

Informe Técnico de Inspección

LAGUNA UPISCOCHA

Cordillera Vilcanota



INAIGEM
INSTITUTO NACIONAL DE
INVESTIGACIÓN EN GLACIARES Y
ECOSISTEMAS DE MONTAÑA

Informe Técnico de Inspección N° 04

Elaborado por:

Ing. Oscar Vilca Gómez
Especialista en Hidrología y Glaciología

Ing. Victor Bustinza Urviola
Jefe de la ODRMS

Cusco, 10 de noviembre del 2020

Oficina Desconcentrada Macro Región Sur
Instituto Nacional de Investigación en Glaciares
y Ecosistemas de Montaña – INAIGEM
Ministerio del Ambiente

Contenido

Resumen.....	3
1. Introducción	4
2. Antecedentes	4
3. Aspectos Generales.....	4
3.1. Ubicación.....	4
3.2. Objetivos	5
4. Caracterización - Laguna Upiscocha.....	5
5. Análisis.....	12
6. Conclusiones.....	15
7. Recomendaciones	16

Informe técnico de inspección - Laguna en formación Upiscocha

Resumen

Upiscocha es una laguna de origen glaciar que durante los últimos cuatro años ha presentado un crecimiento acelerado como consecuencia del derretimiento de los glaciares que ocupan la zona posterior del vaso lagunar. Mediante un análisis multi-temporal se determinó que Upiscocha incrementó en 46% su superficie en el último año, un crecimiento acelerado considerando el tamaño que tiene en la actualidad. Asimismo, se verificó que la tendencia de crecimiento en los últimos cuatro años es cercana al 50%, siendo el periodo 2018-2019 el de mayor crecida con 65%.

En el presente informe, se evaluaron los aspectos preponderantes en relación a las características de la laguna y se determinó que en las condiciones actuales representa **peligro alto**, con potencial de desborde. Este documento deja evidencia sobre el crecimiento acelerado de lagunas en el ámbito de la cordillera Vilcanota, fenómeno asociado directamente al derretimiento de los glaciares, que a su vez obedece a factores climáticos y cambios físicos en la superficie de estos cuerpos de hielo como son: el incremento de la temperatura media, la escasa nubosidad en la temporada seca, la alteración del albedo sobre el glaciar.

Finalmente, se observa que la formación de lagunas potencialmente peligrosas en el ámbito de la cordillera Vilcanota se manifiesta con mayor rapidez. En ese sentido, es imprescindible atender este caso con fines de prevención y evitar futuros desastres.

1. Introducción

El Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montañas-INAIGEM, tiene la misión de fomentar y expandir la investigación científica y tecnológica en ámbitos de glaciares y ecosistemas de montaña, para el beneficio de la población, adoptando medidas de adaptación y mitigación en el contexto de riesgos producidos por el cambio climático.

El INAIGEM, como institución encargada de establecer la política pública en glaciares y ecosistemas de montaña; a través de la Oficina Desconcentrada Macro Región Sur ODMRS realizan estudios para la generación de información que ayuden en la gestión del riesgo de desastres asociados a glaciares, el mismo que consiste en identificar peligros, analizar vulnerabilidades, evaluar los riesgos y recomendar medidas de prevención y reducción del riesgo.

El presente documento, contiene la caracterización y análisis de la laguna en formación y su entorno, lo cual servirá como línea base para futuros estudios en el ámbito. Además, contiene conclusiones y recomendaciones acorde a la primera visita de inspección.

Este informe técnico de inspección está sujeto a cambios y actualizaciones, según la información que se generará a futuro, por lo que se podrían plantear nuevas hipótesis y recomendar acciones que nos ayuden al mejor entendimiento de los fenómenos relacionados a los glaciares y su entorno.

2. Antecedentes

En atención al Reporte de Peligros en Glaciares RPG 001-2020 emitido el día 30 de octubre del 2020, documento en el que se pone de conocimiento la aparición de lagunas nuevas en el ámbito de la cordillera Vilcanota. El referido reporte, resalta el crecimiento acelerado de dos lagunas y en un periodo relativamente corto (los últimos 12 meses). Además, se recomendó realizar la inspección a las lagunas catalogadas con peligro alto, como son las lagunas A10 y A40 (Códigos asignados por conveniencia).

3. Aspectos Generales

3.1. Ubicación

Políticamente, la laguna Upiscocha se ubica en el distrito de Ocongate, provincia de Quispicanchi del departamento de Cusco, ver **Anexo: Mapa de Ubicación**.

Hidrográficamente, Upiscocha pertenece a la microcuenca Lauramarca, subcuenca Yavero de la cuenca Urubamba, perteneciente a la gran vertiente del océano Atlántico.

Geográficamente, la zona ubicación de la zona de interés en coordenadas UTM Zona 19L/WGS84, es:

Código	Nombre Local	Este	Norte
A-10	Upiscocha	256 451	8 475 813

3.2. Objetivos

- Evaluar la situación actual de la laguna Upiscocha.
- Determinar el nivel de peligrosidad que representa

4. Caracterización - Laguna Upiscocha

Laguna Upiscocha (denominación local) es una laguna de origen glaciar que ocupa la concavidad de un recipiente natural formado por morrenas (Ver **Figura 1**) (Ver **Anexo: Mapas Laguna Upiscocha**). Esta laguna figura en el inventario nacional de lagunas altoandinas de la Autoridad Nacional del Agua publicado en el año 2014 y realizado con imágenes satelitales del 2010 (Ver **Tabla 1**). En la actualidad se desconoce el volumen de agua que almacena esta laguna, así como la ubicación de la zona con mayor profundidad.

Tabla 1. Características de la laguna según el inventario de lagunas altoandinas (ANA, 2014).

Área:	164 746 m ²
Largo máximo:	823 m
Ancho máximo:	251 m
Altitud:	4600 m s.n.m.
Nombre:	Sin denominación

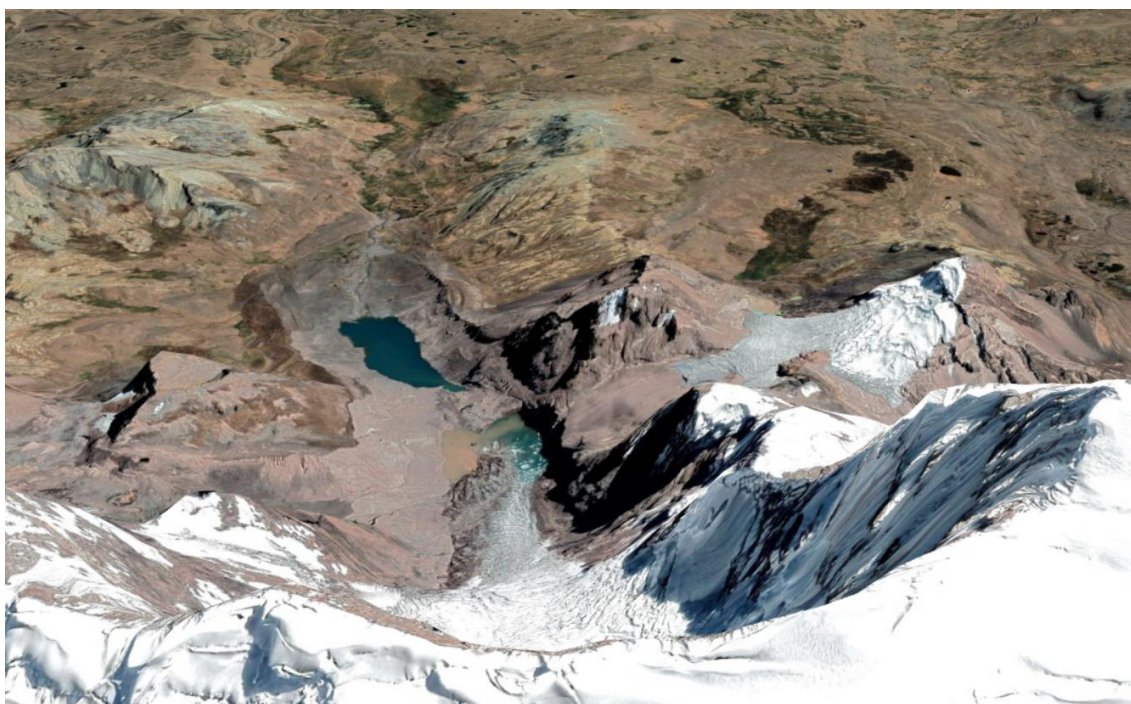


Figura 1. Depósito cuaternario, con orientación noroeste, donde se sitúa la laguna Upiscocha. Se observa el frente glaciar y una laguna en crecimiento en la zona posterior (Imagen Google Earth 03/08/2019)

El paisaje predominante en el entorno de la laguna Upisocha lo conforma el nevado Ausangate con una lengua glaciara proveniente del sector noroeste y el conjunto de morrenas o depósitos cuaternarios que se encuentran apoyados visiblemente sobre el basamento rocoso en ambos flancos (Ver **Figura 2**).



Figura 2. Laguna Upisocha, paisaje dominado por el glaciar proveniente del nevado Ausangate y las morrenas laterales con taludes en constante actividad erosiva. (INAIGEM/O. Vilca, 02/11/2020)

En la actualidad, esta laguna se encuentra pleno proceso de cambios en su forma, demostrando un incremento paulatino en superficie, debido principalmente al derretimiento de los glaciares ubicados en la zona posterior, proceso que se viene dando con una velocidad inusual en relación a la formación de lagunas, la presencia de bloques de hielo flotantes son indicadores de esta dinámica acelerada, bloques de hielo dispersos en toda la superficie de Upisocha (Ver **Figura 3**).

Se constató la formación de una laguna en la zona posterior de Upisocha, el crecimiento progresivo de esta laguna se realiza en dos sentidos, por la zona posterior en contacto con el frente del glaciar y por la zona que divide a las dos lagunas conformado por glaciares cubiertos (Ver **Figura 4**). Esta laguna en proceso de formación se encuentra en el mismo nivel de espejo con la laguna mayor lo que significa que en un futuro cercano formarán parte de una sola superficie.

Una característica en la formación de una laguna glaciara, como es el caso de Upisocha en la zona posterior, es la presencia importante de bloques de hielo flotantes, hielo producto de la fracturación del frente glaciara y de los glaciares cubiertos que salen a flote, procesos acelerados ocasionados por el intercambio termal entre el agua y el hielo.

En tanto, el flanco derecho muestra el afloramiento del lecho rocoso y por encima se visualiza una terraza que alberga un glaciar que es un aporte de agua en ese sector, el flanco izquierdo muestra taludes con fuertes huellas causada por la erosión y deslizamientos recientes.



Figura 3. Vista de la zona frontal de la laguna y presencia de bloques de hielo flotante en la laguna Upisocha, indicador de la dinámica intensa del frente glaciar (INAIGEM/ O. Vilca, 02/11/2020)



Figura 4. Laguna Upisocha en la zona posterior. Mantiene contacto con el frente glaciar. Se observan los afloramientos de roca en los taludes interiores (INAIGEM/ O. Vilca, 02/11/2020)

La zona alta de la pared rocosa del nevado Ausangate, tiene pendientes muy fuertes ($>60^\circ$), con líneas de flujo en dirección hacia la lengua glaciar y consecuentemente a la laguna. En tal sentido, esta zona representa el de mayor potencial a desprendimientos de roca, hielo o combinadas (mixtos), de ocurrir un desprendimiento de rocas y dependiendo del volumen de material transportado, alcanzarían a la laguna con relativa facilidad, hipótesis con alta probabilidad de ocurrencia por la forma de la lengua glaciar (rampa en dirección a la laguna).

El glaciar proveniente del sector noroeste del nevado Ausangate, se encuentra en proceso de fusión continua y acelerada como se evidencia en el análisis de la **Figura 10**, como consecuencia del incremento de la temperatura global, incidiendo directamente en el intercambio de temperatura entre el agua y el glaciar en la zona de contacto, la cobertura de detritos sobre el glaciar condiciona a un albedo muy bajo en la zona de ablación lo que se traduce en la fusión acelerada, esta cobertura de detritos altera de manera visible la coloración en la superficie del hielo (Ver **Figura 5**).

El glaciar en la zona media y baja se encuentra fracturado, presenta agrietamientos tanto longitudinal como transversal al flujo, además de frentes glaciares con paredes verticales, propensos a un desplome por volteo, actividad frecuente de la dinámica glaciar. En esta situación, se considera que el escenario más desfavorable será cuando la laguna alcance el máximo tamaño, escenario donde el espejo de agua se ubique por debajo de las fuertes pendientes de roca y hielo de la cara noroeste del nevado Ausangate, lo que convertirá a la laguna en una condición de alta susceptibilidad a los desprendimientos de roca o hielo.

El frente glaciar en contacto con la laguna, tiene una superficie aproximada de 200 mil metros cuadrados, una superficie importante para la expansión futura en el proceso de crecimiento de la laguna, una distancia aproximada desde el frente y en línea recta hasta el fondo de ~ 400 m, esta zona del glaciar con pendiente moderada, eventualmente cumple la importante función de receptora y disipadora de la energía producida por las avalanchas de hielo y roca.

En relación al talud interno del flanco izquierdo se observan las marcas y huellas del alto grado de erosión que ocurre en esta zona, en la parte baja se observan depósitos coluviales y conos de deposición muy definidas, se puede distinguir algunos deslizamientos de gran tamaño ocurridos durante la retirada del glaciar.

Un aspecto de importancia en relación a los peligros en el entorno de la laguna Upiscocha son los taludes interiores inestables, conformados por material morrénico y situados sobre laderas con pendientes muy fuertes y de basamento rocoso, estos depósitos tienen un alto potencial a deslizamientos.

Los estudios topográficos nos darán mayores indicios de la relación existente entre los taludes interiores de los flancos de morrena y la profundidad de la laguna Upiscocha, información que en combinación con los estudios de estabilidad de taludes y geotecnia servirá para el análisis a detalle del peligro por deslizamientos de ladera.



Figura 5. Vista de la lengua del glaciar principal en la zona posterior, se señala las zonas con potencial de desprendimiento (rojo = roca, amarillo = glaciar) y la línea de flujo con el cambio de pendiente, una idea del tamaño que podría alcanzar Upiscocha en caso de continuar la tendencia de crecimiento (INAIGEM/O. Vilca, 02/11/2020).

El remanente de glaciar cubierto (Ver **Figura 6**), que separa a las dos superficies de la laguna Upiscocha, cumplió la función de un dique natural intermedio, según la inspección en campo se observó la conexión inminente entre los dos cuerpos de agua, existiendo solo escasos metros para que Upiscocha sea una laguna de grandes dimensiones. Sin embargo, por el nivel de espejo que se observa, se deduce que existe conexión subsuperficial e intercambio de flujo de agua entre ambas.



Figura 6. Nivel máximo alcanzado por el cuerpo de agua, se observa el desagüe por rebose, nótese también la coloración del agua, considerando que esta imagen corresponde al mes de agosto del 2020 (mes seco), es una característica de la fusión de los glaciares y el arrastre de sedimentos (INAIGEM/ O. Vilca, 02/11/2020)

El glaciar cubierto que reposa en medio de la laguna Upiscocha tiene una capa de detritos relativamente delgada en comparación al volumen de hielo que se observa sobre el nivel de espejo de la laguna, glaciar que al encontrarse en contacto con el agua de las lagunas en ambos lados se estima que el proceso de fusión total del hielo tomará un tiempo relativamente corto de meses, condicionado por el incremento de la temperatura media global.

La profundidad máxima de la futura laguna dependerá en gran medida del espesor de glaciar existente por debajo del espejo de agua, variable que condicionará el nivel de peligrosidad a futuro cuando se culmine el crecimiento máximo de esta laguna.

El glaciar cubierto aún existente hace la función de dique natural y también de cuña para los depósitos existentes en ambos flancos, variable condicional para la estabilidad de los taludes interiores. También se identificaron marcas en zonas con posibles deslizamientos, líneas de discontinuidad en la superficie del terreno situados en la morrena lateral izquierda (Ver **Figura 7 y 8**).



Figura 7. Glaciar cubierto que cumple la función de dique natural intermedio de la laguna Upiscocha. En línea amarilla se muestra el sector con potencial de deslizamientos (INAIGEM/ O. Vilca, 02/11/2020)



Figura 8. Imagen panorámica que nos muestra en conjunto lo cerca que se encuentran de unirse los dos cuerpos de agua para formar la gran laguna Upiscocha, el glaciar cubierto en medio y los taludes con fuertes pendientes en ambos flancos y en línea punteada amarilla las zonas con potencial a deslizamientos (INAIGEM/ O. Vilca, 02/11/2020)

La zona frontal (Ver **Figura 3 y 9**), está constituida por los depósitos morrénicos predominantes en el conjunto del vaso. No existe un borde libre, por el contrario, se observan rastros y huellas dejadas por eventos pasados de desborde de agua, estas huellas probablemente sean de eventos asociados al proceso de formación inicial de esta laguna desde la retirada del glaciar, señales claras de los últimos 40 años, edad que se estima tomó la formación de la laguna, procesos naturales que han modelado la superficie del cauce en la zona de rebose, siendo el desagüe de esta laguna. En este sector se debe contemplar estudios de geofísica para conocer la profundidad donde se encuentra el basamento rocoso, así como las características geotécnicas y geométricas del dique natural.



Figura 9. Zona de frontal y de rebose, en línea amarilla, la propuesta tentativa (sujeta a estudios detallados) para la ubicación de un dique artificial que garantice un borde libre de seguridad (INAIGEM/O. Vilca, 02/11/2020).

5. Análisis del peligro

Para el análisis multitemporal se usaron 05 imágenes satelitales Sentinel y una imagen Bing, con las características que se muestran en la **Tabla 2**. Se calcularon las áreas para los años consecutivos del 2016 al 2020 (Ver **Figura 10**).

Tabla 2. Imágenes satelitales utilizadas.

ID	Imágenes	Año	Área m ²	Diferencia	%	Fecha de imagen
a	Bing Aerial	2015 *				
b	Sentinel-2_L1C	2016	33 760	-		2016-05-30
c	Sentinel-2_L2A	2017	48 348	14 588	43	2017-07-24
d	Sentinel-2_L2A	2018	75 416	27 067	56	2018-05-30
e	Sentinel-2_L2A	2019	124 812	49 396	65	2019-09-17
f	Sentinel-2_L2A	2020	182 596	57 784	46	2020-08-27

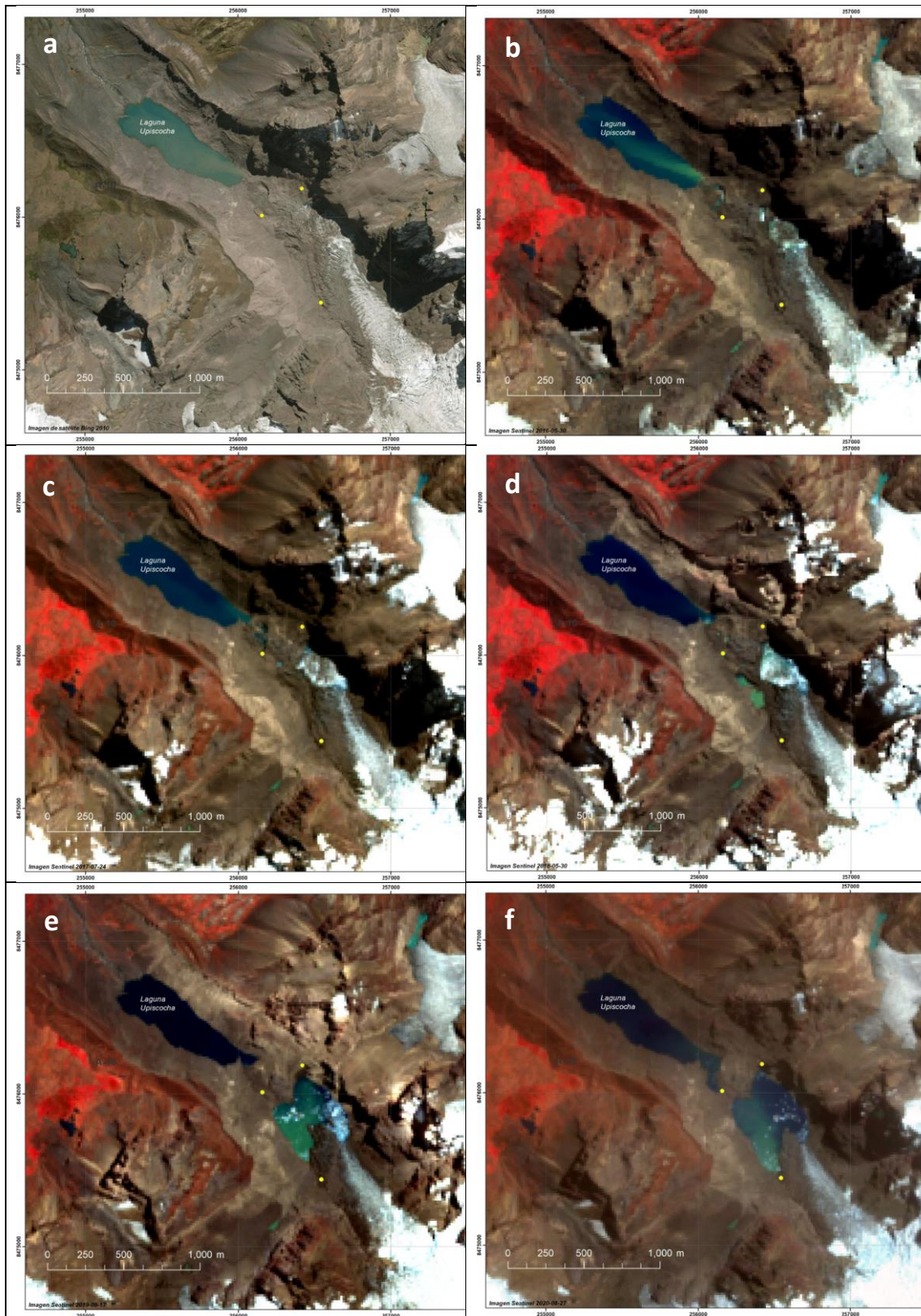


Figura 10. El análisis multitemporal muestra el crecimiento de los principales cuerpos de agua. (a. imagen Bing 2015 año estimado), 2016 (b), 2017 (c), 2018 (d), 2019 (e) y 2020 (f). (Fuente: Elaboración propia)

En consecuencia, la superficie de espejo de la laguna Upiscocha seguirá creciendo hasta alcanzar el máximo grado de desarrollo, en función a factores como:

- El derretimiento total del glaciar cubierto (glaciar que cumple la función de dique natural) hecho que significará la unión de la superficie de la laguna Upiscocha
- El derretimiento de la lengua glaciar principal
- El incremento de la temperatura media superficial como efecto del cambio climático.

En la **Tabla 3** se muestra el resumen de los criterios que se tomaron en cuenta para la valoración del peligro ICIMOD (2011). Los procedimientos para la evaluación de primer orden de GLOF y otros peligros glaciares como avalanchas de hielo y flujos de escombros debe considerar aspectos básicos en glaciología, geomorfología y principios hidráulicos, junto con la experiencia adquirida en eventos anteriores. Sin embargo, aclara, que es difícil estimar la probabilidad de ocurrencia de tales peligros debido a los rápidos cambios en la naturaleza de los sistemas glaciares (Huggel et al. 2004).

Tabla 3. Criterios para la evaluación del peligro en la laguna Upiscocha.

Criterios de evaluación	
Tamaño	392 058 m ² – en crecimiento
Volumen estimado	> 5 millones de metros cúbicos
Velocidad de expansión	Muy acelerada
Posición con respecto al glaciar	En contacto
Tipo del material del dique natural	Depósito morrénico
Borde libre	No existe
Origen	Glaciar
Glaciares colgantes	Sí
Deslizamientos	Sí
Caída de rocas	Sí
Cambio en los niveles de espejo	No se evidencia
Actividad con lagunas supraglaciares	No en la actualidad
Tipo de desagüe	Rebose
Pendientes en la taludes de la morrena	Fuerte – Muy fuertes
Existencia de núcleo de hielo en la morrena	Poco probable
Pendiente en la lengua glaciar	Moderada – Fuerte
Cubierta de escombros en la lengua glaciar	Moderada
Colapso de hielo en el frente glaciar	Sí
Bloques de hielo flotando	Sí
Zonas potenciales de caída de rocas	Sí
Zonas potenciales de avalancha de hielo	Sí
Antecedentes de desborde	Sí

6. Conclusiones

De la laguna

- El área de la nueva laguna Upiscocha es 392 058 m², teniendo en cuenta la suma de la superficie mayor y la expansión en la zona posterior.
- El periodo 2018 – 2019 se registró el mayor crecimiento de la laguna, registrando un incremento de hasta el 65%, pasando de 75 416 m² en mayo del 2018 a 124 812 m² en setiembre del 2019. Además del crecimiento del 50% en promedio los últimos 04 años, aspecto que indica una velocidad de expansión acelerada.
- La posición de esta laguna respecto al glaciar, es la más desfavorable, puesto que ahora se encuentra en la línea de flujo de la lengua glaciar principal, variable condicionante que será crítico a medida que avance el derretimiento del glaciar y la pendiente sea más fuerte.

De los glaciares

- La dinámica de los frentes glaciares muestra constantes desprendimientos, lo cual se evidencia en la existencia de hielo flotante en ambos sectores de la laguna Upiscocha.
- La pendiente de la lengua glaciar con respecto a la laguna se divide en dos sectores, estos son: frente terminal del glaciar y zona de ablación, aquel que se encuentra en contacto con la laguna, que tiene una pendiente moderada; el segundo es el que se encuentra directamente adherido sobre el basamento rocoso del Ausangate, es decir en pendiente muy fuerte.
- El glaciar cubierto que aún se encuentra como dique natural cumple la función de barrera frente a oleajes eventuales que se producen en la laguna posterior, a medida que este bloque se derrita dejará expuesto el espejo de agua en toda la laguna.

Del dique natural

- El tipo de material del dique está conformado por depósitos glaciáricos en forma de morrenas.
- No existe borde libre, en consecuencia Upiscocha desagüa por rebose.
- En la zona frontal de Upiscocha se observan geoformas que revelan eventos de desbordes pasados.

Amenazas potenciales

- Glaciares colgantes ubicados en el sector alto y medio, propensos a desprendimientos.
- Avalancha mixta en todo el sector del circo glaciar.
- Deslizamientos en los taludes internos, con especial incidencia en la morrena lateral izquierda.
- Caída de roca sobre la laguna en ambos flancos.

Por lo descrito y según el análisis de la situación actual de Upiscocha, se concluye que esta laguna representa **peligro alto**.

7. Recomendaciones

A corto plazo

- Advertir a las autoridades locales sobre la existencia de peligro latente en la laguna Upiscocha.
- Identificar a las poblaciones ubicadas en inmediaciones del río aguas abajo de la laguna Upiscocha susceptibles a ser impactadas por un eventual desborde.
- Elaborar el estudio de evaluación de riesgos por peligro de desborde de la laguna Upiscocha.

A mediano plazo

- Realizar el registro fotogramétrico del conjunto de la laguna Upiscocha mediante RPAS (vuelo drone).
- Realizar la batimetría de la laguna con la finalidad de obtener datos sobre el volumen de agua que almacena, así como la configuración topográfica del fondo. Actividad que se deberá realizar de preferencia con vehículos no tripulados.
- Realizar el seguimiento y monitoreo de la evolución de la laguna Upiscocha, mediante visitas de inspección mensual.
- Realizar estudios que permitan evaluar alternativas para la disminución del peligro.

A largo plazo

- Implementar una estación meteorológica en inmediaciones de la laguna Upiscocha.
- Implementar un sistema de alerta temprana SAT

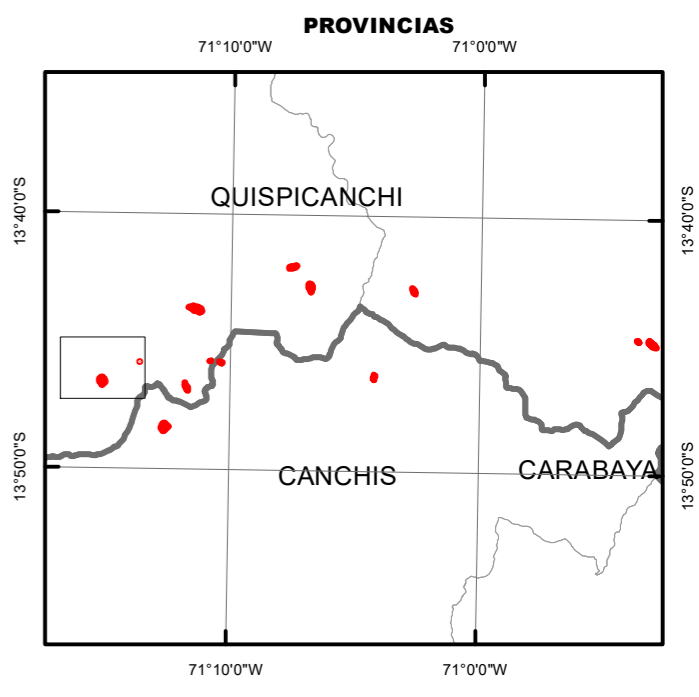
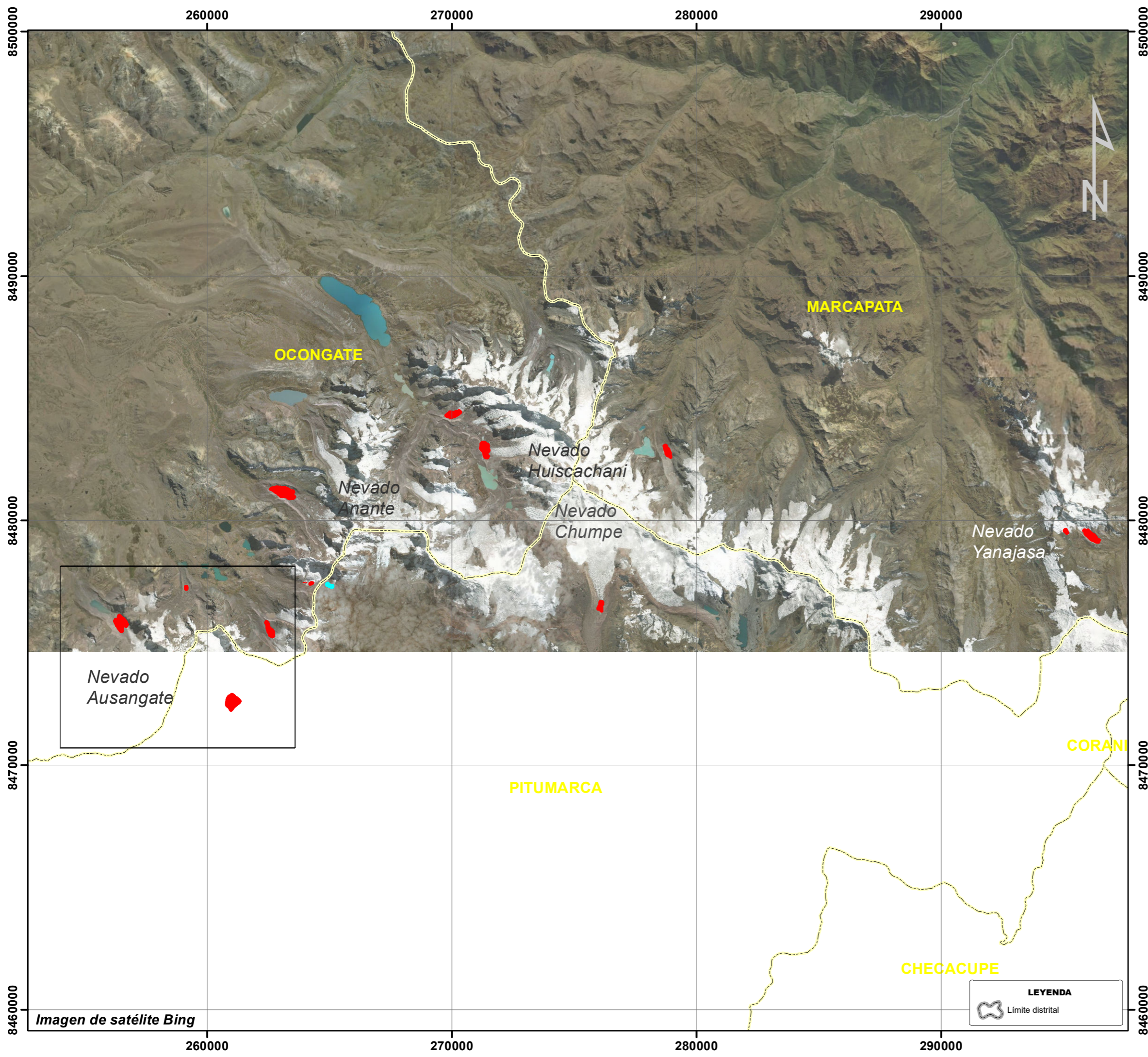
8. Referencias Bibliográficas

ANA (2014) Inventario Nacional de Lagunas Altoandinas

Huggel, C; Haeberli, W; Kääh, A; Bieri, D; Richardson, S (2004) 'An assessment procedure for glacial hazards in the Swiss Alps Canadian Geotechnical Journal 41: 1068-1083

ICIMOD (2011) Glacial lakes and glacial lake outburst floods in Nepal. Kathmandu: ICIMOD.

ANEXOS



Distritos: Ocongate - Marcapata
 Pitumarca
 Provincias: Quispicanchis / Canchis
 Departamento: Cusco

FORMACIÓN DE LAGUNAS		
Elaborado por: O. Vilca	Coordenadas: Proyección UTM Datum WGS84 - Zona 19S	Fecha : Octubre, 2020
Fuente: Elaboración propia	Escala: 1:150,000	

Imagen de satélite Bing

LEYENDA
 Límite distrital