



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°05-2018-INAIGEM/DIG-SDRAG

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

YANARAJU



Laguna Yanaraju, Asunción, Ancash.

Elaborado por:

Ing. Adriana Caballero Bedriñana

Bach. Hilbert Villafane Gómez

Huaraz, agosto 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:.....	4
5.	RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
	5.1. Descripción geográfica.....	5
	5.2. Geotecnia.....	5
	5.3. Estado Actual de la Laguna y su Entorno:.....	8
	5.4. Análisis de la Estabilidad de Depósitos Glaciáricos:.....	11
6.	CONCLUSIONES	14
7.	RECOMENDACIONES.....	14

ANEXOS:

ANEXO A: Resultados de Ensayos de Mecánica de Suelos - OHL



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: Yanaraju, Huallcacocho, Arteza y su entorno”, en razón de que se encuentran ubicadas en la sub cuenca Yanamayo, la primera, y en la sub cuenca Buin la segunda y tercera, y el desemboque de sus aguas atraviesa zonas pobladas de las provincias de Asunción y Carhuaz, en ese sentido, un eventual alud, afectaría a dichas zonas pobladas y su entorno, generando tanto pérdidas de vidas humanas, como perdidas 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.

En ese contexto, es de precisar que previo a la inspección de campo, 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 y fueron contrastada in situ.

En la investigación de campo, realizada entre los días 17 al 19 de julio de 2018, se identificó que, la laguna Yanaraju no cuenta con obras de seguridad, identificándose que sus aguas drenan por rebose en la zona frontal del vaso de almacenamiento.

En ese contexto, se realizó la evaluación geotécnica de los depósitos glaciáricos adyacentes que componen el vaso de almacenamiento de la laguna, así como la identificación de glaciares peligrosos; identificándose el nivel de peligro que representa dicha laguna.

2. OBJETIVOS

Determinar el estado actual de las obras de seguridad y entorno de la laguna Yanaraju, a fin de determinar si representan un peligro para las poblaciones asentadas aguas abajo.

3. GENERALIDADES

3.1. Ubicación

La laguna Yanaraju se ubica en la cabecera de la quebrada Potaca (Figura N.º 01), a 4,142 m s.n.m, al oeste de la ciudad de Chacas, provincia Asunción; hidrográficamente pertenece a la subcuenca del río Yanamayo, cuenca del río Maraños, Cordillera Blanca.

Coordenadas (UTM):

- Latitud : 227013
- Longitud: 989542
- Cota : 4142 m.



3.2. Accesibilidad

El acceso se realiza desde la ciudad de Huaraz - Carhuaz (33.00 Km) por carretera asfaltada, Carhuaz – Punta Olímpica (55.0 Km) carretera asfaltada, continuando por la misma vía, hasta el Km. 67.0 a partir de donde se toma un camino de herradura hacia la laguna Yanaraju (0.60 km). (Ver Tabla N° 01).

Tabla N° 01. Acceso a la laguna Yanaraju

RUTA	VÍA	DISTANCIA (km)	TIEMPO (horas)	MEDIO
Huaraz - Carhuaz.	Asfaltada	33.0	0:45	Camioneta 4x4
Carhuaz – Punta Olímpica	Asfaltada	55.0	1:30	Camioneta 4x4
Punta Olímpica – Km. 67 km Carretera Carhuaz-Chacas	Asfaltada	12.0	0:10	Camioneta 4x4
Km. 67 Carretera Carhuaz – Chacas – Laguna Yanaraju	Camino de Herradura	0.6	0:40	A pie

3.3. Antecedentes

De información que obra en la UGRH, se ha tomado conocimiento que, antes de la ejecución de trabajos de seguridad en la laguna (rebaja del nivel del espejo de agua en 5m), esta laguna contaba con 7'342,600m³, disminuyéndose su volumen en 1'007,600 m³ y dejando un canal natural de tajo abierto.

Posterior a ello, en agosto de 2005, la UGRH realizó trabajos de batimetría, obteniéndose un volumen de 7'642,096 m³, y una profundidad máxima de 61.40 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 la laguna Yanaraju; 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, un Drone Cuadrícóptero,

una wincha, picotas de geólogo, binoculares, cámara fotográfica con GPS y bolsas para muestras.

Es de precisar que, en la laguna Yanaraju 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:

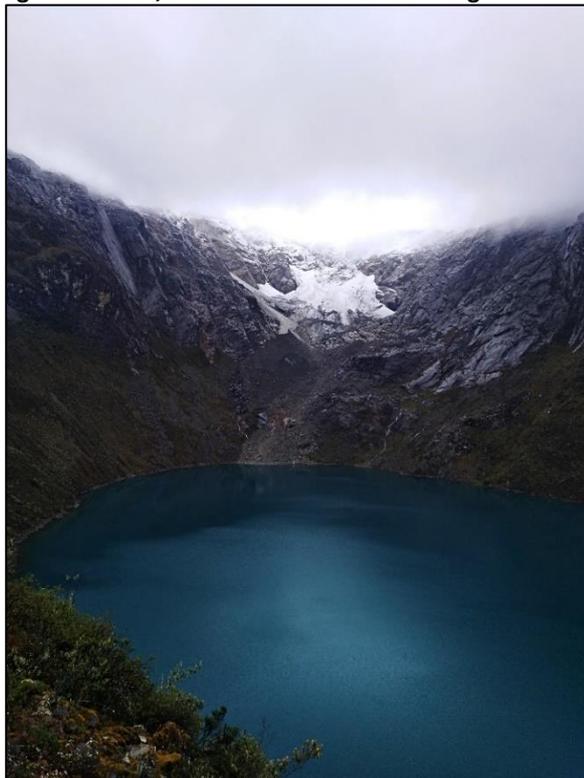
Análisis de los datos técnicos obtenidos en campo del entorno de la laguna Yanaraju. Evaluación probable comportamiento de los depósitos glaciáricos frente a las condiciones actuales de la laguna y su entorno.

5. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

5.1. Descripción geográfica

La laguna Yanaraju (4142 msnm) se sitúa al pie del nevado Contrahiervas, cabecera de la quebrada Potaca, al oeste de la ciudad de Chacas, distrito de Chacas, provincia de Asunción; hidrográficamente pertenece a la subcuenca del río Yanamayo, cuenca del río Maraños, 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 Laguna Yanaraju



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 (3) muestras representativas en los depósitos glaciáricos (morrena frontal y morrenas laterales) de la laguna (Ver Figura N.º 02).

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



Fuente: Google earth 2018

Tabla N.º 2: Resumen de Muestras Tomadas

Nº	Muestra	Ubicación (UTM) (E,N)		Prof. (m)	Nivel Freático (m)	Zona de Muestreo	Detalles
1	MD -Y01	8989160	226951	0.40	No hay	Trinchera	
2	MD -Y02	8989252	227243	0.40	No hay	Trinchera	
3	MD -Y03	8988974	227079	0.40	No hay	Trinchera	

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

A continuación, se muestran los resultados de los ensayos de mecánica de suelos practicados en las muestras representativas de los depósitos glaciáricos:

Los ensayos geotécnicos de mecánica de suelos fueron realizados por un Laboratorio Geotécnico de Mecánica de Suelos en la ciudad de Lima (OHL), siguiendo las normas establecidas por la American Society for Testing Materials (A.S.T.M.). Se han realizado ensayos estándar de clasificación de suelos y de propiedades físicas a las muestras disturbadas obtenidas, consistentes en: análisis granulométrico por tamizado, límites de Atterberg (límites líquido y plástico) y contenido de humedad; siguiendo los procedimientos establecidos en la Norma Técnica Peruana (N.T.P) y las Normas A.S.T.M. como se indica a continuación:

Ensayo de Laboratorio
A.S.T.M.
N.T.P

• Análisis Granulométrico por Tamizado	D422	339.128
• Contenido de Humedad	D2216	339.127
• Limite Líquido y Plástico	D4318	339.129
• Clasificación SUCS	D2487	339.134

Las muestras ensayadas se han clasificado usando el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y el sistema ASSHTO; cuyos resultados se muestran en el Tabla N° 3: Resumen de Resultados de las Propiedades Índice.

Tabla N° 3: Resumen de Resultados de las Propiedades Índice

N°	Muestra	Grava (%)	Arena (%)	Fino (%)	Contenido de Humedad (%)	LL	LP	IP	Clasificación SUCS	Clasificación ASSHTO	Detalles
1	MD -Y01	63.7	27.5	8.9	5.36	NP	NP	NP	GP-GM	A-1-a(0)	Grava mal graduada con limo y arena.
2	MD -Y02	57.7	30.6	11.8	5.0	NP	NP	NP	GW-GM	A-2-4 (0)	Grava bien graduada son limo y arena.
3	MD -Y03	65.1	27.1	7.8	5.1	NP	NP	NP	GP-GM	A-2-4 (1)	Grava mal graduada son limo y arena.

Fuente: INAIGEM (agosto 2018).

Los resultados indican la presencia de suelos gravosos con poca presencia de finos, por ende, escaso material cementante en el conglomerado, lo cual condiciona su poca estabilidad.

En base a los resultados se estima que, los depósitos glaciáricos laterales y frontal de la laguna Yanaraju, están conformados por suelos tipo GP-GM y GW-GM, siendo estos suelos gruesos y de baja competencia para la estabilidad en taludes. Adicional a lo cual debe considerarse que dichos suelos se emplazan en taludes de 70° de inclinación en promedio.

De otra parte, 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 determinar la competencia de los depósitos para la estabilidad de taludes y el peligro que representan para la estabilidad de la laguna.

En ese contexto, se presentan los resultados de los ensayos de corte directo, realizados en la muestra MD-Y01:

Tabla N.° 03: Resultados de los Ensayos de Corte Directo

Identificación	Granulometría (% que pasa)									Límites de Atterberg		Clasificación		Descripción	Humedad Natural %	Corte Directo De Suelos En Condiciones Consolidadas Drenadas							
	3"	2"	¾"	3/8"	N°4	N° 10	N° 40	N° 100	N° 200	LL %	IP%	SUCS	AASHTO			Inicial			Final			C	f
180719 MD-Y01	0	100	80	55	33	24	13	8	7	21	NP	GP-GM	A-1-a (0)	Grava Pobremente Gradada con Limo	4.8	1.682	10.4	1.523	2.068	16.2	1.8	0.002	31.3

Fuente: INAIGEM (OHL 2018)

Los resultados de los ensayos de laboratorio, denotan que el depósito glaciárico frontal de la laguna Yanaraju, está compuesto por material grueso, gravas pobremente gradadas con presencia de bloques; existe una baja cohesión entre sus partículas ($c= 0.002 \text{ Kg/cm}^2$), por tanto, suelos altamente compresibles y de baja capacidad de soporte, sujeto a fenómenos de colapso y licuación.

5.3. Estado Actual de la Laguna y su Entorno:

La laguna Yanaraju, es un cuerpo de agua, cuyo vaso de almacenamiento está formado, lateral y frontalmente por depósitos glaciáricos; su volumen, bordearía los $7'642,096 \text{ m}^3$ y tendría una profundidad máxima de 61.40 m (Fuente: UGRH-ANA, 2005).

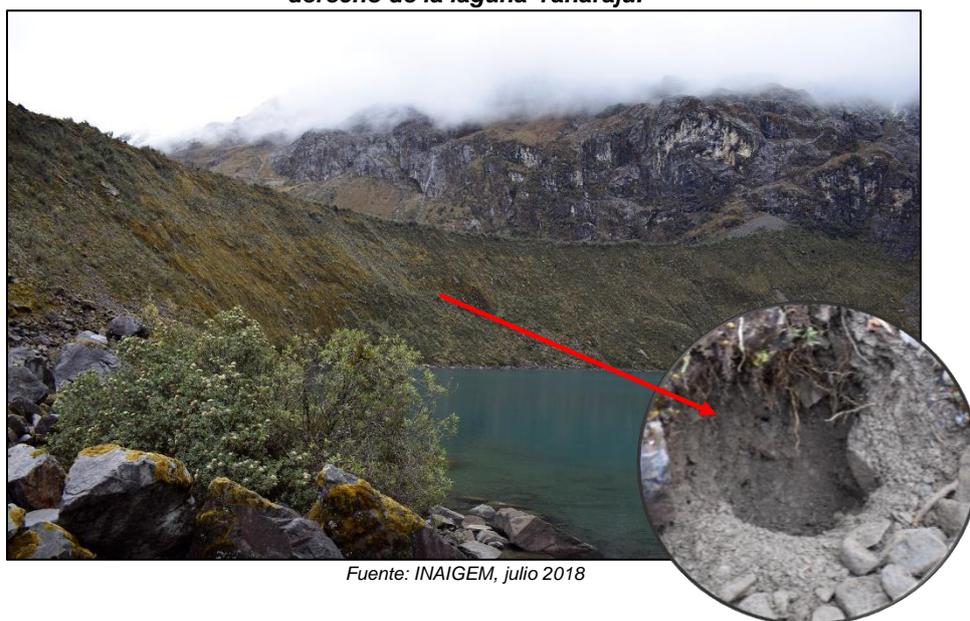
Depósitos Glaciáricos:

Realizada la inspección física de los depósitos glaciáricos del entorno de la laguna Yanaraju, se identificó que, en la zona frontal adyacente al dique (lados derecho e izquierdo) de protección de la laguna, 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 90% de su superficie, de un promedio de 0.80 m de altura, lo cual le da una condición de mayor estabilidad en su superficie.

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 Fotografías N.º 02 y 03).

Fotografía N° 26: Se visualiza la composición del material del depósito glaciáricos lateral derecho de la laguna Yanaraju.



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.° 04).

Fotografías N.° 04: Vista del Depósito Glaciárico Lateral Derecho de la Laguna Yanaraju

Fuente: INAIGEM 2017

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 05 y 06: Se visualiza la composición del material del depósito glaciárico frontal, adyacente al dique de la laguna Yanaraju



Fuente: INAIGEM 2017



Caudal de Salida de la Laguna Yanaraju

De otra parte, cabe precisar que, la laguna Yanaraju es alimentada por precipitación pluvial y por fusión glaciárica; descargándose por filtración y rebose, mediante un canal natural un caudal estimado por el método de correntómetro, en 56.44 Lt/seg. (19 de julio de 2018) (Ver fotografía N.º 15).

Fotografía N.º 15: Estimación de Caudales por el Método del Correntómetro

De otra parte, se realizó la medición de parámetros de calidad de agua, determinándose que el agua proveniente de la laguna Yanaraju, se encuentra 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 Yanaraju

Parámetro	Unidades	Valor Obtenido en Campo	Valor Máximo Permissible VMP	Observación
PH		6.82	6.5 – 8.5	
Oxígeno Disuelto	mg/LDO	1.78		
Conductividad Eléctrica	uS/cm	130	1500	
Temperatura	°C	7.18	-	

Fotografía N.º 15: Medición de Parámetros del Agua – Laguna Yanaraju

Fuente: INAIGEM, julio 2018

5.4. Análisis de la Estabilidad de Depósitos Glaciáricos:

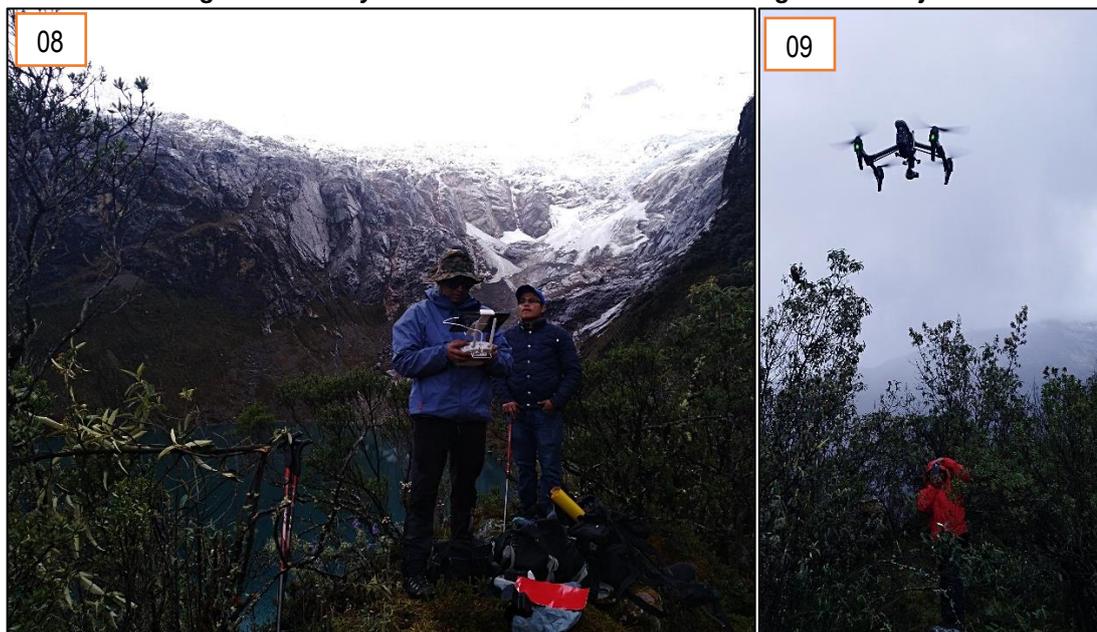
Finalmente, en la zona de salida del canal de desagüe, se tiene la presencia de taludes erosionados; asimismo se visualizan las caras anteriores a las paredes del

canal, expuestas; situación que denota el deterioro de dichas estructuras, por ende, es necesario se adopten las medidas de protección a corto plazo, a fin de evitar la progresión de los deterioros.

Trabajos de Fotogrametría con el Uso de Drone Cuadricóptero:

A fin de obtener información de mayor precisión, en relación a la topografía de los depósitos glaciáricos que circundan a la laguna Yanaraju, se realizó un levantamiento fotogramétrico de dicha zona, con el uso de un drone cuadricóptero, cuyo resultado no permitió tener información del relieve de dichas zonas, lo cual fue utilizado para generar secciones de análisis. A continuación, se muestran las vistas fotográficas del trabajo de campo con el uso de drone. (Ver fotografías N.º 08 y 09.)

Fotografías N.º 08 y 09: Sobrevuelo con Drone de la Laguna Yanaraju.



Fuente: INAIGEM, julio 2018

Determinación de Parámetros de Suelo, con Fines de Análisis de Estabilidad de Depósitos Glaciáricos (Taludes):

Al respecto, se obtuvieron muestras representativas de suelos, en puntos críticos, en los cuales se pueda evaluar la estabilidad de los depósitos glaciáricos, muestras que fueron enviadas a un laboratorio de mecánica de suelos, a fin de que se

obtengan parámetros de: Clasificación de Suelos, Peso específico, Cohesión, Fricción tipo de suelos, etc; lo cual permitirá realizar el análisis de estabilidad de los depósitos glaciáricos en puntos críticos, a fin de conocer el nivel de peligro que representan dichos depósitos glaciáricos a la estabilidad de la laguna.

Análisis de Estabilidad de Depósitos Glaciáricos con el Uso de SLIDE:

En el análisis de estabilidad de los depósitos glaciáricos, se determinó el comportamiento sísmico de los taludes usando el software Slide. Entre los métodos de cálculo de taludes para suelos, se utilizó el método simplificado de Janbu diseñado para cualquier superficie de falla. En ese contexto, al tener en cuenta el coeficiente sísmico, el factor de seguridad disminuye drásticamente y aumentan las zonas por las cuales puede fallar el talud de los depósitos glaciáricos.

En la zona de emplazamiento de la laguna Yanaraju, se eligieron 3 líneas de análisis de estabilidad de los depósitos glaciáricos, de las cuales se tomó información de relieve (levantamiento fotogramétrico con drone) e información de parámetros de suelo a través de muestras representativas, las cuales fueron analizadas en laboratorios de mecánica de suelos. El resultado del proceso de adquisición de datos sirvió de base para el análisis de estabilidad de los depósitos glaciáricos mediante el uso de software SLIDE, y es presentado en las figuras siguientes:

Figura N.º 03, Ubicación de Líneas de Sección para el análisis de Estabilidad de Depósitos Glaciáricos.





6. CONCLUSIONES

- 6.1 La laguna Yanaraju, no cuenta con obras que garanticen la seguridad de la misma, únicamente posee un tajo abierto en la morrena frontal, a través del cual la laguna evacua sus aguas por rebose; al respecto, es de precisar que existe incertidumbre que requiere ser conocida, respecto de la existencia de planos de debilidad o superficies permeables en dicho depósito, que condicione el riesgo de desagüe por tubificación de la laguna, al darse sismo como evento detonante.
- 6.2 Los resultados de los ensayos de laboratorio, denotan que el depósito glaciárico frontal de la laguna Yanaraju, está compuesto por material grueso, gravas pobremente gradadas con presencia de bloques; existe una baja cohesión entre sus partículas ($c= 0.002 \text{ Kg/cm}^2$), por tanto, suelos altamente compresibles y de baja capacidad de soporte, sujeto a fenómenos de colapso y licuación

7. RECOMENDACIONES

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