



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto Nacional de Investigación
en Glaciares y Ecosistemas de Montaña



“Año del diálogo y la Reconciliación Nacional”

MINISTERIO DEL AMBIENTE

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

**DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN EN GLACIARES
SUBDIRECCIÓN DE RIESGOS ASOCIADOS A GLACIARES**

INFORME TÉCNICO N°07-2018-INAIGEM/DIG-SDRAG

*INFORME DE EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE
SEGURIDAD Y ENTORNO DE LA LAGUNA*

SAFUNA ALTA Y BAJA



Laguna Safuna Alta y Baja, Huaylas, Ancash.

ELABORADO POR:

**ING. ADRIANA CABALLERO BEDRIÑANA
BACH. HILBERT VILLAFANE GÓMEZ**

Huaraz, setiembre de 2018



CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	3
2.	OBJETIVOS	3
3.	GENERALIDADES	3
	3.1. Ubicación	3
	3.2. Accesibilidad	4
	3.3. Antecedentes	4
4.	METODOLOGÍA:.....	5
5.	RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
	5.1. Descripción geográfica.....	6
	5.2. Geotecnia.....	6
	5.3. Estado Actual de la Laguna y su Entorno:.....	7
	5.4. Obra de Seguridad.....	14
	5.5. Calidad del Agua de las Lagunas Safuna Alta y Baja.....	16
6.	CONCLUSIONES	17
7.	RECOMENDACIONES.....	17

ANEXOS:

ANEXO A: Resultados de los Ensayos de Mecánica de Suelos



1. INTRODUCCIÓN

La Dirección de Investigación en Glaciares del INAIGEM, como parte de sus actividades programadas, viene desarrollando la “Evaluación del estado actual de las obras de seguridad y las condiciones geológicas, geotécnicas y glaciológicas de las lagunas: Safuna Alta, Safuna Baja, Quitaracsa, Pucacocha, Lliullacocha y su entorno”, en razón de que se encuentran ubicadas en la sub cuenca Quitaracsa, y el desemboque de sus aguas atraviesa zonas pobladas y la Central Hidroeléctrica de Quitaracsa, provincia de Huaylas, en ese sentido, un eventual alud, afectaría a dichas zonas pobladas y la costosa infraestructura que representa una central hidroeléctrica, como la de Quitaracsa, generando tanto pérdidas de vidas humanas, como cuantiosas pérdidas económicas.

Es de precisar que, siendo los sismos fenómenos naturales causados por movimientos de las fallas geológicas en la corteza terrestre; estos producen ondas de diferentes tipos y de gran poder, las cuales viajan a través de las rocas; pudiendo activar deslizamientos de tierra. En caso de sismo, se genera un triple efecto: de aumento del esfuerzo cortante, disminución de la resistencia por incremento de la presión de poros y deformación, asociados con la onda sísmica; pudiéndose generar la falla al cortante y/o hasta la licuación en el caso de los suelos granulares saturados, que podría suceder en el caso de las morrenas que albergan a las lagunas de origen glaciar.

En ese contexto, es de precisar que previo a la inspección de campo realizada a la laguna Safuna Alta y Baja, se recopiló información documentaria de la Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos de la Autoridad Nacional del Agua, la misma que sirvió como referencia de las obras existentes, las cuales fueron constatadas in situ.

En la investigación de campo, realizada entre los días 24 al 25 de agosto de 2018, se identificó que, la laguna Safuna Alta cuenta con 2 túneles de descarga, los cuales se encuentran a un nivel superior del espejo de agua de la laguna, visualizándose que sus aguas drenan por filtración a través de la morrena frontal de la laguna. De otra parte, la laguna Safuna Baja, es alimentada por el agua que filtra de la laguna Safuna Alta; dicha situación, denota que existe un flujo permanente a través de la morrena frontal de Safuna Alta.

En ese contexto, se realizó la evaluación geotécnica de los depósitos glaciarios adyacentes que componen el vaso de almacenamiento de la laguna, a fin de realizar la evaluación de la estabilidad de dichos depósitos, y determinar el grado de peligro que representa para la estabilidad de la laguna.

2. OBJETIVOS

El objetivo de la evaluación de las obras de seguridad emplazadas en las lagunas Safuna Alta y Baja, es determinar su estado actual y el nivel de peligro que representa dicha laguna, para las poblaciones e infraestructura asentada aguas abajo.

3. GENERALIDADES

3.1. Ubicación

Las lagunas Safuna Alta y Baja, se ubica en la cabecera de la quebrada Tayapampa (tributario de la subcuenca del río Quitaracsa), al pie del glaciar Pucahirca, en la cuenca del Río Santa, Vertiente Occidental de la Cordillera Blanca (Figura N.º 01), a 4433 msnm, cuyas coordenadas corresponden a:

(212000.39 E, 9021521.79 S) y (211385.59 E, 9022348.12 S), de WGS84 y zona 18s, respectivamente. Políticamente se encuentran en el distrito de Yuracmarca, provincia de Huaylas, departamento de Ancash.

Figura N.º 01: Ubicación de las Laguna Safuna Alta y Baja



3.2. Accesibilidad

El acceso se realiza desde la ciudad de Huaraz - Carhuaz (31.6 Km) por carretera asfaltada, Carhuaz – Punta Olímpica (55.0 Km) carretera asfaltada, continuando por la misma vía, hasta la ciudad de Chacas (32.0 Km), se continua hasta la ciudad de San Luis (10.0 Km) por una vía afirmada, luego hasta la ciudad de Pomabamba (66.6 Km), a partir de donde se toma la vía hacia Palo Seco y luego hasta la Laguna Safuna (45.0 Km), (Ver Tabla N° 01).

Tabla N° 01. Acceso a las lagunas Alta y Baja

RUTA	VÍA	DISTANCIA (km)	TIEMPO (horas)	MEDIO
Huaraz - Carhuaz.	Asfaltada	31.6	0:45	Camioneta 4x4
Carhuaz – Punta Olímpica	Asfaltada	55.0	1:50	Camioneta 4x4
Punta Olímpica –Chacas	Asfaltada	32.0	0:30	Camioneta 4x4
Chacas – San Luis	Afirmada	10.0	0:20	Camioneta 4x4
San Luis - Pomabamba	Afirmada	66.6	3:00	Camioneta 4x4
Pomabamba – Palo Seco – Safuna Alta.	Afirmada	45.0	2:00	Camioneta 4x4

3.3. Antecedentes

Se tiene conocimiento que, en abril de 1970, como medida de seguridad, la Corporación Peruana del Santa, concluyó la ejecución de los trabajos correspondientes a un túnel de descarga de 115 m de largo, atravesando el depósito glaciárico frontal de la laguna Safuna Alta, con un conducto cerrado de concreto armado.

Posterior a ello, como consecuencia del sismo del 31 de mayo de 1970, se produjo un descenso brusco del nivel del espejo de agua de la laguna en aproximadamente 38 m, por medio de filtraciones a través del depósito glaciárico (morrena frontal) de la laguna Safuna alta.

La Corporación Peruana del Santa, a fin de evitar la elevación del espejo de agua de la laguna, ejecutó otro túnel de descarga, de 152.60 m de longitud, en la morrena frontal de la laguna, con un conducto cerrado de concreto armado y estructuras de



ingreso y salida, con un desnivel de 8.0 m del espejo de agua a la rasante del piso del túnel.

En el año 2002, a consecuencia de un derrumbe de la zona anterior del flanco izquierdo de Safuna Alta, se habría generado un oleaje, que supero la arista superior de la laguna (75 m con respecto al espejo de agua), destruyendo parte de la estructura de ingreso del segundo túnel y la totalidad del canal de salida y su poza de disipación; de igual manera, dicho suceso ocasionó, la erosión de la zona interior del vaso de la laguna, así también, zona superficial del depósito glaciárico frontal (Morrena frontal).

De acuerdo a la información que obra en la UGRH, se ha tomado conocimiento que, en abril de 2010, dicha institución realizó trabajos de batimetría en las lagunas de Safuna Alta y Baja, obteniéndose los siguientes resultados:

Laguna Safuna Alta: (28 de abril del 2010)

Área	:	334,358.76 m ² .
Volumen	:	15'524,434.96 m ³
Profundidad máxima	:	84.30 m.

Laguna Safuna Baja: (30 de abril del 2010)

Área	:	151,182.02 m ² .
Volumen	:	691,656.39 m ³
Profundidad máxima	:	12.8 m.

4. METODOLOGÍA:

La metodología aplicada, es la inspección directa en contraste con la información obtenida de manera preliminar.

Procedimientos:

1. Etapa de Campo:

Verificación in situ de lugar de emplazamiento de las lagunas Safuna Alta y Baja; determinándose su ubicación, características físicas y forma de drenaje de sus aguas; asimismo, caracterización geotécnica del entorno; así como la determinación de la existencia de glaciares colgados. Para dicho fin, se hizo uso de un GPS, una wincha, picotas de geólogo, binoculares, cámara fotográfica con GPS y bolsas para muestras.

Es de precisar que, en las lagunas Safuna Alta y Baja se obtuvieron muestras representativas de suelos de los depósitos glaciáricos, a fin de poder determinar parámetros de suelo en laboratorio y así realizar el análisis de la estabilidad de dichos depósitos.

2. Etapa de Gabinete:

Análisis de los datos técnicos obtenidos en campo del entorno de las lagunas Safuna Alta y Baja.

Evaluación probable comportamiento de los depósitos glaciáricos frente a las condiciones actuales de la laguna y su entorno.

5. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

5.1. Descripción geográfica

Las lagunas Safuna Alta y Safuna Baja, se sitúan al pie del glaciar Pucahirca, cabecera de la quebrada Tayapampa, distrito de Yuracmarca, provincia de Huaylas; hidrográficamente pertenece a la subcuenca del río Quitaracza, cuenca del río Santa, cordillera Blanca, cuyo espacio constituye un amplio valle interandino; el relieve topográfico es ondulado y muy accidentado, con zonas de pendiente moderada. Ver vista fotográfica N.º 01.

Fotografía N.º 01, Vista Panorámica de la Zona de Emplazamiento de las Laguna Safuna Alta y Baja

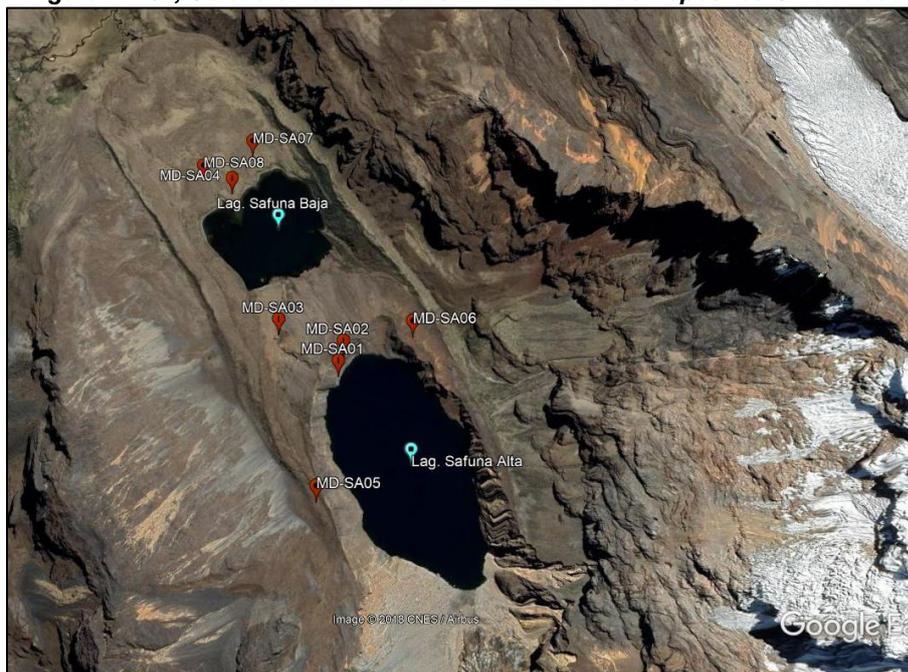


Fuente: INAIGEM 2018

5.2. Geotecnia

La investigación geotécnica realizada, comprende la determinación de las características físicas (Granulometría, Peso específico, Cohesión, Ángulo de Fricción, entre otros) de los depósitos glaciáricos adyacentes a la laguna y a las obras emplazadas en la misma, tomadas de muestras representativas; a fin de realizar la evaluación de la estabilidad de dichos depósitos y el peligro que representan para la estabilidad de la laguna.

En síntesis, se obtuvieron (8) muestras representativas en los depósitos glaciáricos frontales, por ser visiblemente los más propensos al colapso (Ver Figura N.º 02).

Figura N.º 02, Ubicación de Muestras Extraídas de los Depósitos Glaciáricos

Fuente: Google earth 2018

Tabla N.º 02: Resumen de Muestras Tomadas

Nº	Muestra	Ubicación (UTM) (E,N)		Prof. (m)	Nivel Freático (m)	Zona de Muestreo	Observaciones
1	MD - SA01	0211691	9021815	0.40	No hay	Trinchera	
2	MD - SA02	0211700	9021891	0.40	No hay	Trinchera	
3	MD - SA03	0211442	9021946	0.40	No hay	Trinchera	
4	MD - SA04	0211189	9022468	0.45	No hay	Trinchera	
5	MD - SA05	0211691	9021351	0.40	No hay	Trinchera	
6	MD - SA06	0211700	9021992	0.40	No hay	Trinchera	
7	MD - SA07	0211442	9022622	0.40	No hay	Trinchera	
8	MD - SA08	0211189	9022504	0.40	No hay	Trinchera	

Fuente: INAIGEM (setiembre 2018). Nota: (*) Datum WGS '84 Zona 18S

Las muestras de suelos fueron remitidas al laboratorio para la ejecución de ensayos de corte directo, a fin de obtener parámetros de suelos como cohesión C, ángulo de fricción ϕ , y peso específico de partículas sólidas, información que permitirá realizar el análisis de estabilidad de taludes de los depósitos glaciáricos y el peligro que representan para la estabilidad de la laguna.

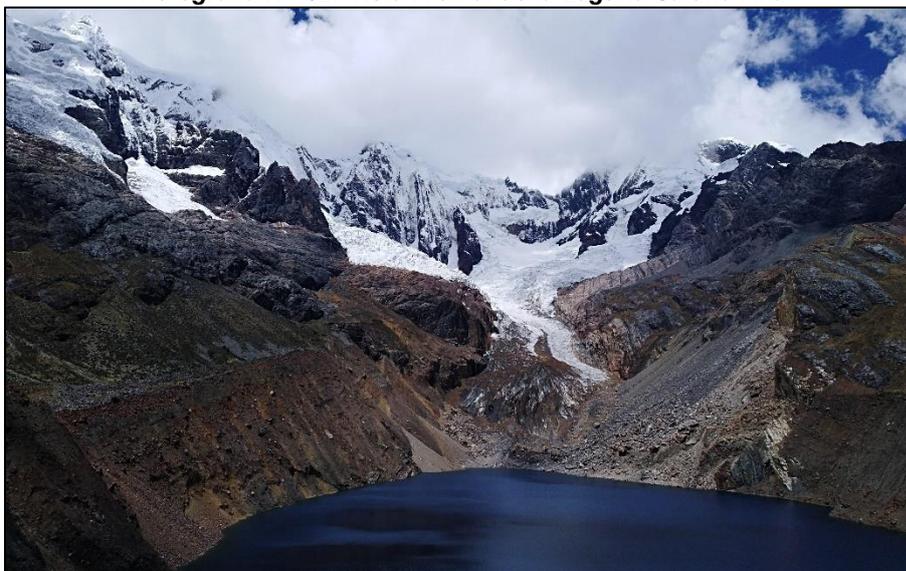
5.3. Estado Actual de la Laguna y su Entorno:

Las lagunas Safuna Alta y Baja, con cuerpos de agua, cuyo vaso de almacenamiento está formado, lateral y frontalmente por depósitos glaciáricos; cuyos volúmenes bordearían los 15'524,434.96 m³ y 691,656.39 m³, respectivamente; así también sus profundidades corresponderían a 84.30 m y 12.80 m (Fuente: UGRH-ANA, 2005).

Depósitos Glaciáricos:

Realizada la inspección física de los depósitos glaciáricos del entorno de la laguna Safuna alta, se identificó que, en la zona, se emplazan depósitos de fragmentos de roca en matriz de arena limosa de compacidad de media a alta, con la presencia de vegetación menor en un aproximado del 10% de su superficie. Dicho depósito, en su cara interior posee un talud aproximado de 75° , situación que denota, el alto grado de acomodo de sus partículas. No obstante, esta condición no se mantiene en la cara exterior de dicho depósito, visualizándose en ella una compacidad de media a baja, y un talud promedio aproximado de 45° .

Fotografía N.° 02: Vista Frontal de la Laguna Safuna Alta



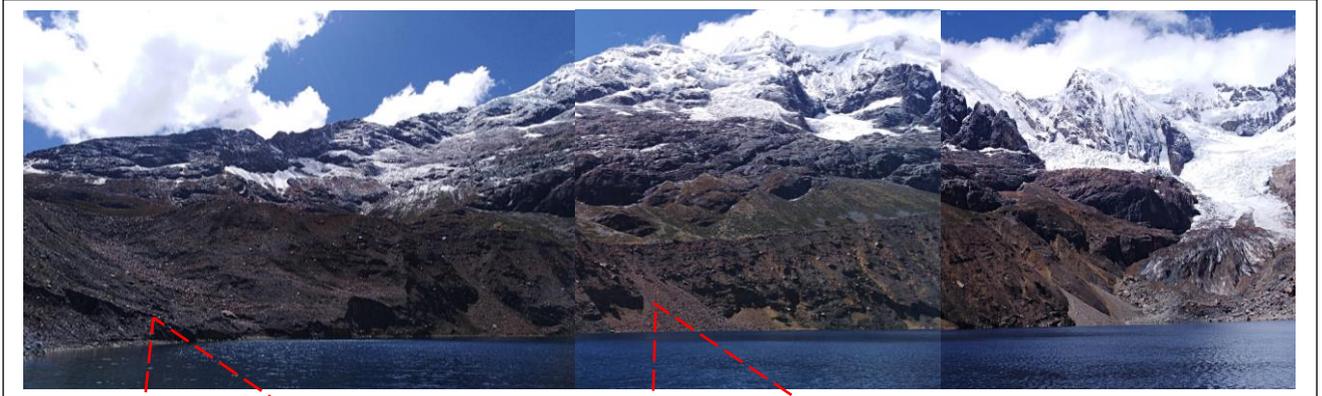
Fotografía N.° 03: Depósito Glaciárico Frontal de la Laguna Safuna Alta



Depósito Glaciárico Lateral Derecho:

Se identifica un talud elevado (Ang. aprox. = 70°), en fragmentos de roca en matriz de limos, de compacidad de media a alta; con cobertura vegetal parcial. Es de precisar que, se visualiza una masa de depósitos expuesta, con un elevado grado de riesgo de desplome, siendo de un talud elevado y estando en contacto, dicha masa, con el espejo de agua de la laguna, situación que condiciona el peligro de la misma (Ver Fotografía N.° 04).

Fotografía N.º 04: Se visualiza la composición del material del depósito glaciárico lateral derecho de la laguna Safuna Alta.

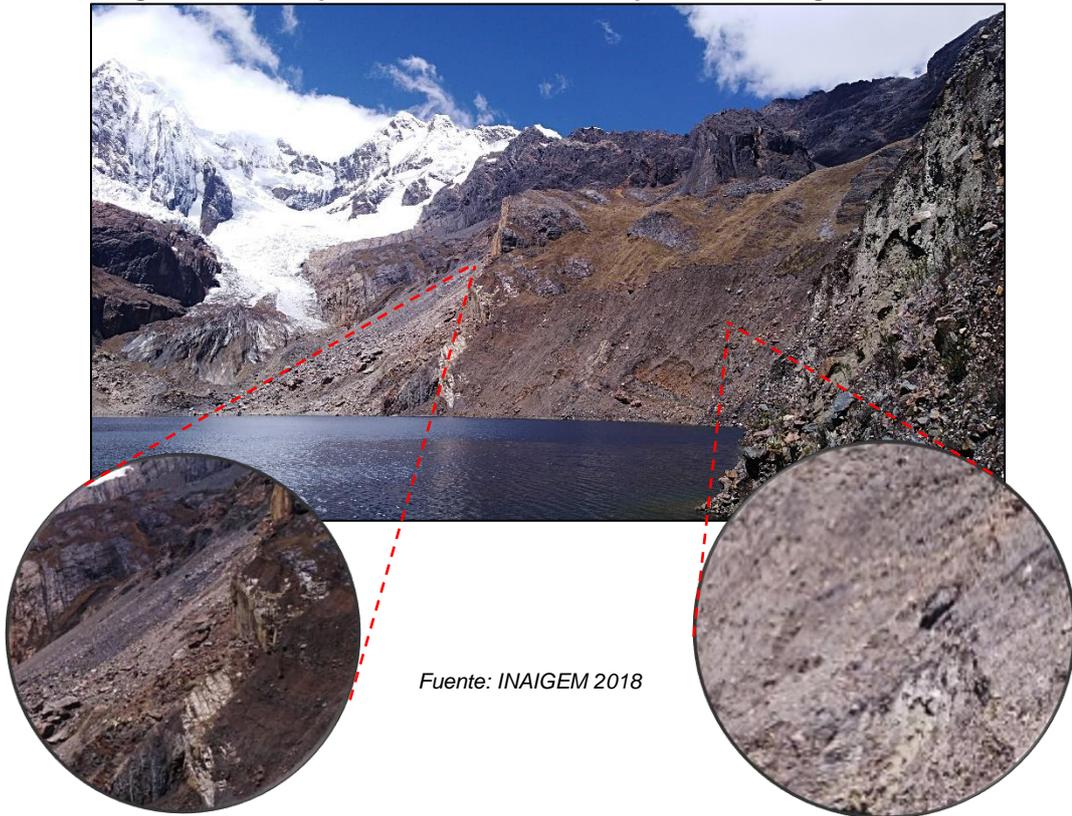


Fuente: INAIGEM, julio 2018



Depósito Glaciárico Lateral Izquierdo:

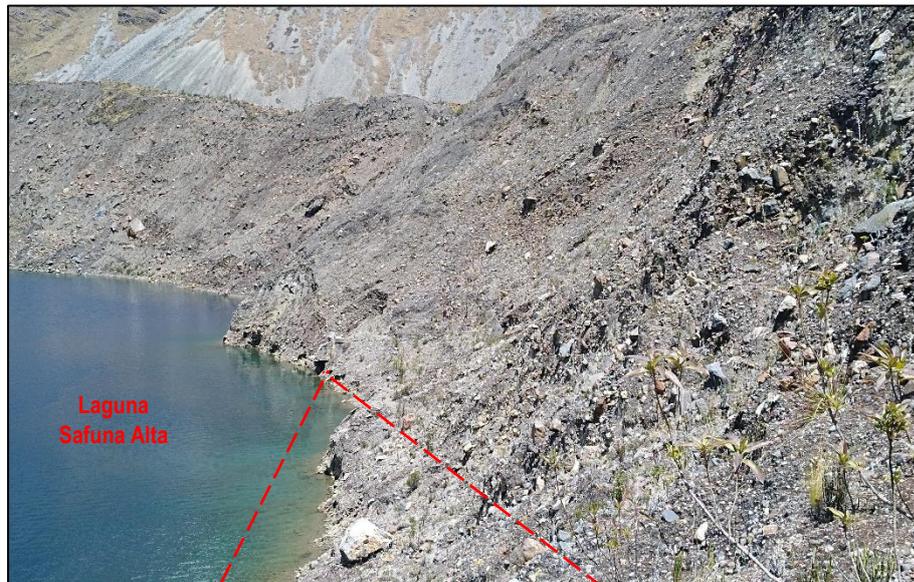
Se identifica un talud elevado, no obstante, de menor ángulo de inclinación (Ang.aprox = 60°), compuesto por fragmentos de roca en matriz de arena limosa, de compacidad de media a alta; con cobertura vegetal parcial. Dicho talud está en contacto directo con el espejo de agua, situación que condiciona el peligro de la misma (Ver Fotografía N.º 05).

Fotografía N.º 05: Depósito Glaciárico Lateral Izquierdo de la Laguna Safuna Alta.**Depósito Glaciárico Frontal:**

Se identifica un conglomerado de fragmentos de roca en matriz de arena limosa, de compacidad de media a alta; con la presencia de gran cantidad de bloques, los cuales van de 0.50 m a 5.0 m de diámetro; a través de dicho depósito drena el flujo hídrico de la laguna por filtración.

Fotografía N.º 06: Se visualiza la composición del material del depósito glaciárico frontal de la laguna Safuna Alta – Zona Posterior

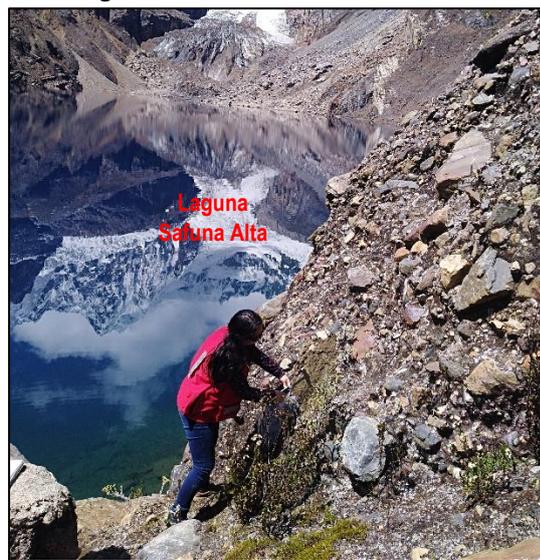
Fotografía N.º 07: Se visualiza la composición del material del depósito glaciárico frontal de la laguna Safuna Alta – Zona Anterior



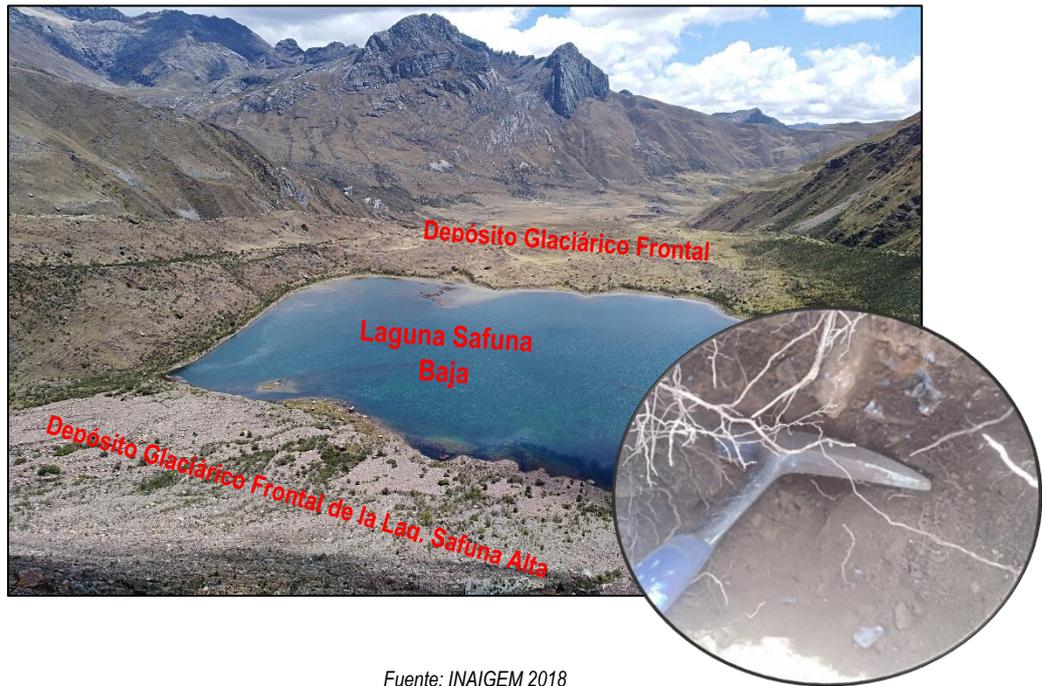
Fotografía N.º 08: Toma de Muestras Representativas del Depósito Glaciárico Frontal de la laguna Safuna Alta – Zona Anterior



Fotografía N.º 09: Toma de Muestras Representativas del Depósito Glaciárico Frontal de la laguna Safuna Alta – Zona Anterior



Fotografía N.º 10: Toma de Muestras Representativas del Depósito Glaciárico Frontal de la laguna Safuna Alta – Zona Anterior



Fuente: INAIGEM 2018

Fotografía N.º 11: Punto de Filtración de la laguna Safuna Baja



Figura N.º 04: Ubicación de Puntos de Filtración Identificados en las Lagunas Safuna Alta y Safuna Baja



5.4. Obra de Seguridad

Las obras de seguridad emplazadas en la laguna Safuna Alta, están constituidas por 2 túneles de descarga, el primero de 115m, ubicado al lado izquierdo de la morrena frontal y el segundo de 152.6 m, ubicado al lado derecho de la morrena frontal, dichos túneles son de concreto armado y atraviesan la morrena frontal de dicha laguna; no obstante, se visualiza que poseen una sección reducida y al no contar un área de ingreso y salida protegida, están expuestos a un alto nivel de erosión en sus zonas de ingreso y salida; situación evidenciada en dichas zonas (túnel n.º 02), el cual fue afectado con el oleaje producido en el año 2002, a consecuencia de un derrumbe de la zona anterior del flanco izquierdo de Safuna Alta, el cual habría superado la arista superior de la morrena frontal de la laguna (75 m con respecto al espejo de agua).

Figura N.º 12: Ubicación de los Túneles de Descarga en la Laguna Safuna Alta

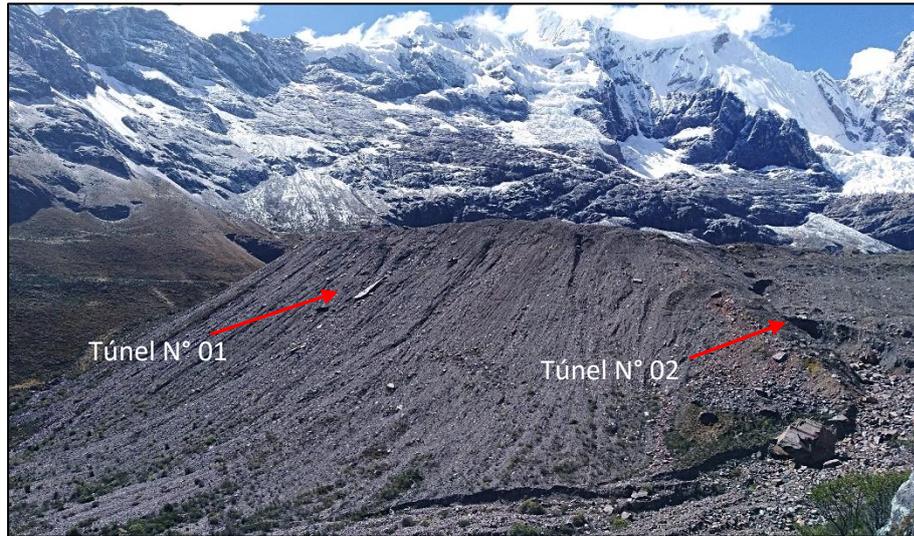


Figura N.º 13: Túnel de Descarga N° 01 - Safuna Alta



Fotografía N.º 14, 15 y 16: Túnel de Descarga N° 02 - Safuna Alta





5.5. Calidad del Agua de las Lagunas Safuna Alta y Baja

De otra parte, se realizó la medición de parámetros de calidad de agua, determinándose que el agua proveniente de las lagunas Safuna Alta y Baja, se encuentran dentro de los límites máximos permisibles, con respecto al PH (6.5 – 8.5) y a la conductividad, los cuales se encuentran establecidos por la OMS a nivel mundial, y por la SUNASS. Ver Tabla N.º 04.

Tabla N.º 04: Parámetros de Calidad del Agua de la Laguna Safuna Baja

Parámetro	Unidades	Valor Obtenido en Campo	Valor Máximo Permissible VMP	Observación
PH		7.24	6.5 – 8.5	
Oxígeno Disuelto	mg/LDO	5.64		
Conductividad Eléctrica	uS/cm	109.0	1500	
Temperatura	°C	13.46	-	

Tabla N.º 05: Parámetros de Calidad del Agua de la Laguna Safuna Alta

Parámetro	Unidades	Valor Obtenido en Campo	Valor Máximo Permissible VMP	Observación
PH		7.09	6.5 – 8.5	
Oxígeno Disuelto	mg/LDO	5.61		
Conductividad Eléctrica	uS/cm	146.0	1500	
Temperatura	°C	9.41	-	



6. CONCLUSIONES

- 6.1 Laguna Safuna Alta, no cuenta con obras que garanticen la seguridad de la misma; los túneles emplazados en su morrena frontal, no garantizan la seguridad del dique natural, siendo que poseen secciones pequeñas, en relación al área de la cara interna de la morrena frontal; en consecuencia, ante un eventual ascenso violento del nivel del espejo de la laguna, dichos túneles no evitarían una erosión regresiva y posible tubificación en planos de debilidad del depósito glaciárico frontal (morrena frontal).
- 6.2 Existe incertidumbre respecto de la existencia de planos de debilidad o superficies permeables en dicho depósito glaciárico, que condicionaría el riesgo de desagüe por tubificación de la laguna, al darse un sismo como evento detonante; por tal resulta necesaria la ejecución de una exploración profunda en la zona de emplazamiento de la laguna y el planteamiento de las obras de seguridad correspondiente, mas aun considerando el gran volumen de agua que almacena esta laguna.

7. RECOMENDACIONES

- 7.1 Se recomienda la ejecución de estudios a detalle a corto plazo, correspondientes a las lagunas Safuna Alta y Baja, a fin de determinar con precisión las características de las morrenas y de los planos de debilidad en sus estratos, que podrían constituir zonas propensas a la tubificación y posterior desembalse de la laguna.