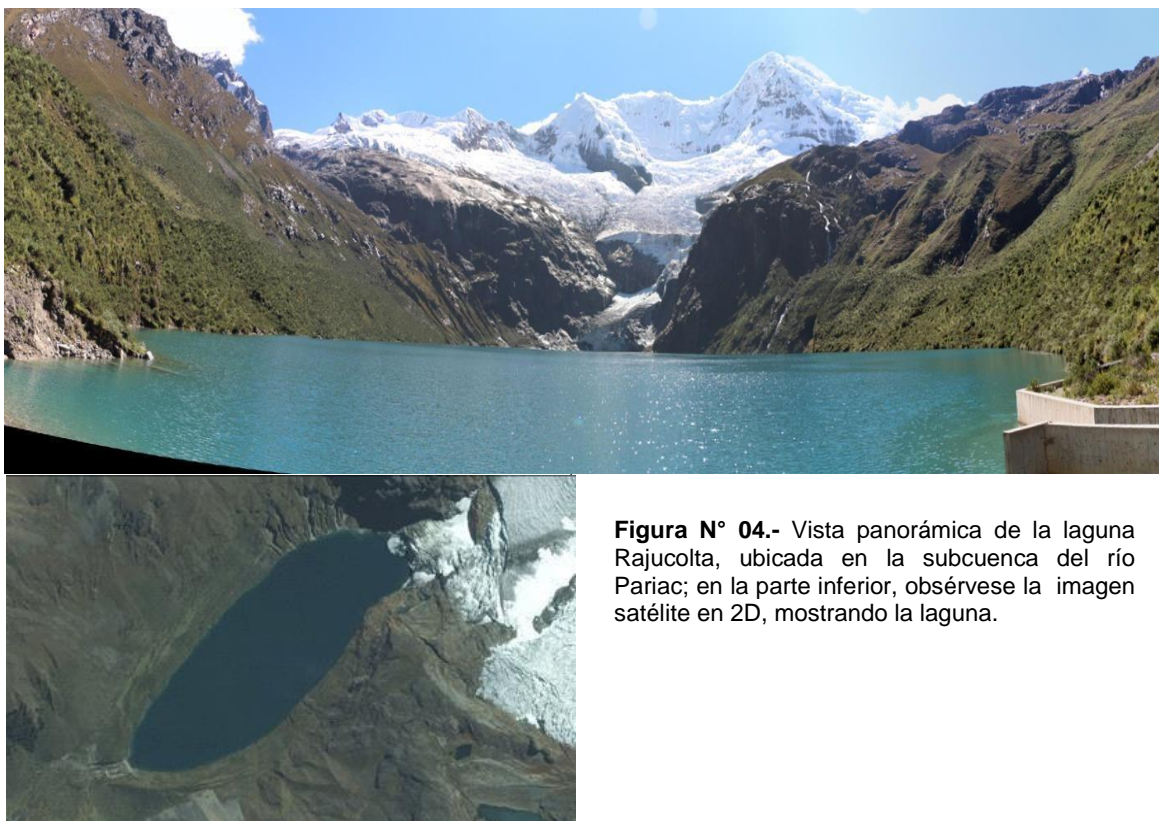


Figura N° 04.- Vista panorámica de la laguna Rajucolta, ubicada en la subcuenca del río Pariac; en la parte inferior, obsérvese la imagen satélite en 2D, mostrando la laguna.

En el año 2004, la Duke Energy S.A., instaló la estación hidrometeorológica en la laguna Rajucolta, donde construyó una presa de regulación. Por no contar actualmente con información de esta estación, se generó información hidrometeorológica en base a estaciones vecinas a esta subcuenca (ver cuadros N° 03 y 04)

Cuadro N° 03.

Temperatura media mensual – °C	5,0
Evaporación total mensual – mm	1146,0
Precipitación total mensual – mm	950,0

Fuente: Estudio de Ingeniería para la Regulación de la laguna Rajucolta, CESEL S.A., 2002.



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

Cuadro N° 04

Caudales de salida de laguna Rajucolta (m³/s)

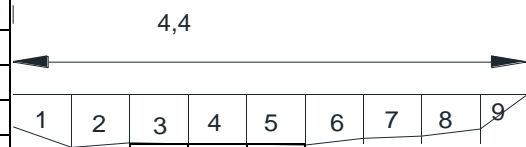
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
1989	0,672	0,693	0,761	0,704	0,535	0,377	0,269	0,248	0,237	0,273	0,402	0,600	0,481
1990	0,783	0,830	0,801	0,765	0,560	0,442	0,366	0,312	0,312	0,377	0,478	0,578	0,550
1991	0,754	0,830	0,916	0,840	0,650	0,442	0,345	0,294	0,277	0,309	0,384	0,549	0,549
1992	0,707	0,822	0,830	0,743	0,582	0,413	0,323	0,284	0,284	0,305	0,402	0,600	0,525
1993	0,650	0,729	0,819	0,747	0,578	0,438	0,334	0,284	0,370	0,388	0,420	0,549	0,526
1994	0,661	0,743	0,833	0,808	0,636	0,424	0,280	0,251	0,230	0,244	0,348	0,510	0,497
1995	0,815	0,898	0,901	0,948	0,664	0,452	0,338	0,298	0,316	0,373	0,467	0,600	0,589
1996	0,686	0,747	0,801	0,700	0,531	0,420	0,338	0,294	0,334	0,391	0,506	0,625	0,531
1997	0,740	0,769	0,758	0,650	0,510	0,399	0,334	0,298	0,330	0,366	0,496	0,736	0,532
1998	0,944	0,930	0,916	0,905	0,707	0,521	0,427	0,377	0,388	0,413	0,521	0,804	0,654
1999	1,016	0,959	0,891	0,804	0,582	0,420	0,341	0,320	0,370	0,391	0,485	0,575	0,596
MEDIA	0,766	0,814	0,839	0,783	0,594	0,432	0,336	0,296	0,313	0,348	0,446	0,611	0,548
MAX	1,016	0,959	0,916	0,948	0,707	0,521	0,427	0,377	0,388	0,413	0,521	0,804	0,654
MIN	0,650	0,693	0,758	0,650	0,510	0,377	0,269	0,248	0,230	0,244	0,348	0,510	0,095

Fuente: Estudio de Ingeniería para la Regulación de la laguna Rajucolta, CESEL S.A., 2002.

En la inspección de campo realizada, se aforó el caudal saliente de la Laguna Rajucolta, obteniendo 1,46 m³/s (ver cuadro N° 05).

Cuadro N° 05

PUNTOS	Ht	D	VELOCIDAD (m/seg)	CAUDAL (m³/seg)
0	0,28	0	0,75	0,0744
1	0,46	0,5	0,588	0,1098
2	0,42	1	0,58	0,1463
3	0,43	1,5	1,14	0,1518
4	0,43	2	1,26	0,0989
5	0,43	2,5	0,46	0,2709
6	0,44	3	0,69	0,2451
7	0,38	3,5	0,77	0,1218
8	0,36	4	0,61	0,1352
9	0,3	4,4	0,62	0,1050
			Q total	1,4592



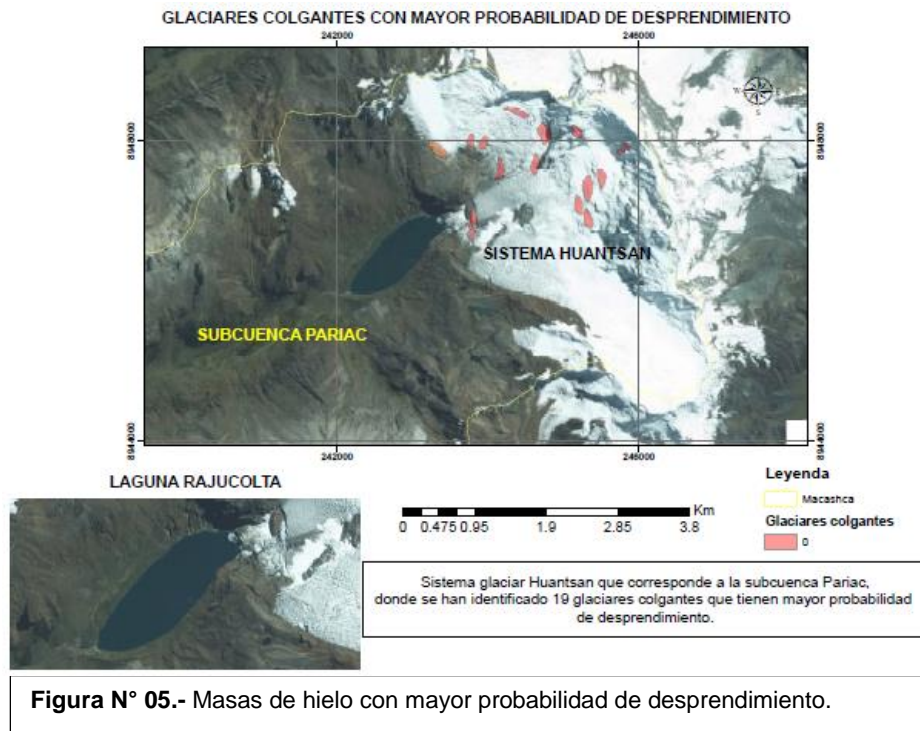


“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”

IX. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

9.1 Condiciones de peligrosidad en glaciares

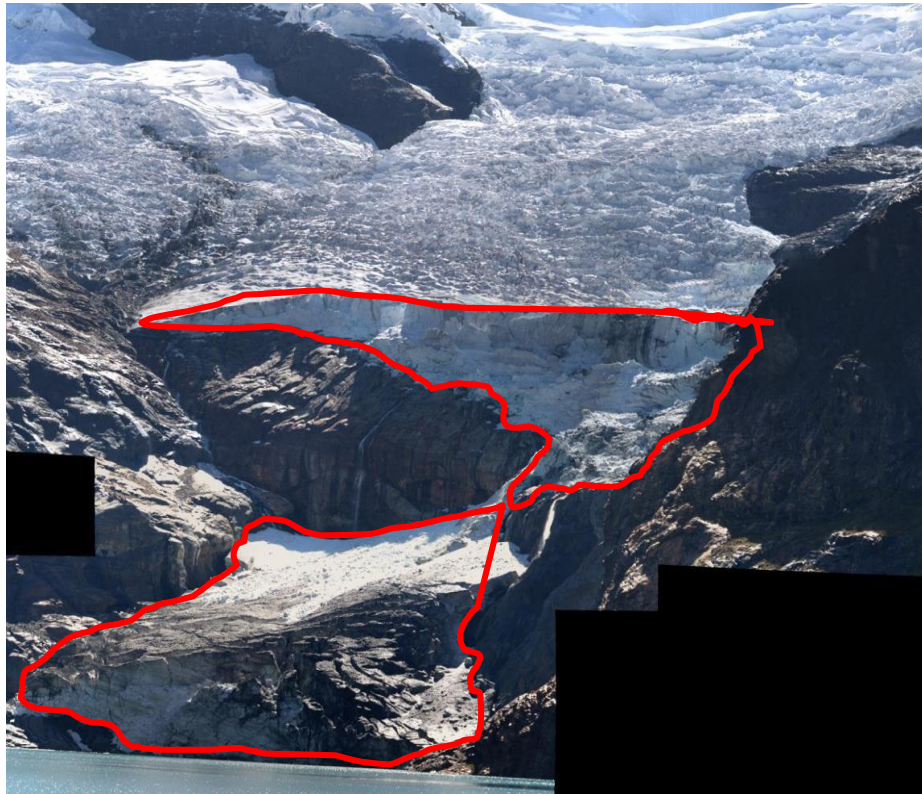
Se realizó un mapeo de la zona del sistema Huantsán, donde se han identificado 19 masas de hielo y glaciares con mayor probabilidad de desprendimiento, deslizamiento o desplome, que podrían generar un oleaje y posible desborde (ver figura N° 05).



Las masas de hielo en mención tienen la posibilidad de desprenderse, sin embargo la probabilidad depende de muchos factores como los atmosféricos y climáticos, que podrían generar un desequilibrio del sistema en sí. En las fotografías N° 22 y 23, se observa la lengua glaciar con fuerte pendiente, formando acantilados por desprendimiento de masas de hielo, así mismo, la sección del glaciar en contacto con la laguna muestra un acelerado proceso de pérdida de masa, disminuyendo la probabilidad de ocurrencia de grandes oleajes.



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



Fotografía N° 22.- Se muestra el glaciar que aún mantiene contacto con la laguna Rajucolta. En los polígonos delimitados con rojo se muestra las masas de hielo con mayor dinámica por presión del flujo de hielo que ejerce la lengua del glaciar sobre ese remanente.



Fotografía N° 23.- Comparación fotográfica de los años 2012 (setiembre) y 2016 (abril), donde se aprecia la pérdida considerable de masas de hielo del frente glaciar en contacto con la laguna y un acentuado crecimiento de la exposición de la roca en la parte alta.



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

9.2 Condiciones de Peligrosidad en la Laguna

Las condiciones de peligrosidad de la laguna Rajucolta se estiman de alto a moderado, lo cual se puede explicar desde dos aspectos: uno a partir de la presencia de una considerable lengua glaciar en la parte alta de la laguna, desde donde podrían caer grandes volúmenes de hielo generando oleajes con desborde de la laguna hacia la quebrada Pariac y la segunda en relación al diseño de construcción del dique de regulación que soporta fluctuaciones del nivel del espejo de agua por empuje hidrostático sobre el talud interior del dique. El diseño del dique es de tierra revestida con roca y malla metálica, que podría colapsar en caso de desborde de la laguna y/o por efecto de un evento sísmico de gran magnitud.

El desborde de esta laguna podría desplazar grandes volúmenes de agua a lo largo de la quebrada Pariac, que a pesar de tener bajas pendientes en la cabecera, se incrementa hacia la parte baja y podría causar grandes daños en las áreas cultivables, ganadería, infraestructura, así como en la localidad de Macashca e incluso hasta la ciudad de Huaraz, y otras áreas inundables del río Santa, que se encuentran emplazadas dentro de la zona de influencia de un eventual aluvión. (ver fotografía N° 24).



Fotografía N° 24.- Izquierda, vista panorámica de la parte alta de la quebrada Pariac, con bajas pendientes y abundante presencia de bofedales; a la derecha, Colegio principal en la localidad de Macashca, protegido por sacos de arena ante un posible desborde de la laguna Rajucolta.

En este sentido es importante monitorear permanentemente las condiciones dinámicas de la lengua glaciar sobre la cabecera de la laguna.



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

A) Condiciones Naturales:

Los desprendimientos observados al fondo de la laguna, son pequeños, que no generan olas de gran altura que podría desbordar la presa, pero la caída considerable de una avalancha originaría un desborde del embalse de la laguna Rajucolta, que implicaría un aluvión, el cual recorrería por toda la quebrada del río Pariac, primero llegaría el flujo de escombros al C.P. de Macashca y luego al pueblo de Pariac y finalmente al río Santa (ver figura N° 06)



Cabecera de la Laguna.- En este sector predomina el afloramiento rocoso de buena competencia, formando taludes con fuerte pendiente, en la parte central se encuentra la lengua glaciaria reconstituida en contacto con la laguna con un área aproximada de 0,083 Km². El factor que representa cierto nivel de peligrosidad es el frente glaciario en contacto con la laguna, desde donde podrían desplomarse masas de hielo de considerable dimensión que generarían oleajes originando desbordes, estos eventos podrían incrementarse con la ocurrencia de un evento sísmico (ver fotografía N° 25).

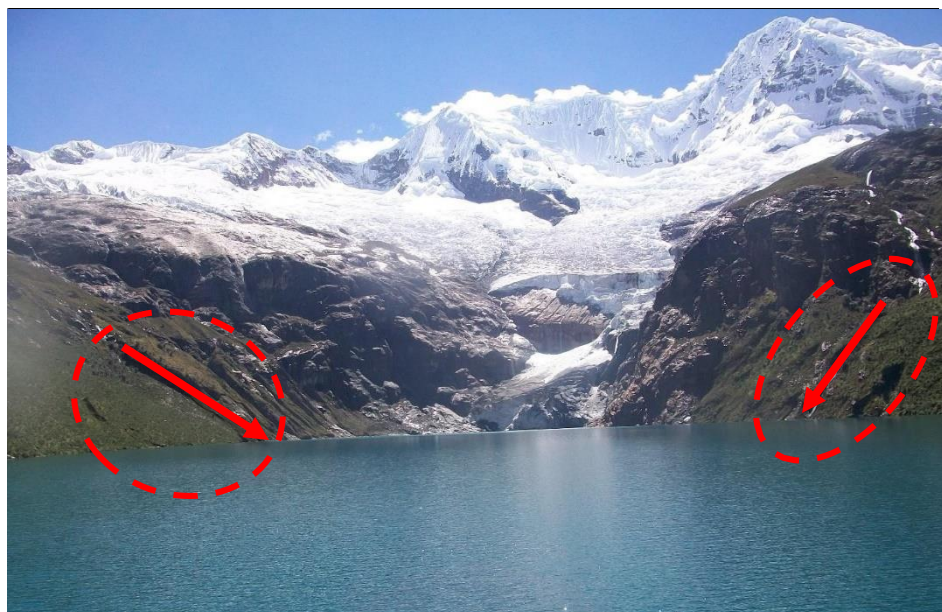


“Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú”
“Año de la consolidación del Mar de Grau”



Fotografía N° 25.- Vista del área glaciara que se encuentra en contacto con el espejo de la laguna, pero en parte se pudo observar afloramiento de roca donde muestra que la laguna ha llegado a su máximo nivel.

Hacia el fondo de la laguna, en contacto entre la roca y la morrena se observan procesos geodinámicos bastante activos, manifestándose con pequeños derrumbes y deslizamientos favorecidos por la presencia de agua proveniente de los glaciares. El nivel de peligrosidad es bajo por ser torrentes con poco volumen (ver fotografía N° 26).



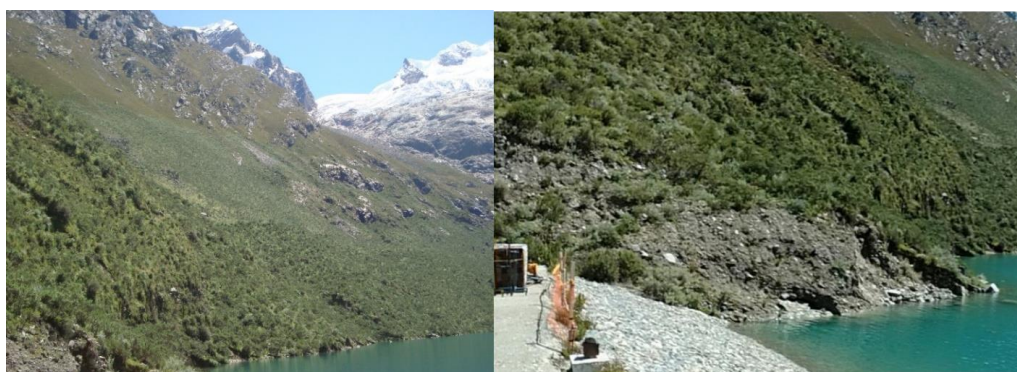
Fotografía N° 26.- Se muestra el movimiento de las morrenas que existen al fondo de la laguna, que es debido a la saturación del material como se puede observar existen torrentes que favorecen al deslizamiento.

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

Margen Derecha del Vaso.- La margen derecha de la laguna está conformada por material morrénico sobre el farallón rocoso, este talud tiene buenas condiciones de estabilidad debido a la cobertura vegetal y tiene una inclinación aproximada de 45° a 50°, sin embargo hacia la sección anterior en contacto con la presa de regulación existe

una morrena erosionada con derrumbes y asentamientos en forma local, en esta margen se observa en la zona de la boquilla deslizamientos de material morrénico que es originado por la escorrentía superficial (lluvias). Sobre esta margen la laguna Rajucolta es alimentada desde la parte alta por la laguna Huamash.

Un evento sísmico de considerable magnitud podría arrastrar gran cantidad de material sobre el espejo de agua, generando oleajes y desborde de la laguna (ver fotografías N° 27).



Fotografía N° 27.- Vista izquierda, se observa el talud derecho de la laguna con afloramiento rocoso cubierto de vegetación, en la parte delantera conformado de material morrénico. Vista derecha, deslizamiento en la base del talud derecho, cerca de la boquilla de la presa.

Margen Izquierda del Vaso: En este talud predomina material morrénico con cierta estabilidad, protegido por la cobertura vegetal, tiene pendiente promedio de 45°, donde se incrementa la inestabilidad del material favorecido por la escorrentía superficial (lluvias). Sobre esta margen se observa el aporte hídrico desde la parte alta de la laguna Almac.

En la parte media y alta de las laderas se observan depósitos de coluvios inestables originados por intemperismo y meteorización de afloramientos rocosos ubicados en la parte alta. Un evento sísmico de considerable



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

magnitud podría originar deslizamientos y asentamientos en masa que podrían impactar sobre la laguna (ver fotografías N° 28).



Fotografía N° 28.- En esta vista se observa material morrénico con buena estabilidad, protegido por cobertura vegetal, donde sobresalen pequeños depósitos coluviales en las laderas con muy baja estabilidad (vista izquierda). Inestabilidad del talud en la boquilla originada por las lluvias estacionales (vista derecha).

B) Obras de Regulación:

Presa:

Sobre la boquilla de la laguna o dique natural se ha construido una presa de tierra y protegida en el talud aguas arriba con colchones Reno y el talud aguas abajo con enrocado. La corona de la presa tiene una longitud de 53,50m con ancho de 5,50 m y una altura de 22,70 m. La presa se regula a través de un conducto de descarga que llega a la caseta de válvulas construida en el talud externo de la presa, desde acá se conecta a un vertedero de pared gruesa y luego sigue un canal rectangular de 25 m de longitud construido con gaviones. En el extremo izquierdo de la presa existe un aliviadero de 150 m de longitud que se utiliza como rebose de seguridad (ver fotografía N° 29). El análisis de peligros potenciales se encuentra en relación a dos aspectos importantes: i) El desborde de la laguna con gran volumen de agua originado por una avalancha de la cuenca glaciar y/o derrumbes y asentamientos de los taludes laterales que son favorecidos por la baja altura del borde libre de la presa (3,70 m – durante la inspección). Cuyos impactos podrían afectar a toda la subcuenca Pariac causando daños en Macashca y Pariac; ii) Fallas estructurales en el diseño de la presa, acelerada por la ocurrencia de un evento sísmico, esto podría traducirse en el fenómeno de tubificación, obstrucción del conducto de regulación y colapso de la presa que podría

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

generar un desagüe violento de la laguna (9 MMC regulados) con daños incalculables sobre la subcuenca del río Pariac y en la cuenca del río Santa.



Fotografía N° 29.- En la vista se observa las características físicas de la presa, la casa de válvula, vertedero con su respectivo canal y un vertedero para medir el caudal de filtración (círculo rojo).

X. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Las condiciones de peligrosidad de la laguna Rajucolta se estiman de alto a moderado, lo cual se puede explicar desde dos aspectos: uno con respecto a la presencia de una lengua glaciar de considerable dimensión ubicada en la parte alta de la laguna, desde donde podrían caer grandes avalanchas generando oleajes que sobrepasen el dique construido y den lugar a un aluvión de gran magnitud que podría afectar las localidades ubicadas en la parte baja como Macashca e incluso hasta Huaraz, y otro con respecto al diseño de construcción del dique de regulación, el cual es de poca altura y soporta una considerable fuerza hidráulica sobre el talud interior de la laguna.
- Las condiciones de peligrosidad están relacionadas con la presencia de masas de hielo en los frentes glaciares, ocurriendo desplomes que generan avalanchas que en parte son fragmentadas antes de llegar a la laguna, sin embargo un evento sísmico de gran magnitud podría cambiar drásticamente estas condiciones. El oleaje generado sobre la laguna a partir de avalanchas de gran volumen podría originar desbordes de la laguna y aluvión a lo largo de la quebrada Pariac.



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

- Se han identificado 19 masas de hielo colgantes que al desprenderse, podrían generar oleaje e incrementar en forma considerable el volumen de la laguna; además se observa que el glaciar aún mantiene contacto con la laguna.
- Sobre la boquilla de cierre o dique natural, la empresa Duke Energy S.A. ha construido una presa de regulación para mejorar la oferta hídrica para la C.H. Cañón del Pato; es una presa de tierra con revestimiento de roca con las siguientes características: borde libre 3,70 m, altura de presa 22,70 m, ancho de corona 5,50 m y longitud de corona 53,50. La obra se compone de un ducto de descarga, caseta de válvulas y aliviadero y se encuentra operando normalmente, siendo importante su evaluación y monitoreo permanente para prevenir fallas en el diseño estructural.
- La superficie glaciar según el inventario de la UGRH – ANA, 2014, en el sistema Huantsán alcanza un área de 9,21 km² y en comparación con la información del inventario de glaciares de 1970 que registraba una superficie de 9,50 km², se encuentra que hay una pérdida de 0,29 km².
- Las características físicas del vaso indican mayor presencia de afloramientos de roca competente hacia la cabecera de la laguna; sin embargo, la parte inferior de la lengua glaciar se encuentra en contacto con el espejo de agua, originando desplomes, caídas y desprendimientos.
- En ambos márgenes de la laguna sobresalen morrenas erosionadas con moderada estabilidad, protegidas por la densa vegetación existente; sin embargo, hacia la presa predomina material morrénico en laderas con fuerte pendiente que podrían generar derrumbes o deslizamientos con potencial desborde de la laguna.

XI. RECOMENDACIONES

- Evaluar y monitorear la situación de los glaciares colgantes en la parte alta de la laguna que podrían generar desastres a lo largo de la quebrada Pariac.
- Generar modelos de flujos de escombros (aluviones) para evaluar los impactos que un desborde pueda ocasionar aguas abajo de la laguna y



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

proponer medidas de mitigación, estimando los niveles de riesgo en la subcuenca de la quebrada Pariac.

- Estimar las dimensiones de la lengua glaciar pasibles de deslizamiento en la parte alta de la laguna.

_____ O _____



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

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Duke Energy - CESEL S.A., 2002, Estudio de Ingeniería para la Regulación de la laguna Rajucolta
- Duke Energy - ECSA Ingenieros -2002, Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto de Regulación de la laguna Rajucolta (Tambillo)
- ELECTROPERU UC. Huaraz-1975; Memoria Bienal del Programa Glaciología y Seguridad de Lagunas 1973 – 1974.
- Institute of Rock Structure and Mechanics, PRAHA 2002, Acta Montana N° 19 (123) Serie A.
- UGRH - ANA. (2014). *Inventario de Glaciares de la Cordillera blanca*. Huaraz: UGRH - ANA.



“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



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

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 glaciaria 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 glaciaria 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.