



Informe Técnico de Inspección

LAGUNA YAWARQOCHA

Cordillera Vilcanota



INAIGEM
INSTITUTO NACIONAL DE
INVESTIGACIÓN EN GLACIARES Y
ECOSISTEMAS DE MONTAÑA

Informe Técnico de Inspección N°A05

Elaborado por:

Ing. Oscar Vilca Gómez
Especialista en Hidrología y Glaciología

Ing. Victor Bustinza Urviola
Jefe de la ODRMS

Cusco, 07 de diciembre del 2020

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

Contenido

1. Introducción.....	3
2. Antecedentes.....	3
3. Aspectos Generales.....	3
3.1. Ubicación	3
3.2. Objetivos.....	4
4. Caracterización - Laguna Yawarqocha.....	4
5. Análisis.....	10
6. Conclusiones.....	12
7. Recomendaciones.....	13
8. Referencias Bibliográficas.....	14

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 nueva, que en adelante se le denominará “Yawarqocha”, Así como de su entorno, lo cual servirá como línea base para futuros estudios en el ámbito.

Este informe técnico de inspección está sujeto a actualizaciones, según la información que se podría generar a futuro, de modo que permita un avance en el análisis con la formulación de nuevas hipótesis y recomendar acciones que nos ayuden al mejor entendimiento de los fenómenos asociados a los glaciares.

2. Antecedentes

En atención al Reporte de Peligros en Glaciares RPG 001-2020 emitido el día 30 de octubre de 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 es el caso de la laguna A40 (Laguna Yawarqocha).

3. Aspectos Generales

3.1. Ubicación

Políticamente, la laguna Yawarqocha pertenece al distrito de Pitumarca, provincia de Canchis del departamento de Cusco, (ver **Anexo 1**).

Hidrográficamente, Yawarqocha pertenece a la microcuenca Pitumarca dentro 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, sus coordenadas se muestran en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Coordenadas del centroide de la laguna Yawarqocha.

Nombre Local	Este	Norte
--------------	------	-------

Yawarqocha	261 018	8 472 607
------------	---------	-----------

3.2. Objetivos

- Evaluar la evolución y comportamiento de la laguna Yawarqocha en el periodo 2016 – 2020, así como su situación actual respecto a la inspección realizada en noviembre de 2020.

4. Caracterización - Laguna Yawarqocha

Yawarqocha, es una laguna de origen glaciar de reciente formación. Esta laguna cuenta con un vaso receptor constituido predominantemente por depósitos glaciáricos (Ver **Figura 1**) (Ver **Anexo 1**). Esta laguna no figura en los inventarios de la ANA (2014) ni del INAIGEM (2016), por ello sus dimensiones actuales se estimaron a partir de imágenes satelitales Sentinel-2 empleando técnicas de teledetección (Ver **Tabla 2**). Asimismo, se desconoce la profundidad y en consecuencia el volumen de agua que almacena esta laguna.

Tabla 2. Características de la laguna Yawarqocha

Área:	218 893 m ²
Largo máximo:	771 m
Ancho máximo:	545 m
Altitud:	4820 m s.n.m. (aprox.)

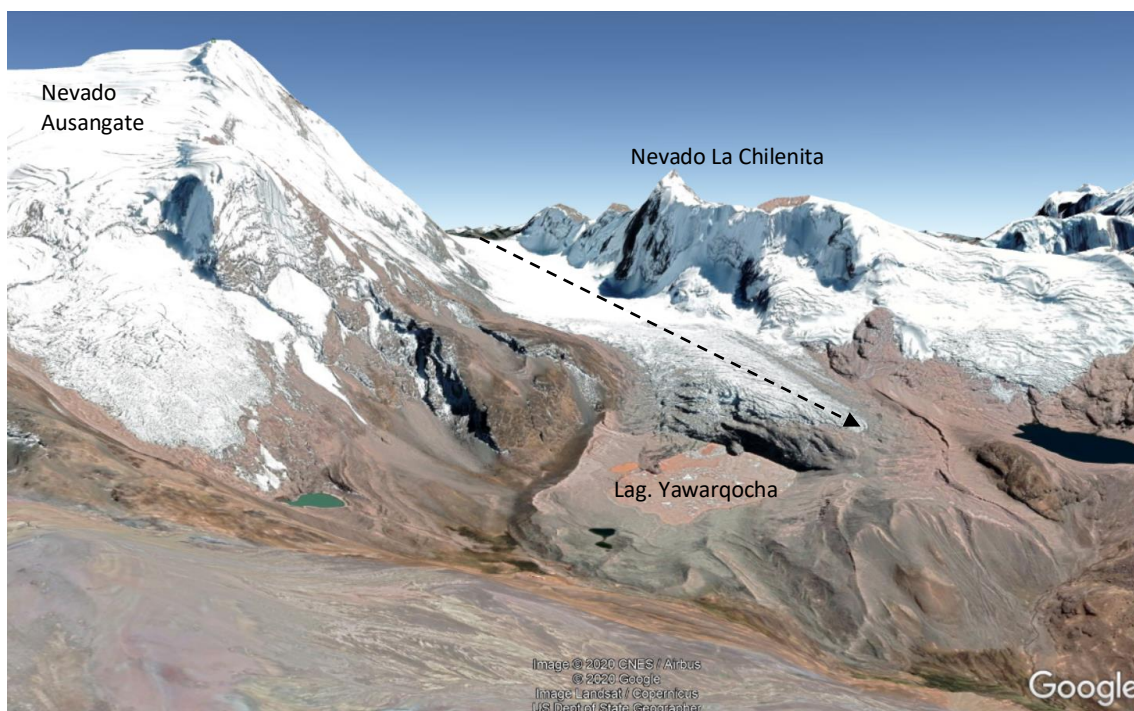


Figura 1. Laguna Yawarqocha, situada en un conjunto de depósitos glaciáricos, originada por la dinámica de la lengua glaciar ubicado en la terraza superior. Además, también se observa el glaciar que dio origen a la formación de la laguna (Imagen Google Earth 03/08/2019)

La laguna Yawarqocha, presenta una alta concentración de sedimentos en suspensión, principal causante de la tonalidad que refleja, motivo para su denominación en lengua quechua “*Yawarqocha*” que traducida al español significa “laguna de sangre” (Ver **Figura 2**).

Una característica representativa de esta laguna es su coloración, la cual es considerada como un indicador de la situación en la que se encuentra el glaciar, dado que, los sólidos en suspensión que la componen, están conformadas por partículas finas de arcilla y otros elementos propios de la geología local. Asimismo, esta composición, tiene su origen en el flujo de agua que discurre sobre el glaciar y que también llega a la zona sub-basal (bedrock). Es decir, los sólidos son transportados por la escorrentía que produce el derretimiento del hielo. Al respecto, la existencia de flujo subglaciar representaría una condición crítica, debido a que el flujo de agua es determinante para la fusión acelerada desde la zona interna del glaciar.

El glaciar que dio origen a la laguna Yawarqocha se alimenta mediante el aporte de flujos de hielo adyacentes, provenientes de zonas con fuerte pendiente como el de la cara este del nevado Ausangate y de la cara oeste del nevado La Chilenita (Ver **Figura 1**). Además, cuenta con una zona de acumulación proporcionalmente significativa situada bajo los 5400 m de altitud. En la actualidad este glaciar tiene una longitud de 3 km y 0.7 km de ancho aproximadamente, con pendiente moderada en la línea de flujo principal y con orientación noroeste sureste, su altitud promedio se sitúa a 5200 m. Por su forma, corresponde al tipo glaciar de valle, por lo mismo, existe alta probabilidad de que en este lugar y en un futuro cercano se forme una laguna de mayores dimensiones que Yawarqocha, en el escenario de mantener o incrementar la tendencia actual del retroceso glaciar. En consecuencia, es un aspecto importante que se debe considerar en la evaluación de riesgos para escenarios futuros.



Figura 2. Laguna Yawarqocha, paisaje dominado por el glaciar proveniente del nevado Ausangate y las morrenas laterales con taludes en constante actividad erosiva. (INAIGEM/O. Vilca, 03/11/2020)

De otro lado, los glaciares son indicadores sensibles del cambio climático ya que responden con rapidez a los cambios de temperatura y precipitaciones. El rápido retroceso de los glaciares

tropicales se considera uno de los indicadores más visibles del calentamiento de la Tierra (Vuille et al., 2008).

Los días previos a la inspección (03 de noviembre de 2020), se presentó una situación anómala respecto a las condiciones del tiempo, tales como: días secos consecutivos, sensación de temperaturas por encima de lo normal (acorde a testimonios de los lugareños), condiciones de un veranillo intenso que afectó en gran parte de la zona sur del Perú. Esta situación se vio reflejada principalmente en los glaciares, manifestándose en caudales elevados y el incremento sustancial de la turbidez.

En el caso de la cordillera Vilcanota, los glaciares están respondiendo directamente a las condiciones del tiempo. Sumado a ese factor, además, se observó que los frentes glaciares se encuentran visiblemente “sucios” (Ver **Figura 3**), es decir, sin cobertura de nieve que los proteja y manchadas con partículas de polvo y detritos, lo cual representa una condición desfavorable para el proceso acelerado del derretimiento del hielo.

En el espejo de agua de Yawarqocha, se observaron la presencia de bloques de hielo (flotantes o en reposo) (Ver **Figura 3**), esto indica la dinámica activa entre el frente glaciar y la laguna. El bloque de mayor tamaño aparenta estar en reposo, de confirmarse la hipótesis estaríamos frente a una laguna con una profundidad relativamente mínima, en caso contrario estaríamos frente a una laguna con una profundidad considerable, datos que se deben analizar con mayor detalle acorde a un estudio batimétrico.

Respecto a la zona posterior de la laguna, se observó que está en proceso de desconexión del frente glaciar (Ver **Figura 3**), además se encuentra en contacto con el mismo lecho rocoso con pendiente fuerte y casi vertical en gran parte.



Figura 3. Zona posterior de la laguna Yawarqocha, se observa el frente del glaciar en sus últimas etapas de desconexión con la laguna (INAIGEM/ O. Vilca, 03/11/2020)

El contenedor natural de la laguna Yawarqocha está constituido por depósitos glaciáricos en forma de morrena, producto de los diversos procesos del avance glaciar, esta geoforma tiene como característica una base visualmente ancha (500 m aprox.) y la altura reducida (100 m promedio aprox.), una relación ancho-altura relativamente favorable y en gran medida responsable de la estabilidad del vaso lagunar durante el proceso de formación y almacenamiento de agua.

Otra condición favorable en relación a la estabilidad del dique natural está en el arco frontal de la morrena terminal, que se encuentra acuñada por la estructura litológica ubicada en la misma dirección (Ver **Figura 4**).

Este conjunto de depósitos glaciáricos muestran taludes exteriores con pendientes de reposo (45° aprox.), mostrando relativa estabilidad, donde también se observa la aparición de cobertura vegetal, este último es un indicador de relativa estabilidad ante procesos erosivos. En este sector se aprecian huellas de posibles eventos de desborde de la laguna en sus primeras etapas de formación.



Figura 4. Se observa el conjunto de la morrena que contiene depósitos glaciáricos y a la vez forma el dique natural que almacena agua de la laguna Yawarqocha. Además, se observa los taludes exteriores con alto porcentaje de cobertura vegetal, indicador de relativa estabilidad. En flecha amarilla se muestra la cota más baja de coronación en el dique natural respecto al espejo de agua de la laguna. En círculo se observa el punto principal de desagüe (INAIGEM/ O. Vilca, 03/11/2020).

Con relación a los flancos, es el lado izquierdo el que muestra taludes interiores con fuerte pendiente (Ver **Figura 5**). Esta zona, se muestra inestable y propensa a deslizamientos en especial el sector de arranque, pues se encuentra en contacto con el basamento rocoso. En este último sector, se evidencia una actividad intensa de erosión y deslizamientos como

consecuencia del derretimiento del hielo en la base que cumplía la función de apoyo, en el sostenimiento y estabilización de los taludes.

La magnitud de futuros deslizamientos depende en gran medida de la profundidad que alcanzó o alcanzará la laguna en este sector, condicionando de este modo la estabilidad de gran parte de la morrena lateral izquierda. En consecuencia, un aspecto a considerar con relación a posibles deslizamientos está en la base del talud interior del flanco izquierdo, zona donde a la fecha se observa la presencia de remanentes de glaciares cubiertos (Ver **Figura 5**).



Figura 5. Vista del talud interior de la morrena lateral izquierda en donde se señala las posibles zonas de falla ante posibles deslizamientos, en flecha amarilla los sectores con alta probabilidad de deslizamiento, en flecha roja se señala una zona con remanente de glaciar cubierto (INAIGEM/ O. Vilca, 03/11/2020)

El desagüe de la laguna Yawarqocha es mediante filtraciones, se observó diversos puntos de afloramiento de agua ubicados en inmediaciones de la base de la morrena frontal. De todos los puntos donde emerge agua, existe una en particular que muestra un caudal significativamente mayor al resto (Ver **Tabla 3**, **Figura 6**). Cabe indicar que el agua que emerge en esta zona mantiene la coloración de la laguna, color que se observa hasta varios kilómetros aguas abajo del río (Ver **Figura 7**). Esta característica de desagüe es de especial importancia, porque indicaría un proceso erosivo en el interior del dique natural, lo cual significaría una condición desfavorable para la estabilidad, o en su defecto la existencia de gran cantidad de rocas de gran dimensión cuya presencia en el núcleo del dique natural facilitó la formación de conductos para el drenaje y evacuación de agua de la laguna, en ambos casos se trata de una condición determinante para que la laguna tenga un borde libre (10 m aprox. Medición que se deberá realizar a detalle).

Tabla 3. Coordenadas (relativas) del punto principal de filtración

Punto	Este	Norte	Altitud
Y-1	261 404	8 471 689	4667



Figura 6. Afloramiento de agua principal en la zona baja de la morrena frontal, zona de desagüe de la laguna Yawarqocha (INAIGEM/ O. Vilca, 03/11/2020)



Figura 7. Coloración del agua en el río aguas abajo de la laguna Yawarqocha. Fotografía en el sector Chillca Pinaya (INAIGEM/ O. Vilca, 03/11/2020)

5. Análisis

Se hizo un análisis multitemporal en el cual se usaron 05 imágenes satelitales Sentinel y una imagen Bing, de acuerdo a las características que se muestran en la **Tabla 4**. Al respecto, se calcularon las áreas para los años consecutivos del 2016 al 2020 (Ver **Figura 8**).

Tabla 4. Análisis de superficies mediante imágenes satelitales.

Imágenes	Año	Área m ²	Diferencia	%	Fecha de imagen
Bing	2019 *				
Sentinel-2_L1C	2016	133 397	-		2016-05-30
Sentinel-2_L2A	2017	136 849	3 452	3	2017-07-24
Sentinel-2_L2A	2018	153 655	16 806	12	2018-05-30
Sentinel-2_L2A	2019	182 582	28 927	19	2019-09-17
Sentinel-2_L2A	2020	218 983	36 401	20	2020-08-27

(*) año estimado

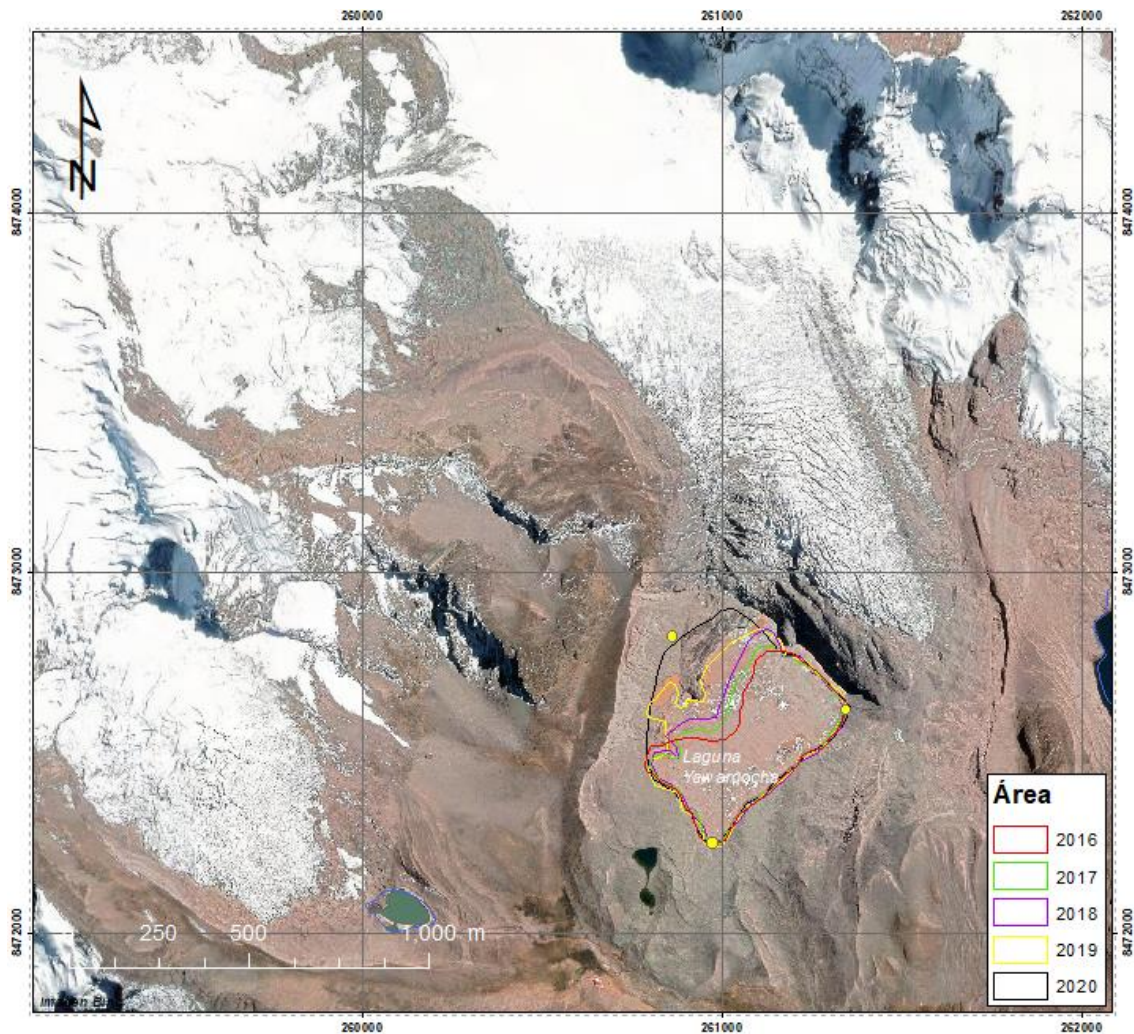


Figura 8. Evolución de la laguna Yawarqocha, periodo 2016 - 2020.

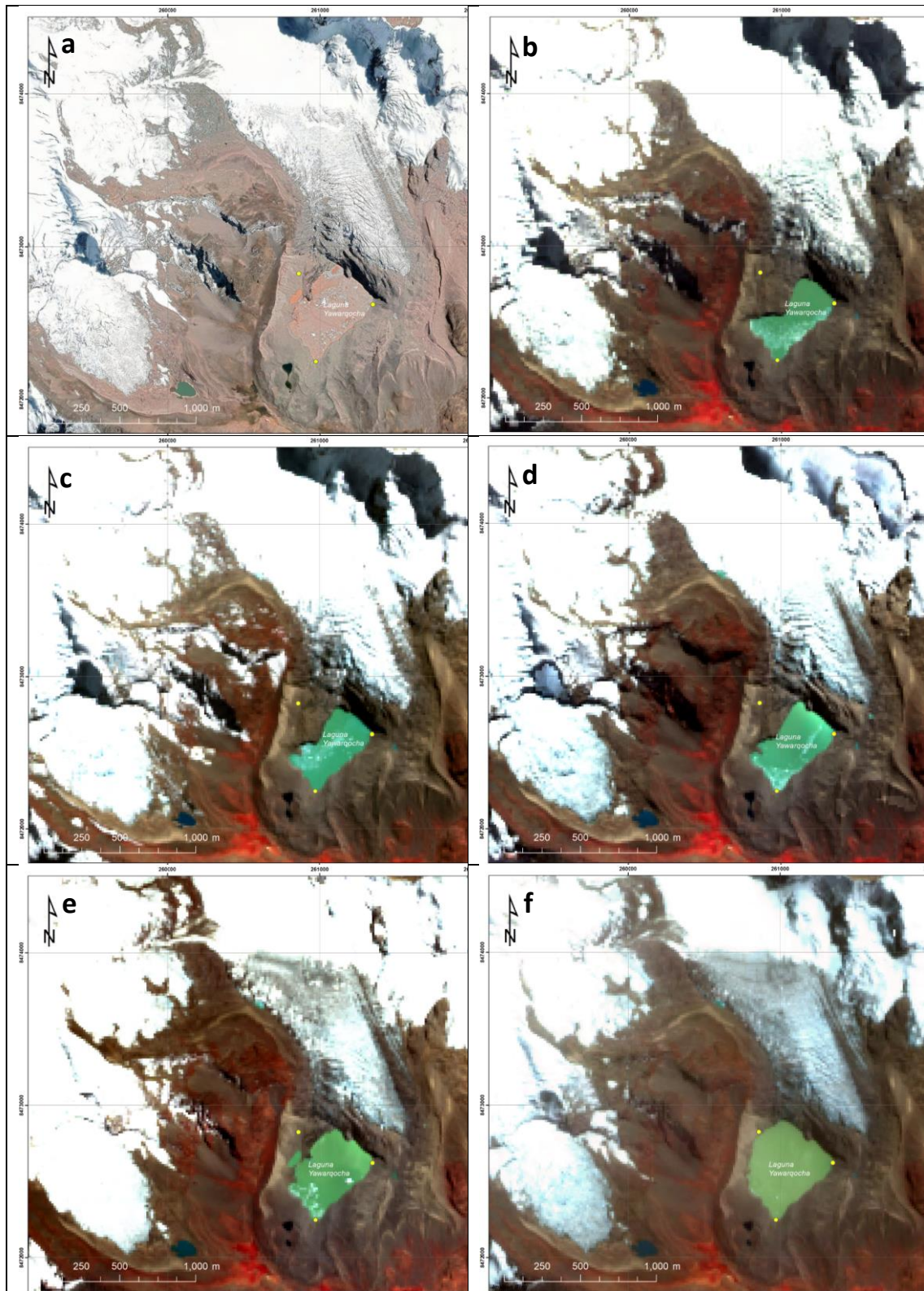


Figura 10. El análisis multitemporal muestra el crecimiento de la laguna Yawarqocha (a. Imagen Bing 2019 año estimado donde se observa con mayor detalle el entorno de la laguna), 2016 (b), 2017 (c), 2018 (d), 2019 (e) y 2020 (f).

En la **Tabla 5**, se muestra el resumen de los criterios que se tomaron en cuenta para la valoración del peligro, acorde a la metodología planteada según 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 5. Criterios considerados para la identificación del peligro en la laguna Yawarqocha.

Criterios de evaluación	
Tamaño	218 983 m ² – máximo desarrollo
Volumen estimado	> 3 millones de metros cúbicos
Velocidad de expansión	Rápida
Posición con respecto al glaciar	En contacto (casi por desconexión)
Tipo del material del dique natural	Depósito glaciárico (morrena)
Borde libre	Sí
Origen	Glaciar
Glaciares colgantes	No
Deslizamientos	Sí
Caída de rocas	Sí
Cambio en los niveles de espejo	Sí
Actividad con lagunas supraglaciares	No
Tipo de desagüe	Filtración
Pendientes en la taludes de la morrena	Fuerte – Moderada
Existencia de núcleo de hielo en la morrena	Poco probable
Pendiente en la lengua glaciar	Moderada
Cubierta de escombros en la lengua glaciar	No
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	No
Antecedentes de desborde	Se desconoce

6. Conclusiones

De la laguna

- Yawarqocha es una laguna de reciente formación que no figura en los inventarios de lagunas publicados.
- El área de la laguna Yawarqocha es 218 983 m². Dimensión con la que alcanzó su máximo grado de desarrollo.
- En el periodo 2017 – 2018 presentó el mayor crecimiento de los últimos cinco (5) años, con un incremento de 12% (de 136 849 m² a 153 655 m²).
- Se constató la existencia de bloques de hielo flotantes, indicador de los desprendimientos del frente glaciar que alcanzan la laguna.

- Esta laguna desagua por filtración.

De los glaciares

- El glaciar que dio origen a la laguna Yawarqocha se encuentra en la etapa de desconexión del espejo de agua.

- Es un glaciar de tipo de valle con un largo aproximado de 3 km, con pendiente moderada.

- El glaciar en la zona alta presenta condiciones para la formación de una futura laguna de dimensiones mayores a Yawarqocha.

Del dique natural

- El tipo de material del dique está conformado por depósitos glaciáricos en forma de morrena.

- Presenta un borde libre estimado >10 m.

Amenazas potenciales

- Deslizamientos en los taludes interiores, con especial incidencia en la morrena lateral izquierda.

- Caída de roca sobre la laguna en el sector alto del flanco izquierdo.

- Sobresaturación del suelo en el dique natural.

- Avalancha mixta (poco probable) de los nevados Ausangate y La Chilenita.

Por lo descrito y según el análisis de la situación actual de Yawarqocha, se concluye que esta laguna representa **peligro medio**, condición que puede cambiar acorde a los estudios detallados como la batimetría.

7. Recomendaciones

A corto plazo

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

A mediano plazo

- Realizar la batimetría de la laguna con la finalidad de obtener datos sobre la profundidad y el volumen de agua que almacena.
- Realizar el registro fotogramétrico del conjunto de la laguna Yawarqocha mediante RPAS (vuelo drone).
- Realizar estudios de geofísica y geotecnia en el dique natural y determinar el grado de estabilidad ante posibles eventos de oleajes en la laguna.

- Realizar el registro de caudales en el punto principal de salida de agua por filtración.
- Realizar el seguimiento y monitoreo de la evolución de la laguna Yawarqocha y el glaciar que le dio origen.
- Realizar el muestreo de agua con fines de analizar la calidad, primero como una línea de base y luego de forma periódica.
- Realizar estudios que permitan evaluar alternativas para la disminución del peligro.

A largo plazo

- Construcción de obras civiles de seguridad acorde a los estudios realizados.

8. Referencias Bibliográficas

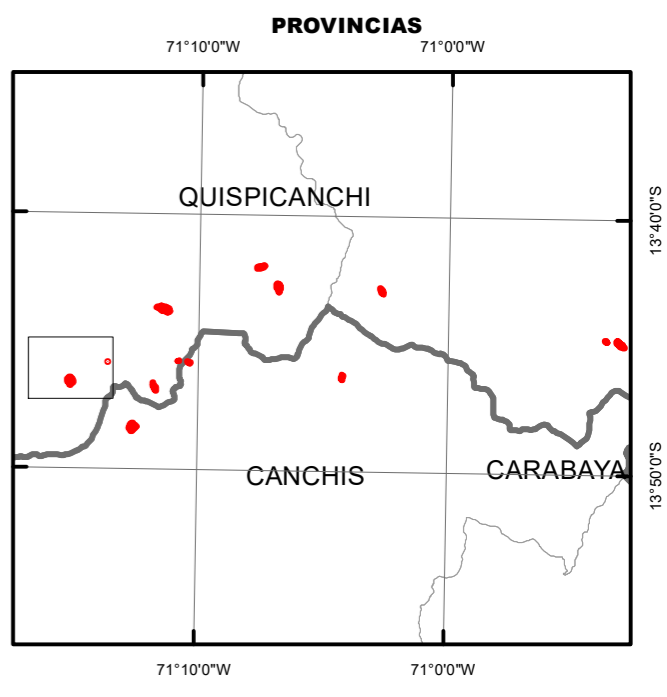
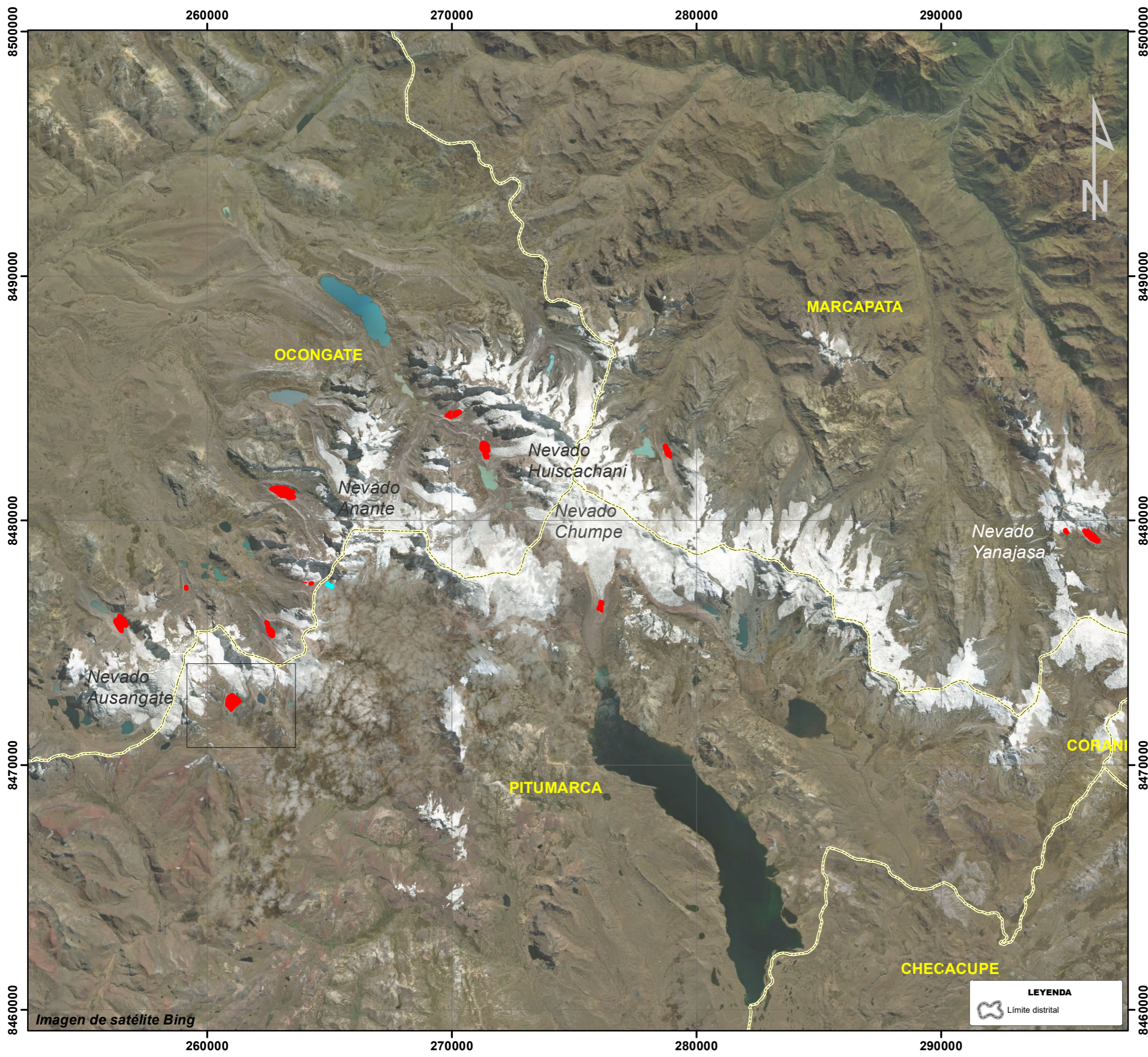
ANA (2014) Inventario Nacional de Lagunas Altoandinas

Huggel, C; Haeberli, W; Käab, 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.

Vuille, M. et al (2008). Climate change and tropical Andean glaciers: Past, present and future. Earth-Science Reviews, 89(3-4), pp. 79-96.

ANEXOS



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

INAIGEM
 INSTITUTO NACIONAL DE
 INVESTIGACIÓN EN GLACIARES Y
 ECOSISTEMAS DE MONTAÑA

ANEXO 1. FORMACIÓN DE LAGUNAS

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

LEYENDA

 Límite distrital

Imagen de satélite Bing

260000

270000

280000

290000

8500000

8490000

8480000

8470000

8460000