



**PERÚ**

Ministerio  
del Ambiente

Instituto Nacional de Investigación en  
Glaciares y Ecosistemas de Montañas

**MINISTERIO DEL AMBIENTE**  
**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACION EN**  
**GLACIARES Y ECOSISTEMAS DE MONTAÑA**  
**DIRECCION DE INVESTIGACION EN GLACIARES**



**Palcacocha, 4568.85/Enero2016.**

**INFORME TECNICO DE LA SITUACION ACTUAL DE LA**  
**LAGUNA GLACIAR PALCACOCHA**

**Ing. Dávila Roller, Luzmila,**

**Ing. Vilca Gómez, Oscar,**

**Ing. Inga Espinoza, Edinson.**

**HUARAZ, 25 ENERO – 2016.**



## ESTADO ACTUAL DE LA LAGUNA GLACIAR PALCACOCHA

Día de la Inspección : 20 de Enero del 2016.

Profesionales en Glaciología, Geología e Hidrología del Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM), realizaron la inspección técnica.

- Ing. Luzmila Rosario Dávila Roller.
- Ing. Oscar Dante Vilca Gómez.
- Ing. Edinson Inga.

### I. OBJETIVO DE LA INSPECCION:

- Conocer el estado actual de la laguna Palcacocha.
- Observar las condiciones de los glaciares de los nevados Palcaraju y Pucaranra, sobre la laguna Palcacocha.
- Observar las condiciones geológicas y geotécnicas en la laguna Palcacocha.
- Verificar las condiciones de los trabajos de Sifonaje en la laguna Palcacocha e hidrología.

### II. ANTECEDENTES

El 13 de Diciembre de 1941 se produjo la catástrofe de origen glaciar más grande del mundo por efectos de una avalancha de hielo sobre la laguna Palcacocha, que rebasó su dique morrénicos erosionándolo rápidamente y evacuando un volumen estimado de 4 millones de metros cúbicos sobre la ciudad de Huaraz que fue destruida en una tercera parte con el saldo de 5000 muertes.

En 1943, la Dirección de aguas e Irrigación del Ministerio de Fomento y Obras Públicas, procedió a desaguar la laguna Palcacocha bajando su nivel en 5 m. Posteriormente el año de 1974 la unidad de Construcción N.16 de Glaciología y Seguridad de Lagunas dependiente de Electro Perú, concluye las obras de seguridad de Palcacocha con la Construcción de un dique de 8 m de alto y un conducto de fondo para descargar las aguas de esta laguna que tenía 380 m de largo, 514,800 m<sup>3</sup> de volumen y una profundidad de 13 m, dimensiones consideradas como seguras; del mismo modo se construye en el extremo derecho un dique auxiliar.

En Marzo del 2003 se produce un deslizamiento de tierras del talud izquierdo interior del dique natural morrénicos de la laguna, ocasionando un rebalse de sus aguas y afectación parcial de las obras construidas en especial el dique auxiliar que fue afectado seriamente. Las aguas del rebalse alarmaron a la ciudad de Huaraz por la crecida del río Quillcay que la atraviesa, en ese mismo año la Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos, efectúa una batimetría de la laguna, encontrando que esta triplicó a su largo a 1200 m por fusión de la lengua glaciar en contacto con la laguna y que su volumen se había incrementado a 3959.778 m<sup>3</sup> y una profundidad de 15 m.



En el 2009 la Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos del ANA, realiza una nueva batimetría encontrando que la laguna había incrementado su largo a 1592 m con un nuevo volumen de 17 325.207 m<sup>3</sup> y una profundidad de 73 m, por su condición de normativa emite informes a la región, pidiendo tome cartas para que las autoridades encuentren una solución de emergencia al problema.

En el 2010 se realizó una serie de coordinaciones por parte de Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos para atender a la emergencia de la laguna Palcacocha.

En el 2011, el gobierno regional acuerda atender la emergencia de la laguna Palcacocha al 15 de abril.

El Decreto Supremo N°002-2011 – 2011 – PCM del 5 de Enero del 2011 Declara el estado de emergencia en la cuenca de la laguna Palcacocha.

El Gobierno regional en marzo del mismo año inicia el proyecto de emergencia del desagüe de la laguna Palcacocha por sifonaje por el término de 6 meses.

Hasta el 2012 se emitieron 7 decretos supremos que extendieron el estado de emergencia hasta la actualidad.

A finales del 2015 el Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña, como parte de su compromiso ante la sociedad, decide liderar acciones que permitan solucionar definitivamente el controversial tema de Palcacocha, Organizando a las instituciones involucradas para de manera en conjunta se realice el proyecto definitivo.

### **III. RESULTADO DE LA INSPECCION TECNICA REALIZADA**

#### **1. CONOCER EL ESTADO ACTUAL DE LA LAGUNA PALCACOCHA.**

La laguna Palcacocha al 2009 registraba un volumen de 17 325 206.6 m<sup>3</sup>, una profundidad de 73 m y una área de 518 425.90 m<sup>2</sup>.



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

Instituto Nacional de Investigación en  
Glaciares y Ecosistemas de Montañas



**Foto N°01**, Vista del Dique principal de la laguna Palcacocha.



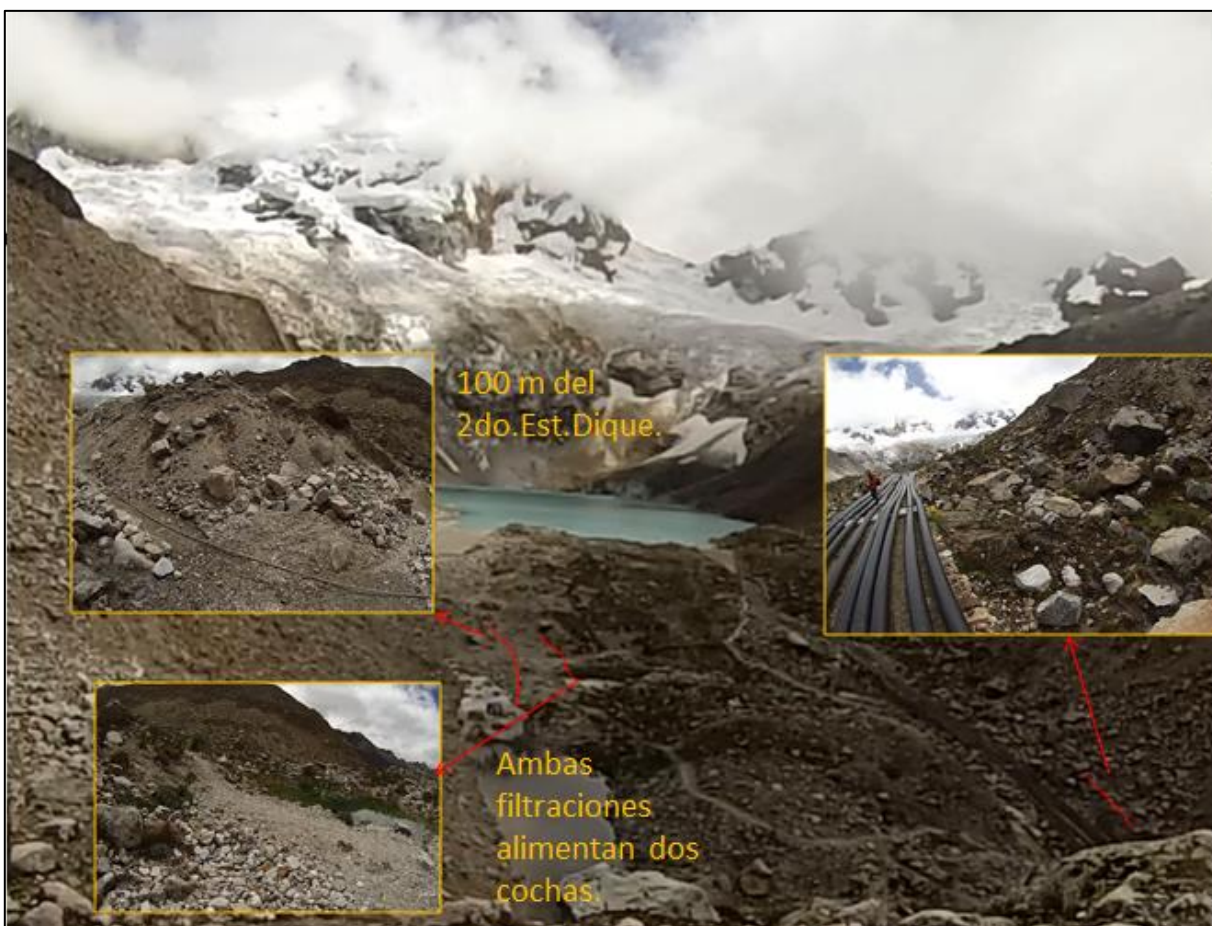
**Fotos N°02**, Vista de la laguna hacia el dique de descarga de la laguna.



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

Instituto Nacional de Investigación en  
Glaciares y Ecosistemas de Montañas



Fotos N°03, Vista panorámica de las filtraciones en el dique morrenico de la laguna Palcacocha.



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

Instituto Nacional de Investigación en  
Glaciares y Ecosistemas de Montañas



Filtración N°01, la cual se encuentra a aproximadamente 100 m, del dique auxiliar de la laguna Palcacocha.

La tubería del costado transporta agua al primer campamento.

**Fotos N°04**, Vista de la primera filtración ubicada cerca al dique llamado auxiliar de la laguna.



Filtración N°02, la cual se encuentra a aproximadamente 103 m, del centro entre los diques de seguridad de la laguna Palcacocha.

Dicha filtración se vuelve a infiltrar para abastecer de agua a un charco metros más abajo y finalmente retorna a la escorrentía de rebose.

**Fotos N°05**, Vista de la segunda filtración ubicada cerca al centro del dique morrenico de la laguna.



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

Instituto Nacional de Investigación en  
Glaciares y Ecosistemas de Montañas



**Fotos N°06,** Vista de la tercera filtración ubicada cerca al sistema de sifonaje.

Filtración N°03, la cual se encuentra a aproximadamente 103 m, del centro entre los diques de seguridad de la laguna Palcacocha.

Dicha filtración se vuelve a infiltrar para abastecer de agua a un charco metros más abajo y finalmente retorna a la escorrentía de rebose.



**Fotos N°07,** Vista de la tubería afectada por el fenómeno de cavitación en el sistema de sifonaje en la laguna Palcacocha.



Se observa el aplastamiento de las tuberías en el sistema de sifonaje, lo que indica que no funcionan al 100%, esto se repite en varios tramos.

Es debido al fenómeno de cavitación, el cual a afectado por la carga hidrostática, temperatura y presión del agua, y debido a la diferencia de alturas y desnivel del punto de ingreso y desemboque de las tuberías a >4000 msnm, por lo que no es posible bajar más de 5 m el nivel del agua. Hay 0.36 Km de longitud aprox desde la salida del dique hasta el desahije de las tuberías



En la fotografía se muestra zonas donde hay derrumbes y caídas directas al sistema de sifonaje, generando así rupturas de tuberías.

**Fotos N°08**, Vista de la tubería afectada por la inestabilidad de taludes,

## 2. OBSERVAR LAS CONDICIONES DE LOS GLACIARES DE LOS NEVADOS PALCARAJU Y PUCARANRA, SOBRE LA LAGUNA PALCACOCHA.

La laguna Palcacocha se encuentra en la cuenca del Santa alberga a la Sub cuenca Quillcay, cuenta con un área de 249.92 Km<sup>2</sup>, tiene una cobertura glaciar de 35.33 Km<sup>2</sup>, lo que representa un total de 14.1% del total del área de la sub cuenca (ANA, 2014).

Forma parte del Sistema Chinchey, cuenta con un área de 8.75 Km<sup>2</sup>, cuenta con picos y alturas estimadas, siendo estas máximas de 6290 msnm, promedio de 5436 msnm, mínimas de 4536 msnm, las distancias estimadas a partir de imágenes satelitales han sido determinadas siendo el ancho de 7019.56 m y longitud máxima de 2555.74 m, a su vez forma parte del sistema glaciar Chinchey, el cual cuenta con 91.53 Km<sup>2</sup> de superficie Glaciar, representando un 17.35% de cobertura glaciar en la Cordillera Blanca, tiene una de las mayores coberturas glaciares en la cordillera mencionada (ANA, 2014).

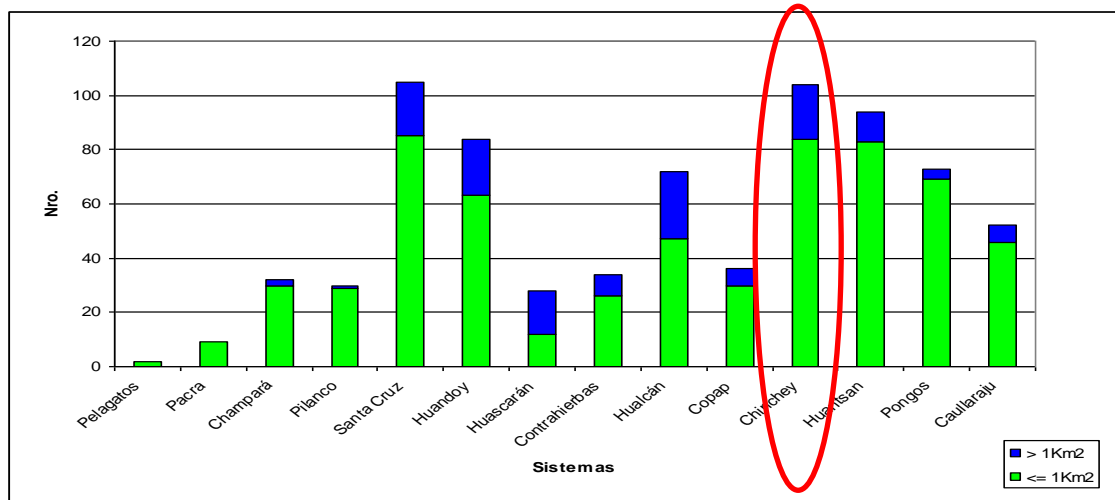
El sistema Chinchey es el segundo sistema con mayor glaciares mayores o iguales a 1 Km<sup>2</sup> (ANA, 2014), lo que es de consideración según se evalúe desde el punto de vista de riesgo, dado que a incremento de las temperaturas y el retroceso glaciar expondrán de forma más constante a las masas de hielo.



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montañas



Fuente: Inventario de glaciares y lagunas, UGRH ANA – 2014.

Se observa glaciares colgantes con mucha probabilidad de desplome y deslizamiento, pudiendo originar avalanchas dirigidas a la laguna Palcacocha, aumentando considerablemente el volumen y pudiendo generar olas que superen el dique principal.

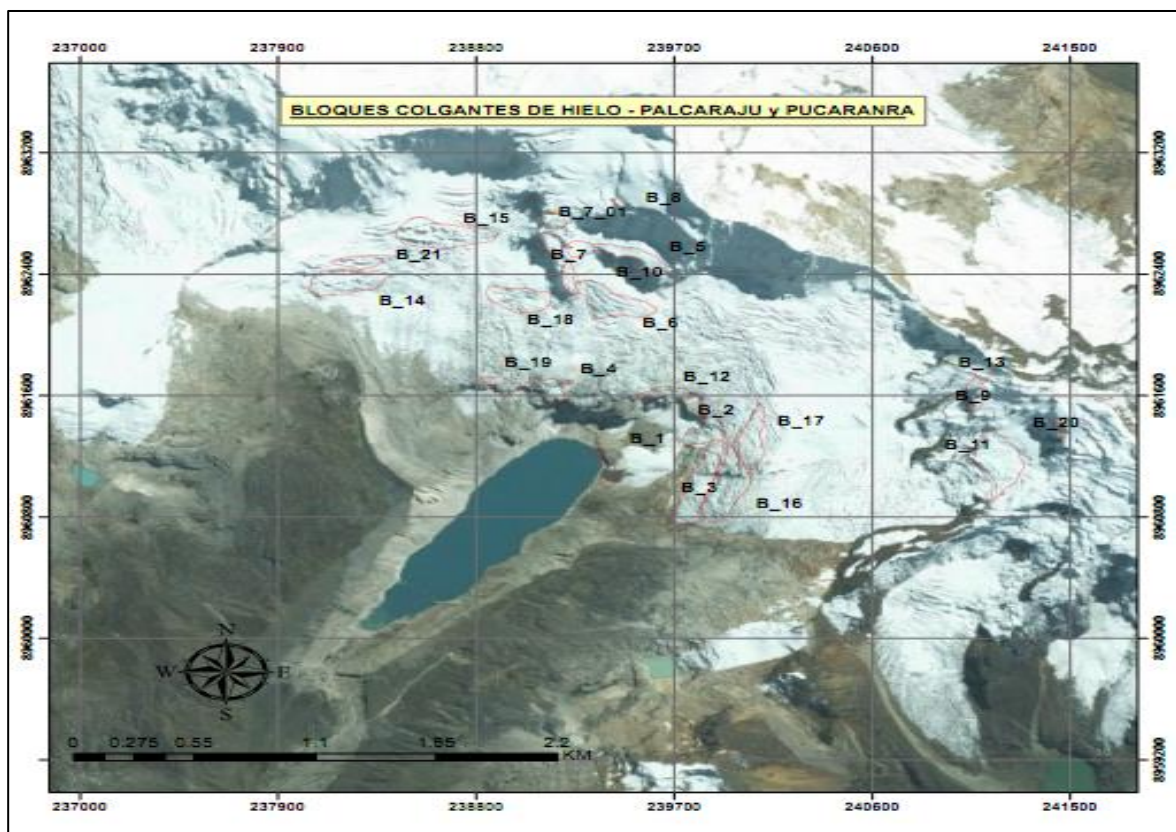


Imagen N°01, Vista de la tercera filtración ubicada cerca al sistema de sifonaje.

**Tabla N°01, Vista de los volúmenes estimados con DEM de 30 m, y imágenes NOKIA 2013.**

VOLUMEN POR BLOQUES COLGANTES GLACIAR PALCARAJU		
BLOQUE	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )	AREA (m <sup>2</sup> )
B_1	185,565.68	12371.045
B_2	354,002.21	29500.1844
B_3	639,487.87	53290.6557
B_4	239,807.95	19983.996
B_5	411,099.35	34258.279
B_6	665,229.59	50435.799
B_7	125,613.68	10467.807
B_7_01	137,033.23	11419.436
B_8	34,258.28	2854.857
B_9	194,130.25	16177.5205
B_10	125,613.68	10467.807
B_11	765,101.52	63758.46
B_12	205,549.67	17129.139
B_13	45,677.70	3806.475
B_14	548,132.41	45677.701
B_15	765,101.56	63758.463
B_16	708,004.43	59000.369
B_17	422,518.76	35209.897
B_18	479,615.90	39967.992
B_19	159,871.97	13322.664
B_20	68,515.97	5709.713
B_21	171,291.40	14274.283

Lo que se muestra en la tabla N°01, es la estimación de volúmenes y áreas de bloques colgantes con probabilidad de desprendimiento sobre la laguna Palcacocha, en su totalidad hablamos de 7 451 223.06 m<sup>3</sup>.

Cabe mencionar que los bloques de hielo considerados como una amenaza han sido constatados en campo, de manera que hay mucha probabilidad de ocurrencia de avalanchas y desplomes.

- Se registra derrumbes de hielo y desplomes de hielo de la lengua que se encuentra en contacto con la laguna.
- Se observa mayor aporte de agua del lado izquierdo del glaciar.
- Se observa que la superficie del glaciar se encuentra expuesta y con presencia de detritos, los cuales al absorber energía generan mayor fusión glaciar.
- Según el cuaderno de registro se observa que mayor temperatura con mayor incidencia desde el 16 de enero del 2016, lo que se contrasta con mayor acumulación de agua en la laguna Palcacocha.

### 3. OBSERVAR LAS CONDICIONES GEOLOGICAS Y GEOTECNICAS EN LA LAGUNA PALCACOCHA.

#### 1. EVALUACIÓN FÍSICA DE LOS MATERIALES COMPROMETIDOS

El conglomerado integral llamado cuenca glaciar, es un fenómeno geológico que comprende una serie de características estructurales, geomorfológicos y geotécnicos que están asociados a un constante dinamismo, haciendo de los materiales que la componen tengan comportamientos distintos que se ven reflejados en sus diferentes aspectos, siendo uno de los principales causantes que modifican esta cuenca, y que se ha visto reflejado en la cuenca glaciar de Palcacocha es el cambio climático que azota al mundo entero, generando deshielos que se transforman en avalanchas, y por ende generan un aportamiento de agua a la laguna, aumentando su volumen, a su vez la humedad y la escorrentía generada en las partes altas modifican las estructuras morrénicas generando a estas inestabilidades que se podrían transformar en deslizamientos, a raíz de esto se genera una inspección que determine el estado actual de la cuenca glacial.



a) **MORRENAS LATERALES**

De la cuenca glacial, las morrenas conforman una de las estructuras más importantes la cual componen el vaso o contenedor de la laguna, para ambas estructuras morrènicos el calentamiento ejercido en estos días ha generado que estas se vean afectadas en un grado relativamente leve viéndose reflejado en el comportamiento de sus materiales, es por eso que a raíz de esto se ha visto un movimiento de masas de forma superficial, siendo unos de los agentes principales la humedad, que está siendo provocada por la desglaciación de los hielos, evidenciándose con más fuerza en la parte alta y media del talud, dejando una coloración oscura de color marrón (ver fotoN°09), además la presencia de escorrentía de aguas que bajan de los glaciares arrastrando flujos de lodo que generan una especie de cárcava en todo el cuerpo del talud (ver foto N°10) en la actualidad y sobre todo la morrena lateral derecha por estar en una zona acuñada se ha visto más afectada habiendo esta generado un avance de masa producto del saturamiento provocado por la constante humedad (ver fotoN°11)



**Foto N°09.** Se observa en casi todo el talud la presencia de humedad producto de la fusión ejercida por el glaciar



**Foto N°10.** La presencia de agua proveniente de la parte alta ha generado que gran parte del talud se vea afectado erosiones tipo surcos.



**Foto N°11.** Considerada como sector crítico, debido a la alta humedad que ha saturado el suelo, además de ubicarse entre el glaciar y morrena generando una estructura en cuña.

**b) MORRENA TERMINAL**

De origen natural es considerada pieza clave en la seguridad de la laguna haciendo que esta no rebalse, su cuerpo morrenico está conformado por clastos de materiales de litología granítica intemperizados con geometrías angulosas a subangulosas y diámetros que van de 0.20cm hasta bloques de 1 a 2 metros de diámetro, a su vez también se evidencia gran porcentaje de materiales finos entre ellas tenemos arenas y arcillas de color marrón y amarillas, la humedad está presente y según lo observado es altamente húmedo, así como puntos de vegetación en casi toda el área, en este sector a casi 100 m del dique se han logrado mapear hasta 2 charcos de aguas

- 1) 5 x 3 metros y 0.5 metro de profundidad
- 2) 80 x 3 metros y 1.0 metros de profundidad

Es probable que estos charcos sean generados por filtraciones constantes de agua de la laguna, verificándose que estos llevan una dirección longitudinal al dique auxiliar costado de la morrena derecha (ver foto N°12) a una distancia no mayor a 100 m aguas abajo del dique auxiliar, los charcos están generando más filtraciones que trascurren por debajo del suelo hacia la izquierda reflejándose con más incidencia justo por el costado de los tubos del sifonaje, donde encuentra una salida o desfogue que se encuentran +- 10m altura por debajo de los charcos formados (ver foto N°13)



**Foto N°12.** Presencia de charcos de agua producto de la constante infiltración que existe, esto se tendrá que determinar, debido a que se trata de suelos inconsolidados y erosionados externa e internamente



**Foto N°13.** La presencia de escorrentías que se observan cerca a los tubos del sifón son producto de los charcos de agua y posibles infiltraciones de la laguna

### c) DIQUE DE SEGURIDAD

En consecuencia, debido a que estos dependen de las condiciones mecánicas y físicas de los materiales y particularmente de la geología del sitio. Si bien la crecida del agua producto de la desglaciación ocurrida en las últimas semanas, ha generado que esta se inunde, donde se ha podido constatar que el dique principal no presenta fractura ni asentamientos, que conlleven a pensar que puede producir filtraciones, erosiones y rotura en la estructura, sin embargo se ha podido constatar que el Dique auxiliar al costado derecho de la morrena lateral es una estructura de seguridad que esta presentado muchas deficiencias constructivas, observándose en el pie del talud del dique un levantamiento de unos 4 cm del suelo (ver foto N°14), metros más arriba cerca de la corona del dique se está presentando aplastamiento de unos 70 cm de longitud por una profundidad de 15 cm siguiendo el buzamiento del talud (ver foto N°15), geotécnicamente se determina que se trata de un suelo del tipo gravoso, formado por gravas de caras angulosas mezcladas con limo arcilloso fino, que a medida que se profundiza su contenido de humedad aumenta y luego disminuye; estos suelos se encuentran inestables y con alto índice de vacíos que pueden generar grandes asentamientos ante cargas extremas. Además la distancia entre la laguna y el dique auxiliar es de de aproximadamente 4 metros muy expuestos a la acción hidráulica del agua (ver foto N°16), los charcos de agua que se están presentando son productos de la constante infiltración del agua de la laguna, generando la percolación por contenido de humedad, la cual se considera que es tan fuerte, que excede la capacidad del material para retenerla.



**Foto N°14.** Pie del talud del dique auxiliar, donde se observa levantada parte inferior de la loza, quedando la estructura vulnerable frente al proceso erosivo del agua.

**Foto N°15.** Parte alta del talud del dique auxiliar, donde se evidencia aplastamiento de la loza, además de fisuras q, que determinan presencia de un probable asentamiento.



**Foto N°16.** El agua de la laguna se está presentando como causa principal de amenaza para la estructura de concreto, debido a la cercanía que tiene con la laguna, puede esta ser fácilmente socavada por el agua.

#### d) MORFOLOGÍA SUPERFICIAL DEL SUELO

Se observaron formaciones superficiales que no incluyen roca debido a que no se encontró, sin embargo se puede ver diferentes grados de meteorización en grandes y medianos bloques de rocas que se encuentran depositadas (**ver foto N°17**), además en su gran mayoría es considerado un depósito de materiales detríticos regionalizados por una gran erosión que influye en toda el área de morrena frontal, si bien han formado un gran colchón de espesor que abarca varios metros de profundidad, cabe indicar que estos materiales por su composición y formación son materiales no consolidados.



**Foto N°17.** Se observa una foto panorámica donde se aprecia la morfología de suelo, con presencia de erosión y los materiales que la conforman.



Debido a que el área evaluada correspondiente al dique morrenico, está formada por un ambiente de depósito de relleno de naturaleza glaciológica de decenas de metros de profundidad, por lo tanto esta no cuenta con afloramientos rocosos que se logren mapear como unidades estratigráficas, por lo tanto esto permitió englobar como un todo a una sola unidad geológica superficial (ver foto N°18), que en su gran mayoría comparten características similares de origen, litología, mineralogía, granulometría, geometría, grado de meteorización y relieve.



**Foto N°18.** Unidad superficial de suelos perteneciente a la parte posterior de morrena frontal, donde se puede ver mucha presencia de materiales pétreos sueltos no consolidados proveniente de las morrenas.

## 2. EVALUACION DEL RIESGO

### Identificación de peligros (zonas críticas)

Desde el punto de vista geotécnico se están presentando zonas vulnerables que tienen que ver con los materiales sobre todo morrenicos, que han sido acelerados a consecuencia de las últimas variaciones de temperaturas que han azotado la cuenca glacial, evidenciando características como:

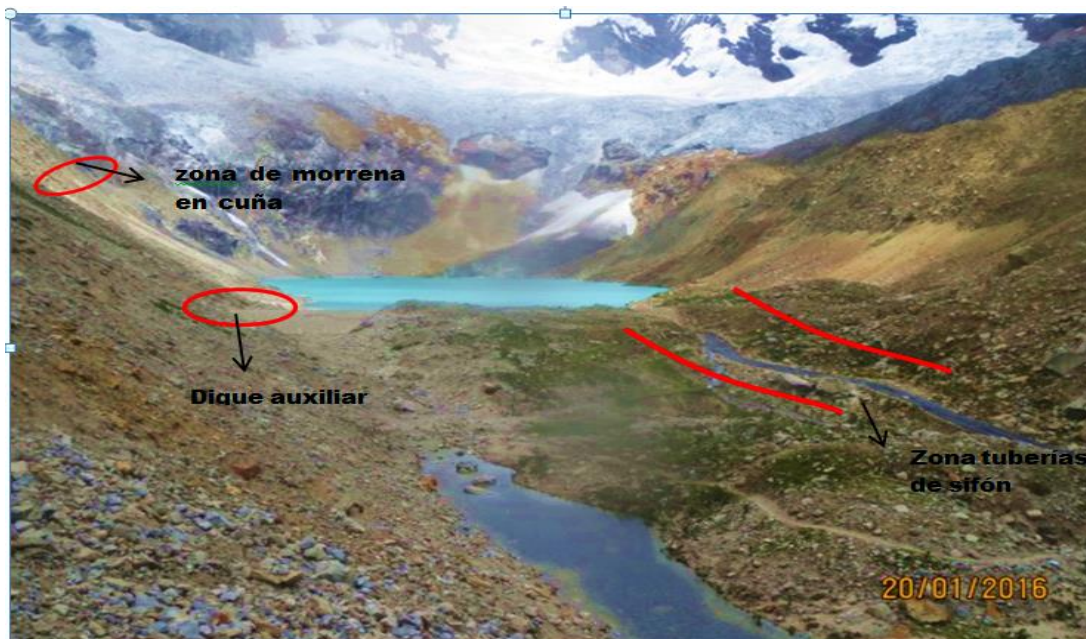
- Húmeda,
- Movimientos de masa
- Escarpamiento erosivo
- Agrietamientos
- Densificación de suelos

A consecuencia de la evaluación se han encontrado hasta 3 zonas críticas (**ver foto N°19**)

1. sector de cuña entre la morrena lateral derecha y el glacial



2. sector de salida las tuberías de sifón.
3. sector del dique auxiliar



**Foto N°19.** Fotografía panorámica donde se puede ver en la actualidad sectores críticos de la cuenca glacial señalados con color rojo.

### 3. SECTOR DE CUÑA ENTRE LA MORRENA LATERAL DERECHA Y EL GLACIAL

Es sin duda uno de los sectores más evidentes donde se ha visto un cambio morfológico (pendiente, alteración del suelo, erosión, etc) este proceso se ha producido producto de la constante humedad que ha sumergiendo los suelos hasta saturarlos provocando así empujes verticales y laterales en masa aunque es importante mencionar que es un deslizamiento superficial (**ver foto N°20**)



**Foto N°20.** Considerado sector crítico producto de la alta humedad que existe y a raíz de ello los movimientos de masas de suelos que se han presentado, la ubicación entre el glacial y la morrena le dan una estructura en cuña que característica de probable inestabilidad.



#### 4. SECTOR DE SALIDA LAS TUBERÍAS DE SIFÓN

Zona inestable producto de la no consolidación de los materiales formada por un ambiente de depósito de relleno de naturaleza glaciológica morrenica, la cual cuenta con un corte de excavación para la colocación de los tubos de sifón, sin embargo en la actualidad se están produciendo caída de material morrenico suelto entre rocas y gravas, sector considerado crítico por la elevada humedad que tiene y la alta pendiente de 74° de inclinación, además de los materiales con alto nivel de intemperismo, físicamente débiles e no consolidados susceptibles a procesos erosivos acelerando así a movimientos de roturas de suelo por corte que originan la inestabilidad de los taludes (**ver foto N°21**),



**Foto N°21.** Sector crítico debido a que el total de la tuberías del sifón pasan por suelos altamente inconsolidados, sueltos y susceptibles a erosión con taludes de pendientes mayores a 70° y alta humedad proclives a un deslizamientos que generaría la obstrucción del flujo de agua.

Haciendo que toda la masa caiga produciendo un aplastamiento y enteramiento total de los tubos que corresponden a la salida del sifón, posteriormente generaría una obstrucción general del flujo de agua

#### 5. SECTOR DEL DIQUE AUXILIAR

Es una estructura de seguridad que evidentemente no ha tenido un proceso constructivo adecuado, observándose muchas deficiencias,



**Foto N°21.** Pie del talud del dique auxiliar, donde se observa levantada parte inferior de la loza, quedando la estructura vulnerable frente al proceso erosivo del agua.

En la parte alta corona del dique, se puede ver aplastamientos del concreto acompañados de fisuras que siguen una línea casi continua, obedeciendo a asentamientos producto del suelo, en la parte del pie de dique se presentan un levantamiento de la loza del talud evidenciando que esta estructura no cuenta con una cimentación adecuada, considerando que la laguna tiende a crecer es probable que esta estructura sea socavada por el oleaje y posteriormente, arrancada de sus sitio original. **(Ver foto N° 20, 21, 22)**



**Foto N°20.** Presencia del dique auxiliar junto a la morrena lateral derecha incorrectamente ejecutado, trabajado por encima de materiales inestables, sueltos e no consolidados



**Foto N°22.** Parte alta del talud del dique auxiliar, donde se evidencia aplastamiento de la loza, además de fisuras q, que determinan presencia de un probable asentamiento.



4. VERIFICAR LAS CONDICIONES DE LOS TRABAJOS DE SIFONAJE EN LA LAGUNA PALCACOCHA E HIDROLOGÍA.

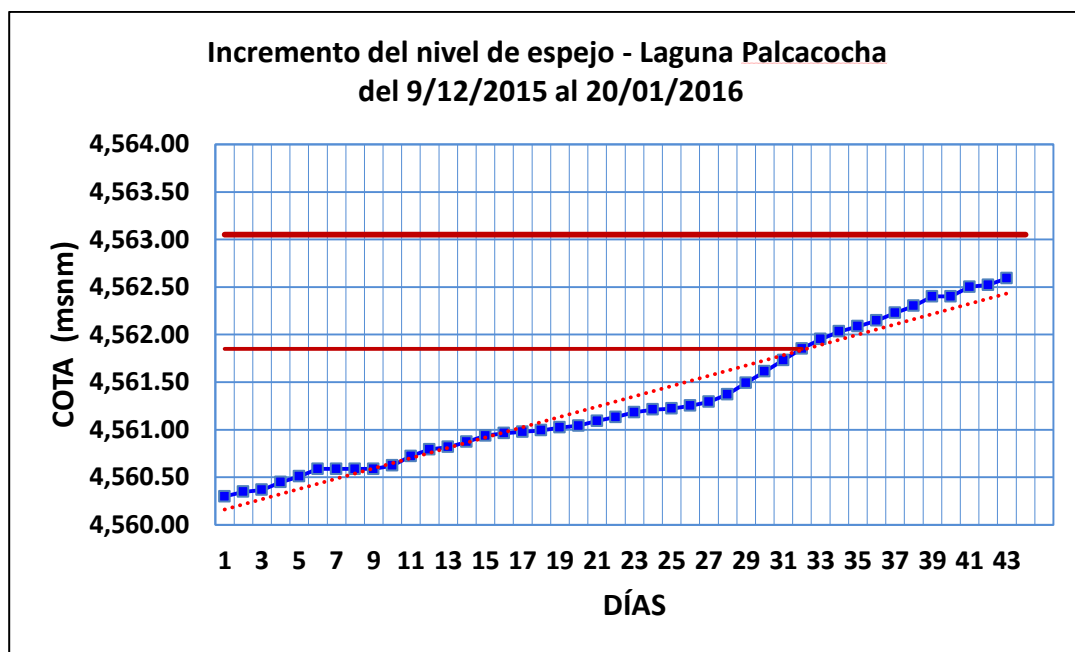


Gráfico N°01, Vista de la tercera filtración ubicada cerca al sistema de sifonaje.

En el gráfico N°01, se observa el comportamiento desde 9 de diciembre del 2015 al 20 de enero del 2016, en cuanto al incremento del agua en la laguna, observándose que existe escasos 40 cm de borde libre para cubrir por completo al ducto de desagüe del dique.



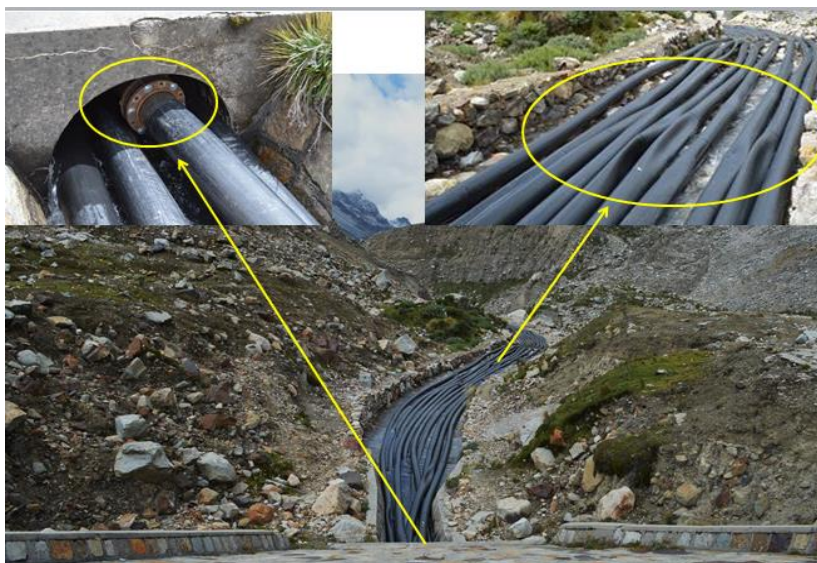
Se muestran en la Foto N°23, las dimensiones del borde libre para alcanzar el ducto por completo, con las 10 tuberías, del sistema de sifonaje.

En 43 días

Incremento lineal de la cota de espejo, ascenso 2.29 m.

Volumen incrementado 160,236 m<sup>3</sup>

Foto N°23, Vista del ducto de desagüe del dique, mostrando los escasos 40 cm de borde libre del ducto.



Se muestran en la Foto N°24, las grivas que obstaculizan la salida de agua de la laguna, claramente se observa una obstrucción del canal de desagüe.

**Foto N°24,** Vista del ducto de desagüe del dique en la parte exterior, mostrando la obstrucción del canal, que impide salir con normalidad el agua de la laguna.

#### IV. CONCLUSIONES

- En el momento de realizado la inspección Técnica, se observaron varios deslizamientos de hielo a los taludes de la laguna, bloques desplomarse de la lengua en contacto con la laguna, los cuales contribuyen significativamente en el volumen y aporte de sedimentos de material a la laguna Palcacocha, hay mucha probabilidad de desprendimiento de bloques de hielo a la laguna directamente, pudiendo originar incremento del volumen y oleajes.
- Se han identificado 3 filtraciones de la laguna, los cuales aportan con agua a los dos charcos que se han formado en el frente aguas debajo de la laguna, éstas además debilitan significativamente el dique, generando turificación.
- El sistema de sifonaje presenta aplastamiento debido al aire que ingresa a las tuberías, lo que no permite que se trabaje al 100%, generando el efecto tapón.
- Se ha identificado que no existe regla limnimétrica para conocer el caudal de la laguna.
- Existe mucha inestabilidad de los taludes morrénicos laterales de la laguna Palcacocha, generando de aporte de material particulado a la laguna directamente por el humedecimiento del deshielo, Movimiento de masas de suelo superficiales sobre todo en sector de cuña entre el glaciar y la morrena lateral derecha.
- Agrietamientos de suelos provocados por la intensa humedad, que se genera a través de la fusión del hielo, Percolación o infiltración de agua sobre todo en la parte del dique auxiliar, la cual se tendrá que evaluar con más detalle.
- El Dique secundario presenta inestabilidad y daños generados en el evento del 2003, los cuales no han sido subsanados y reforzados de la forma adecuada.



- En 43 días, se incrementó de forma lineal de la cota de espejo, ascenso 2.29 m, con un Volumen de 160,236 m<sup>3</sup>

## V. RECOMENDACIONES

- Se debe considerar retirar las tuberías que obstruyen el ducto de descarga del dique. Debido a que las tuberías funcionan como efecto tapón, y siendo su rendimiento deficiente para el sistema.
- Considerar realizar estudios, ensayos y mediciones del tipo climatológica y glaciológica en el lado derecho del glaciar, para monitorear y estimar la fusión y aporte en volumen de agua a la laguna, Esto a razón de los constantes aportes de hielo y agua por las variaciones climáticas e inestabilidad de bloques colgantes.
- Realizar estudios del aporte de agua de las 3 filtraciones de la laguna, relacionar el grado de afectación a los diques y morrena terminal, para descarte del fenómeno de tubificación que podría existir en las zonas afectadas.
- Instalar una regla limnométrica en el canal de salida de agua de la laguna para medir el caudal, sería importante hacer a la vez una proyección de instalación de sensor de nivel de agua para comparar los resultados de la regla.
- Es necesario realizar una batimetría con carácter de urgencia para conocer el volumen actual de la laguna Palcacocha.
- Tomar medidas sobre la conservación del dique llamado auxiliar de la laguna, ya que éste presenta una serie de problemas en la estructura.
- Realizar la construcción de un vertedero, para conocer el aporte de la laguna Palcacocha.
- Considerar la instalación de piezómetros que permitan conocer la altura de mapa freática en el dique morrénicos.
- Mejorar el diseño de estabilización de taludes.
- Realizar toma de muestras de morrenas laterales, con la finalidad de determinar sus características físicas y mecánicas que permitan estimar un volumen potencial de deslizamiento hacia la laguna.
- A la región Ancash el pago a los trabajadores que se encuentran de forma permanente en la laguna Palcacocha, ya que por referencia de ellos mismos, son 8 meses que no cuentan con pago.