



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

Instituto Nacional de Investigación  
en Glaciares y Ecosistemas de Montaña



*"Año del diálogo y la Reconciliación Nacional"*

## MINISTERIO DEL AMBIENTE

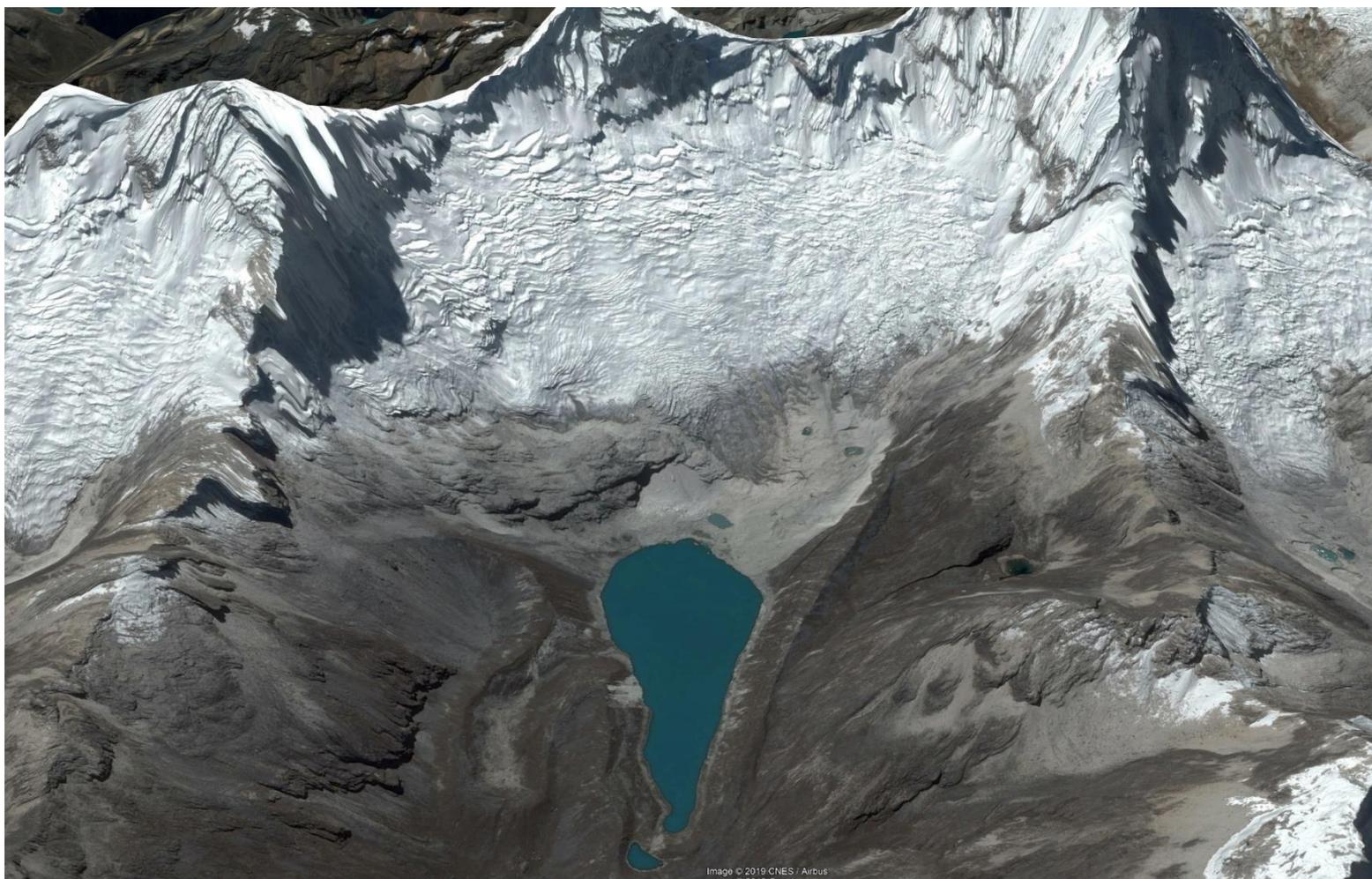
INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN EN GLACIARES Y ECOSISTEMAS DE  
MONTAÑA – INAIGEM

DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN EN GLACIARES  
SUBDIRECCIÓN DE RIESGOS ASOCIADOS A GLACIARES

### INFORME TÉCNICO N°08-2018-INAIGEM/DIG-SDRAG

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

### YURACCOCHA



Fuente: Google Earth. Laguna Yuracocha, 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.....	5
	5.1. Descripción geográfica.....	5
	5.2. Geotecnia.....	6
	5.3. Estado Actual de la Laguna y su Entorno:.....	8
6.	CONCLUSIONES .....	16
7.	RECOMENDACIONES.....	16

### **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 entorno de la laguna Yuracocha”, en razón de que se encuentra ubicada en la sub cuenca Santa Cruz, y el desemboque de sus aguas atraviesa zonas pobladas y la Central Hidroeléctrica del Caños del Pato, provincia de Huaylas, en ese sentido, un eventual alud, afectaría a dichas zonas pobladas y la costosa infraestructura que representa una central hidroeléctrica, 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 Yuracocha, 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 5 y 6 de julio de 2018, se identificó que, la laguna Yuracocha cuenta con un dique de tierra, canal de ingreso, conducto cerrado y canal de salida, presentando deterioros externos de las estructuras.

De otra parte, se realizó la evaluación geotécnica de los depósitos glaciáricos 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.

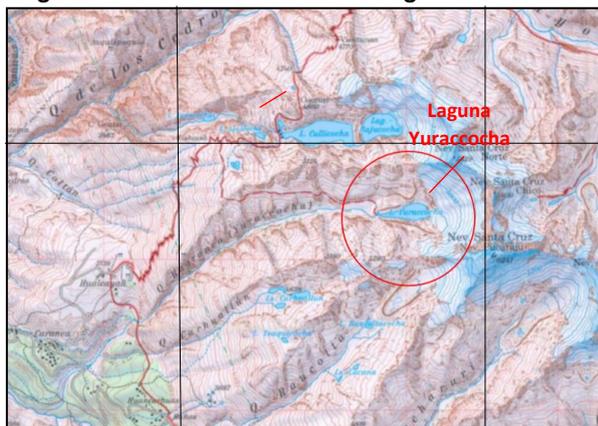
## **2. OBJETIVOS**

El objetivo de la evaluación de las obras de seguridad emplazadas en la laguna Yuracocha, 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 Yuracocha, se ubica en la cabecera de la quebrada Yuracocha, sub cuenca Santa Cruz, en la cuenca del Río Santa, Vertiente Occidental de la Cordillera Blanca (Figura N.º 01), a 4618 msnm, cuyas coordenadas corresponden a: (199936 E, 9016884 S), de WGS84 y zona 18s, respectivamente. Políticamente se encuentran en el distrito de Santa Cruz, provincia de Huaylas, departamento de Ancash.

**Figura N.º 01: Ubicación de las Laguna Yuraccocha**

### 3.2. Accesibilidad

El acceso se realiza desde la ciudad de Huaraz hacia el norte, por la vía Huaraz – Caraz (67.0 Km), continuando por la misma vía, hasta el desvío a la localidad de Colcas (17.0 Km); posterior a ello se toma la vía afirmada hacia la comunidad de Hualcayán, para luego tomar un camino de herradura hasta la laguna Yuraccocha en un tiempo promedio de 8 horas (Ver Tabla N° 01).

**Tabla N° 01. Acceso a la laguna Yuraccocha**

RUTA	VÍA	DISTANCIA (km)	TIEMPO (horas)	MEDIO
Huaraz - Caraz	Asfaltada	67.0	1:20	Camioneta 4x4
Caraz – Desvío a Colcas	Asfaltada	17.0	0:20	Camioneta 4x4
Desvio a Colcas – Colcas	Afirmada	4.0	0:05	Camioneta 4x4
Colcas a Hualcayán	Afirmada	15.0	0:40	Camioneta 4x4
Hualcayán – Laguna Yuraccocha	Camino de Herradura	10.0	8:00	A pie

### 3.3. Antecedentes

Se tiene conocimiento que, en el año 1966, como medida de seguridad, la Corporación Peruana del Santa, concluyó la ejecución de los trabajos correspondientes a un tajo abierto y la construcción de un dique de tierra, con un conducto cerrado de concreto armado.

De otra parte, en 1988, la UGRH realizó el levantamiento batimétrico de la laguna, determinándose un volumen de 7'380,000 m<sup>3</sup>, superficie de 289,080 m<sup>2</sup> y 53 m de profundidad.

Posterior a ello, en el año 2002, la UGRH realizó trabajos de mantenimiento del dique y del canal de descarga, realizando el revestimiento con emboquillado de dichas estructuras.



En el año 2005, se realizó un levantamiento batimétrico, determinándose un volumen de 7'382,280 m<sup>3</sup>, superficie de 286,947 m<sup>2</sup> y 51.98 m de profundidad.

De acuerdo a la información que obra en la UGRH, se ha tomado conocimiento que, en abril de 2011, dicha institución realizó trabajos de batimetría en la laguna Yuracocha, obteniéndose los siguientes resultados:

Volumen	:	8'177,746.13 m <sup>3</sup>
Área	:	287,268.99 m <sup>2</sup>
Profundidad máxima	:	55.36 m

Asimismo, se determinó que la laguna pequeña ubicada aguas abajo de la laguna Yuracocha, tiene las siguientes características:

Volumen	:	17,090.75 m <sup>3</sup>
Área	:	3,454.39 m <sup>2</sup>
Profundidad máxima	:	9.96 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 Yuracocha; 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 la laguna Yuracocha 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 Yuracocha.

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 Yuracocha, se sitúa al pie de la zona de influencia de los nevados Santa Cruz Centro y Sur, distrito de Santa Cruz, provincia de Huaylas; hidrográficamente pertenece a la subcuenca Santa Cruz, 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 la Laguna Yuraccocha**



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 determinar la competencia de dichos depósitos para la estabilidad de taludes, y si representan un peligro para la estabilidad de la laguna.

En síntesis, se obtuvieron (2) 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

**Fotografía N.º 02, Toma de Muestras en los Depósitos Glaciáricos**

Fuente: INAIGEM 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 - Y01	9016764	199191	0.40	No hay	Trinchera	
2	MD - Y02	9016842	199101	0.40	No hay	Trinchera	

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

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:

<b>Ensayo de Laboratorio</b>	<b>A.S.T.M.</b>	<b>N.T.P</b>
• 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

De las muestras extraídas, a la muestra MD-Y01 se realizó únicamente los ensayos de clasificación de suelos, usando el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y el sistema ASSHTO; cuyos resultados se muestran en el Tabla N.º 3: Resumen de Resultados de las Propiedades Índice; y a la muestra MD-Y02, se le practicó adicionalmente el ensayo de corte directo, cuyos resultados se muestran en párrafos posteriores.

**Tabla N.° 03: Resumen de Resultados de las Propiedades Índice y Clasificación de Suelos  
Muestra MD-Y01**

N°	Muestra	Grava (%)	Arena (%)	Fino (%)	Contenido de Humedad (%)	LL	LP	IP	Clasificación SUCS	Clasificación ASSTHO	Detalles
1	MD -Y01	26.1	35.2	38.7	1.5	35	21	14	SC	A-6(2)	Arena Arcillosa con Grava

Fuente: INAIGEM (setiembre 2018).

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  $\phi$ , 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, presentados en la tabla siguiente:

**Tabla N.° 03: Resultados de los Ensayos de Corte Directo – Muestra MD-Y02**

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		
	180705 MD-Y02	0	0	0	0	100	71	36	22	16	18	NP	SM	A-1-b (0)			Arena Limosa	--	1.714	7.7	1.591	1.979	13.8

Fuente: INAIGEM (OHL 2018)

En base a los resultados se estima que, los depósitos glaciáricos laterales y frontal de la laguna Yuracocha, están conformados por suelos tipo SC y SM, siendo estos suelos de competencia media para la estabilidad en taludes. Adicional a lo cual debe considerarse que dichos suelos se emplazan en taludes de 40° de inclinación en promedio.

Los resultados de los ensayos de laboratorio, denotan que el depósito glaciárico frontal de la laguna Yuracocha, está compuesto por material arenosos, 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 Yuracocha, cuyo vaso de almacenamiento está formado, lateral y frontalmente por depósitos glaciáricos; posee un volumen estimado en 8'177,746.13m<sup>3</sup>, con una profundidad correspondiente a 55.36 m (Fuente: UGRH-ANA, 2011); existiendo en la parte baja de la laguna, una laguna pequeña de 17,090.75 m<sup>3</sup>, de una profundidad máxima de 9.96 m.

#### Depósitos Glaciáricos:

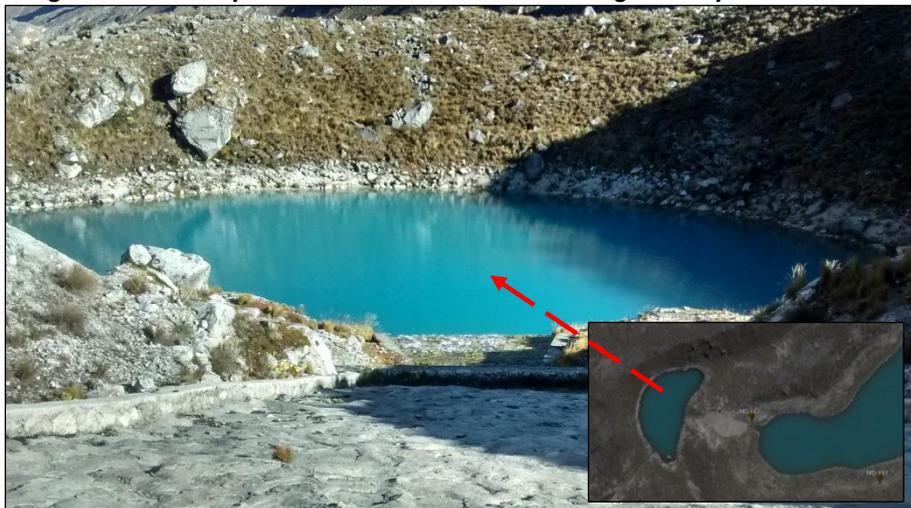
Los depósitos glaciáricos del entorno de la laguna Yuracocha, están comprendidos por depósitos de fragmentos de roca en matriz de arena limosa de compacidad de media a alta, cubiertos por vegetación menor, en un 45% de su superficie, aproximadamente.

El depósito glaciárico frontal, en su cara interior posee un talud aproximado de 30°, visualizándose depósitos superficiales de detritos; asimismo, no se observan depósitos de taludes altos, no superando los 40m en promedio.

**Fotografía N.º 03: Vista Frontal del Depósito Glaciárico Frontal de la Laguna Yuracchocha**

Fuente: INAIGEM 2018

De otra parte, en la parte baja de la laguna, en la zona de emplazamiento de la laguna pequeña, existe un depósito glaciárico que limita a la misma, con la parte baja de la quebrada, el cual posee un talud más elevado ( $60^\circ$  en promedio), lo cual denota un mayor grado de cementación de las partículas de dicho depósito, situación que además se ve favorecida por la cobertura casi total de su superficie con vegetación menor. Siendo de precisar que, la laguna pequeña evacua sus aguas por medio de un canal lateral.

**Fotografía N.º 04: Depósito Glaciárico Frontal de la Laguna Pequeña -Yuracchocha****Depósito Glaciárico Lateral Derecho:**

Se identifica un talud de elevación media (Ang. aprox. =  $30^\circ$ ), en fragmentos de roca en matriz de limos, de compacidad de media a alta; con cobertura vegetal parcial. Es de precisar que, la laguna Yuracchocha posee un vaso de almacenamiento

conformado por flancos que, en la zona de contacto con la laguna tienen una pendiente muy baja, situación que la condiciona a servir como depósito a los fragmentos de roca y material que cae de la parte alta, no afectando directamente a la laguna.

**Fotografía N.º 05: Se visualiza la composición del material del depósito glaciárico lateral derecho de la laguna Yuracocha.**



*Fuente: INAIGEM, julio 2018*

#### **Depósito Glaciárico Lateral Izquierdo:**

Este depósito, tiene una elevación promedio de 30°, en fragmentos de roca en matriz de limos, de compacidad de media a alta; con cobertura vegetal parcial. Es de precisar que, el flanco izquierdo tiene una pendiente muy baja, situación que la condiciona a servir como depósito a los fragmentos de roca y material que cae de la parte alta, no afectando directamente a la laguna.

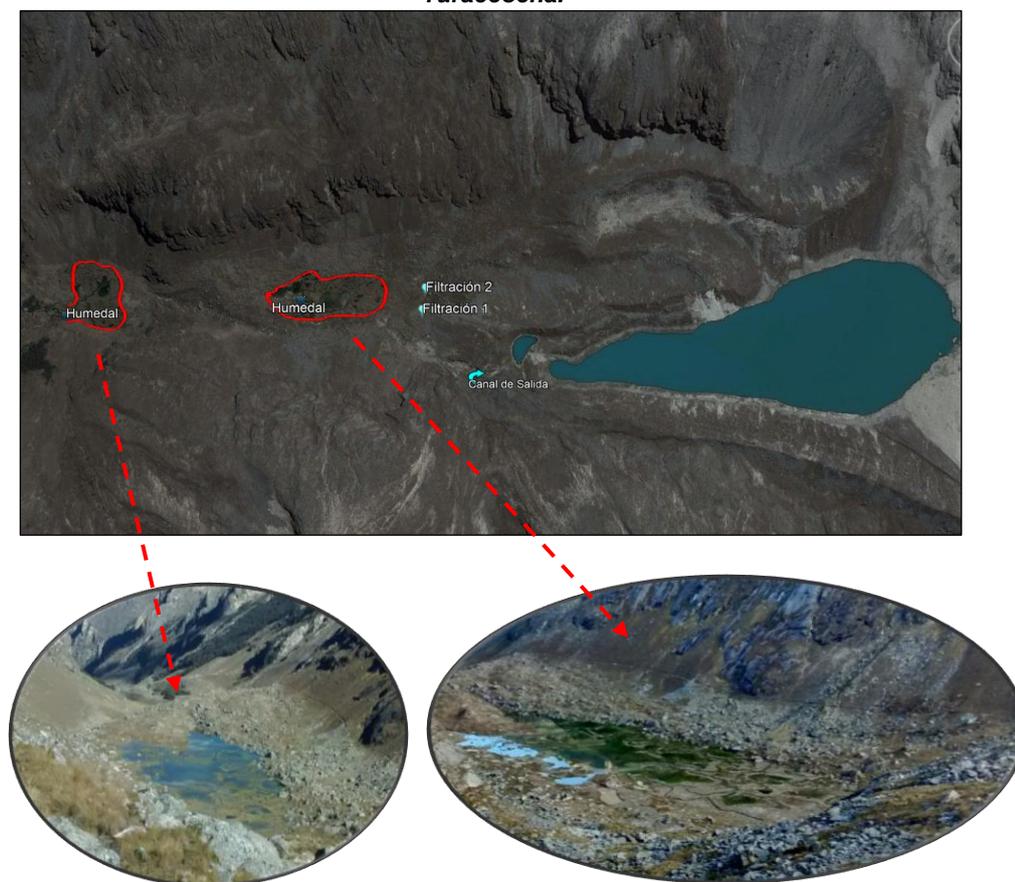
**Fotografía N.º 06: Depósito Glaciárico Lateral Izquierdo de la Laguna Yuracocha.**



*Fuente: INAIGEM 2018*

En relación a la zona posterior (aguas abajo) a la laguna Yuracocha, se visualiza la presencia de 2 puntos de algunos puntos de filtración a través de la morrena frontal posterior a la laguna pequeña, cuyo caudal unido al desaguado por el canal de salida de la laguna se dispersa a lo ancho de la quebrada, en una zona semi plana, formando humedales. (Ver Figura N.º 03).

**Figura N.º 03: Puntos de Filtración y Humedales Visibles, Aguas Debajo de la Laguna Yuraccocha.**



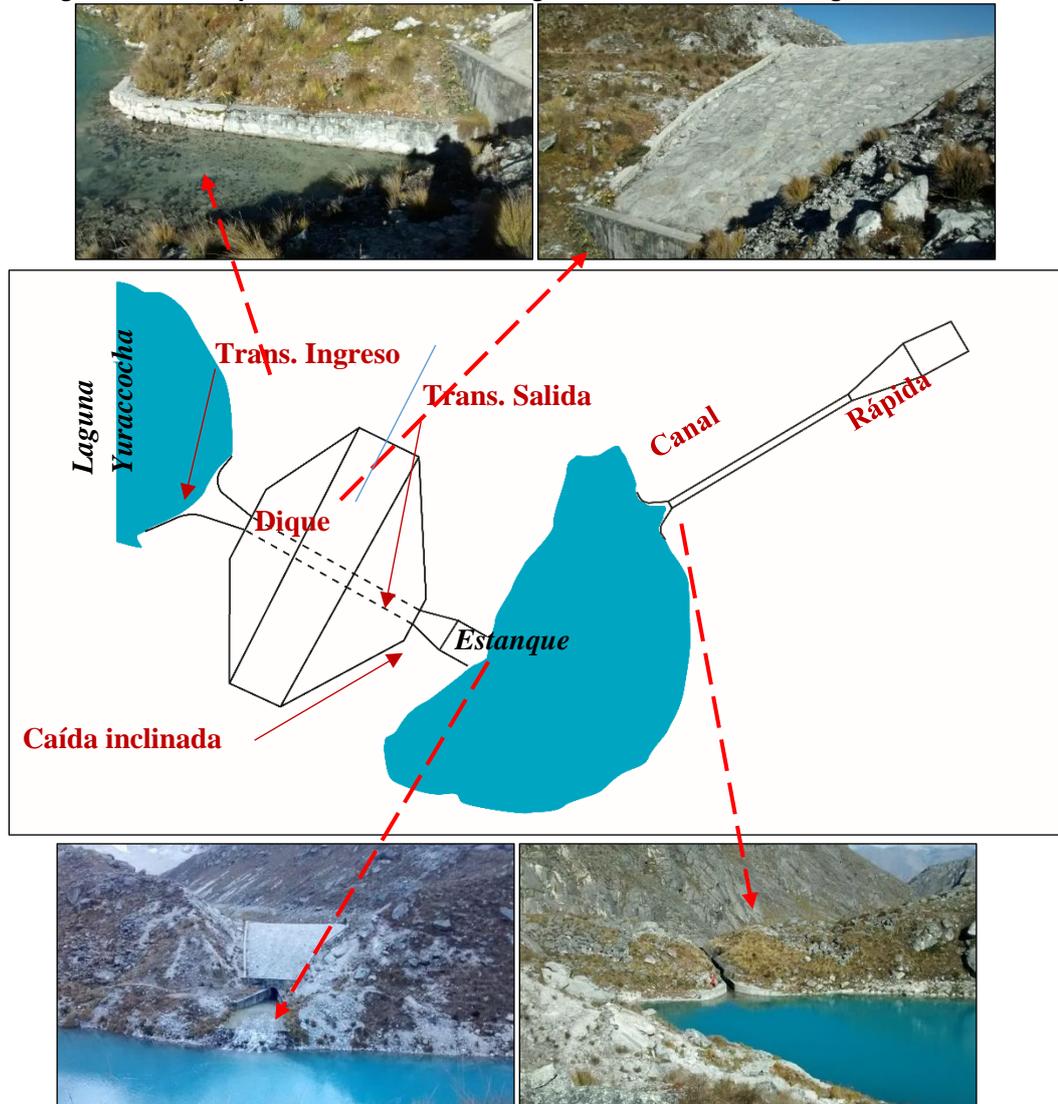
*Fuente: INAIGEM 2018*

## **OBRAS DE SEGURIDAD**

Las obras de seguridad emplazadas en el entorno de la laguna Yuraccocha, comprenden una presa de tierra, con sus respectivos canales de ingreso, conducto cerrado, canal de salida y una rápida; situándose posterior a la laguna pequeña

aguas abajo, un canal de desagüe abierto; de acuerdo al detalle que se describe a continuación:

**Figura N.º 06: Esquema de las Obras de Seguridad Ubicadas en la Laguna Yuracocha**



Fuente: INAIGEM 2018

**Transición de ingreso.** Se encuentra en condiciones regular a bueno ya que presentan vegetación en las caras laterales de la estructura, también se observa sedimentos en la base y bordes laterales en su mayoría arenas y grava menores de 3”.

**Figura N.º 07: Se visualiza Deterioro en el Revestimiento de la Corona de las Paredes del Canal.**



*Fuente: INAIGEM 2018*

### **Canal de Ingreso**

Se encuentra en condiciones regulares, presenta vegetación en las caras laterales de la estructura.

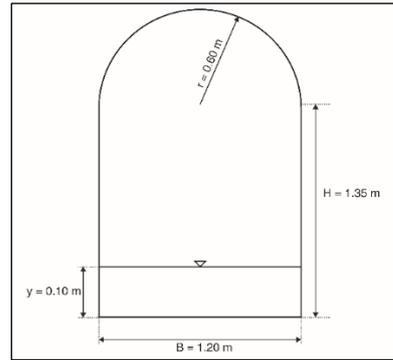
### **Dique.**

La estructura es una presa de tierra con protección de enchapado de piedra y mortero de cemento y arena, con taludes de 1:1 ambas caras de los taludes. Se encuentra en buenas condiciones con presencia de vegetación (2%) en las caras del talud aguas arriba y abajo en la parte inferior, no presenta grieta alguna, la corona de la presa se encuentra en conservado en buenas condiciones.

**Fotografía N.º 07: Vista Frontal del Dique de Tierra – Laguna Yuracchocha**



**Canal de sección portal.** Es la estructura que atraviesa la presa, tiene una sección tipo portal, con las dimensiones que se muestra a continuación.

**Figura N.º 08: Sección del Conducto Cubierto.**

**Canal de Salida de la Laguna Yuracchocha.** Se encuentra en condiciones de regular a bueno, presenta reventones en el revestimiento superior de las paredes laterales.

**Fotografía N.º 08: Vista del Canal de Salida – Laguna Yuracchocha**

Se visualiza una caída inclinada en condiciones buenas, con una altura de 1.5 m de desnivel, que conducen el agua a una laguna pequeña aguas debajo de la presa, que funciona como una poza de disipación de energía.

**Fotografía N.º 09: Vista de la Laguna Pequeña Aguas Abajo de la Laguna Yuracchocha**

**Canal de Salida Final.** Es el canal de desalojo de las aguas del estanque hacia el cauce natural, mediante un sistema de estructuras hidráulicas (Captación, transición de ingreso, canal de conducción, transición de salida y rápida). Se encuentran en buenas condiciones, salvo la parte final de estructura.

**Fotografías N.º 10 y 11: Vista del Canal de Salida de la Laguna pequeña.**



**Rápida.** Se encuentra en condiciones regulares, presenta degradación del mortero en la base de la misma, posiblemente debido a la constante erosión del flujo supercrítico, se recomendaría una restauración, para que el problema que no continúe.

**Fotografías N.º 12 y 13: Vista de la Rápida**



#### **Calidad del Agua de la Laguna:**

Se realizó la medición de parámetros de calidad de agua, determinándose que el agua proveniente de la laguna Yuracocha, 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 Yuracocha**

Parámetro	Unidades	Valor Obtenido en Campo	Valor Máximo Permissible VMP	Observación
PH		7.56	6.5 – 8.5	
Oxígeno Disuelto	mg/LDO	2.93		
Conductividad Eléctrica	uS/cm	12	1500	
Temperatura	°C	7.13	-	

**Estimación del Caudal de Salida con el Método del Correntómetro:**

Con el uso del correntómetro, se procedió a realizar la medición del caudal de la laguna Yuracocha, obteniéndose un caudal de salida  $Q_s = 0.178$  m<sup>3</sup>/s, ver tabla N.º 05.

**Tabla N.º 05: Cálculo de Caudales / Método del Correntómetro**

nº	t(s)	L(m)	v(m/s)	A(m <sup>2</sup> )	Q(m <sup>3</sup> /s)
1	4.9	5	1.02	0.1875	0.191
2	5	5	1.00	0.1875	0.188
3	5.3	5	0.94	0.1875	0.177
4	5.2	5	0.96	0.1875	0.180
5	5.2	5	0.96	0.1875	0.180
6	5	5	1.00	0.1875	0.188
7	5.2	5	0.96	0.1875	0.180
8	4.8	5	1.04	0.1875	0.195
9	5	5	1.00	0.1875	0.188
10	7.94	5	0.63	0.1875	0.118
			<b>Q Promedio</b>		<b>0.178</b>

**6. CONCLUSIONES**

- 6.1 La laguna Yuracocha, cuenta con las obras de seguridad correspondiente a un dique de tierra revestido, con sus canales de ingreso y salida, los cuales se encuentran en condiciones regulares, no identificándose deterioros que pongan en riesgo el buen funcionamiento de las estructuras.
- 6.2 Existe incertidumbre respecto de la existencia de planos de debilidad o superficies permeables en sus depósitos glaciáricos, que condicione el riesgo de desagüe por tubificación de la laguna al darse un sismo como evento detonante.

**7. RECOMENDACIONES**

- 7.1 Se recomienda la ejecución de una exploración profunda en la zona de emplazamiento de la laguna a fin de conocer a detalle las características en profundidad de los depósitos glaciáricos, y macizo rocoso emplazado en dicha zona, mas aun considerando el gran volumen de agua que almacena esta laguna.