

Retroceso glaciar del Nevado Huaytapallana como consecuencia del calentamiento global

Glacial retreat of the Nevado Huaytapallana as a consequence of global warming

Jacinto Arroyo Aliaga¹, Lourdes Artica Cosme²
¹ Instituto Geofísico del Perú, ² Universidad Continental

Recibido: 25 de julio de 2017; aprobado: 9 de setiembre de 2017; disponible en línea: 30 de enero de 2018

RESUMEN

El Perú concentra el 71 % de los glaciares tropicales del mundo con 20 cordilleras identificadas con presencia de glaciares y 3 044 glaciares netos distribuidos en una superficie estimada de 1 958 km², todas ellas se encuentran en las cumbres de la cordillera de los Andes, cuyo deshielo genera cerca del 98 % de los recursos hídricos que escurren a la vertiente del Atlántico y menos 2 % a la vertiente del Pacífico que son comúnmente utilizados para el consumo humano y para las diversas actividades productivas, como la agricultura, la generación eléctrica, minería entre otras. Los glaciares son reservas sólidas de agua dulce en el Perú, sin embargo se ha perdido el 22 % de superficie glaciar en los últimos 35 años, tomando como referencia la superficie glaciar de 1 970 equivalente a 1 958 km² y comparado con los últimos registros del año 2 006 equivalente a 1 370 km², y con registros actualizados al 2 010 equivalente a 1 230 km² de superficie. Una estimación lineal indica que se perderán los glaciares por debajo de los 5 000 m s.n.m. pasado el 2015.

Palabras clave: Glaciar, cordillera, deshielo, recursos hídricos.

ABSTRACT

Peru concentrates 71 % of the world's tropical glaciers with 20 mountain ranges identified with the presence of glaciers and 3 044 net glaciers distributed over an estimated area of 1 958 km², all of them located on the summits of the Andes, whose melting generates about 98 % of the water resources that drain to the slope of the Atlantic and less 2 % to the slope of the Pacific that are commonly used for human consumption and for the various productive activities, such as agriculture, electricity generation, mining among others. Glaciers are solid reserves of fresh water in Peru, however, 22 % of the glacier surface has been lost in the last 35 years, taking as reference the glacier surface of 1 970 equivalent to 1 958 km² and compared with the last records of the year 2,006 equivalent to 1 370 km², and with records updated to 2 010 equivalent to 1 230 km² of surface area. A linear estimate indicates that glaciers will be lost below 5 000 m a.s.l. past 2015.

Keywords: Glacier, mountain range, thaw, water resources.

1* Ing. Agrónomo.
Correo: jarroyox@gmail.com

INTRODUCCIÓN

Tal como ocurre en otras regiones climáticas, los glaciares tropicales son muy diversos. Algunos están constituidos por casquetes extendidos que cubren cumbres de montañas, como el nevado del Huascarán (Norte del Perú) y el nevado del Huaytapallana (Centro oriental del Perú) o el complejo volcánico del Coropuna en Arequipa (Sur del Perú) que se caracteriza por tener una extensión en forma de lenguas y no superan los 2-3 Km de longitud.

La gran mayoría de los glaciares terminan en un mismo rango altitudinal: entre 4 800 y 5 000 m.s.n.m. en las cordilleras del Perú. Esta altura corresponde más o menos a la posición anual de la isoterma 0°C, es decir, la línea que marca el área en donde la temperatura oscila alrededor del punto de congelación del agua.

En el trópico, la variación estacional de la línea isoterma no supera los 500 m durante el año. Este hecho hace que la ablación sea fuerte durante todo el año en las zonas bajas de los glaciares, limitando la extensión de las lenguas a baja altura. En las zonas de ablación de los glaciares (a poca distancia del frente), la fusión aumenta de arriba hacia abajo a una tasa de 1500 – 2000 mm equivalente en agua.

Fundamentos teóricos

Un glaciar es una masa de hielo que transforma agua sólida (nieve, granizo o escarcha) en hielo y la restituye en forma de vapor (evaporación o sublimación) o en forma líquida (agua escurrida por el torrente emisario). La relación entre estas ganancias y pérdidas de masa se conoce como el balance de masa de un glaciar.

Debido a que la acumulación neta es generalmente positiva en las partes altas de un glaciar (zona de acumulación), un exceso de carga produce flujos de hielo hacia la parte baja (zona de ablación). Este fenómeno se produce debido a que el hielo, desde un punto de vista mecánico, se comporta como un cuerpo viscoplástico que se deforma bajo el efecto de su propio peso.

El hielo acumulado en las partes bajas es sometido a una intensa ablación debido a la

fusión producida en la superficie. La fusión hace que el hielo desaparezca por el frente glaciar.

Este proceso de transferencia de hielo de la zona de acumulación hacia la zona de ablación del glaciar, está controlado por (i), el balance de masa, que representa el componente climático de la evolución de un glaciar; y (ii), por las características topográficas del glaciar (pendiente, morfología del lecho rocoso, presencia de agua a este nivel, etc.), que representa el componente dinámico del glaciar. Del segundo componente depende el tiempo de respuesta del glaciar a un cambio climático, el cual puede variar entre algunos años y más de un decenio.

Los estudios realizados por el IRD (Instituto de Investigación para el Desarrollo) de Francia, considera al glaciar como un objeto hidrológico cuya masa cambia a corto plazo en función de las características del clima. Estos estudios se enfocan en los siguientes aspectos:

- a) El balance de masa, que representa el equivalente en agua de lo que gana y de lo que pierde un glaciar en un tiempo determinado. Este indicador se obtiene a partir de mediciones repetidas, ya sea de manera directa (balance glaciológico) u indirecta (balance hidrológico).
- b) Los cambios de longitud, superficie y volumen ocurridos en el pasado: el desempeño de estos indicadores proporciona información sobre la respuesta de un glaciar a los cambios de masa acumulados. Para medir dichos cambios, se utiliza métodos geodésicos de terreno, análisis de topografías, áreas de imágenes satelitales, y reconstrucciones hechas en base a análisis geomorfológicos o de investigaciones históricas.
- c) La sensibilidad del glaciar al clima, que consiste en identificar las correlaciones entre la evolución de un glaciar y el clima. Estos análisis se basan en el estudio directo de los procesos ocurridos en la superficie del glaciar a partir de un balance energético. La sensibilidad también puede ser analizada a través de relaciones estadísticas entre balance de masa y diversas variables climatológicas medidas en estaciones o estimadas a través de modelos de circulación general.

Variaciones geométricas

La dinámica de un glaciar puede ser analizada estudiando el desplazamiento de las balizas que sirven para estimar el balance y su cambio de altura a partir de un punto fijo. Un balance neto positivo, por ejemplo, se refleja por un aumento de la velocidad y del espesor del glaciar.

La respuesta de un glaciar a un cambio de balance es variable. Esta depende de su tamaño, espesor, geometría del lecho rocoso, pendiente promedio, de la cantidad de agua entre el hielo y el lecho, y de la temperatura del hielo a nivel de lecho. Los glaciares que presentan una fuerte pendiente, amplias zonas de acumulación, hielo a temperatura de fusión y una geometría regular del lecho rocoso (cercana a un cilindro perfecto) son los que usualmente responden rápidamente a series sucesivas de balances positivos o negativos.

El movimiento del frente del glaciar en un año determinado (avance, retroceso o estabilidad) es el resultado del efecto combinado de la ablación producida en el frente y de la dinámica del glaciar. Esta última depende, a su vez, del efecto acumulado de los balances de los años precedentes y del espesor máximo del glaciar.

En el caso de glaciares de pequeño tamaño (inferiores a 1 km²), la extensión de las zonas de acumulación y de ablación varían cada año, por lo que es posible que durante ciertos años la superficie entera del glaciar se convierta en una zona de ablación o en una de acumulación. Dichos glaciares tienen una dinámica poco activa con una velocidad muy reducida.

Por otro lado, los glaciares más grandes pueden tardar entre cinco y diez años en responder a cambios del entorno. Esto quiere decir que el movimiento del frente de un glaciar durante un año determinado depende tanto del balance de masa en la zona de ablación durante ese mismo año, como del exceso o déficit acumulado en toda la superficie del glaciar durante los diez años anteriores. Esto explica porqué el análisis decenal de las variaciones en el frente de un glaciar (análisis de datos registrados durante periodos de diez años) ofrece valiosa información sobre la tendencia de la variación del clima.

El balance de masa

El balance de masa constituye la información básica más importante para el estudio de los glaciares: Es el cambio de masa (medido como un volumen de agua equivalente), ocurrido durante un periodo de tiempo, normalmente la duración del año hidrológico. El balance de masa anual se denota bajo su forma específica en mm w.e. a-1 (milímetros de agua equivalente por año). Son dos las principales variables a medir: la acumulación neta y la ablación.

- a) La acumulación neta es la cantidad de nieve y hielo acumulada a lo largo de un año hidrológico. Proporciona información acerca de la cantidad de precipitaciones sólidas recogidas por el glaciar durante un año hidrológico. Esta variable se estima abriendo un pozo o realizando una perforación en el glaciar y midiendo el espesor y la densidad del hielo. El resultado es un "perfil de densidad".
- b) La ablación es el resultado directo del balance energético a la superficie del glaciar (la suma de fusión y sublimación). Se mide entre meses o años a partir de balizas repartidas sobre la zona de medición.

MATERIAL Y MÉTODOS

- a) Método directo mediante pozos y balizas en diversos puntos del glaciar:

Se mide directamente en el terreno el cambio de masa del glaciar. Esta medición se lleva a cabo a partir de la instalación de una red de estacas (llamadas "balizas") en la mayor parte del glaciar. En la sección alta, donde generalmente la acumulación supera la ablación, se excavan pozos o se hacen perforaciones en donde se mide directamente la cantidad de nieve de hielo acumulada entre el inicio y el fin del año hidrológico. Posteriormente esta cantidad es convertida en su equivalente en agua.

El procesamiento de datos se lleva a cabo a través de tres etapas. La primera corresponde a la división del glaciar en rangos de altura que fluctúa generalmente entre 50 y 100 m (aunque en glaciares pequeños, los rangos

pueden ser de 25 m). En la segunda etapa, se calculan los valores medidos para cada rango. En el caso de que ninguna baliza haya sido instalada en un rango, los valores del balance son obtenidos por interpolación. Finalmente, el balance neto específico B_n , es el valor de balance ponderado por su superficie relativa utilizando la siguiente ecuación:

$$B_n = \sum B_i (s_i/S)$$

Donde B_i corresponde al balance de un rango de altura i , s_i la superficie del rango de altura y S a la superficie total del glaciar.

b) Métodos topográficos de terreno:

Este método consiste en realizar anualmente un levantamiento topográfico detallado del glaciar, con el objetivo de medir su superficie y contorno. Con los resultados de dichas mediciones se construye un "Modelo Digital de Terreno" que permite comparar las últimas mediciones con aquellas de años anteriores y así como calcular las pérdidas de área y volumen. Las pérdidas distribuidas sobre todo el glaciar y convertidas en equivalente agua proporcionan el balance de masa por rango de altura. Finalmente, se confecciona un mapa calculando las líneas de igual balance de masa.

Es importante destacar que este método se adapta mejor a glaciares de tamaños

pequeños o a aquellos en los cuales se efectúan medidas una vez cada varios años.

c) Métodos de restitución aerofotogramétrica:

La restitución aerofotogrametría permite estimar los cambios de superficie y de volumen de hielo a través del análisis de pares estereoscópicos compuestos por fotografías aéreas de fechas diferentes (generalmente varios años).

Algunas imágenes satelitales permiten llevar a cabo este tipo de análisis (ASTER, SPOT, ALOS). Sin embargo, el uso de este método para el estudio de los glaciares de montaña ubicados en los Andes Centrales está limitado en muchos casos por ser todavía, en vertical de más baja resolución que las fotografías aéreas.

d) Método indirecto del balance hidrológico:

Este método establece una comparación anual entre la cantidad de hielo acumulado por precipitaciones sólidas medidas o estimadas (P) y la ablación (evaporación y sublimación) medida o estimada (E). También se considera la fusión (R) medida directamente a través de una estación limnográfica ubicado sobre el torrente emisario a poca distancia del glaciar. Luego, una primera aproximación del balance hidrológico (B_h) se obtiene aplicando la siguiente ecuación:

$$B_h = P - R - E$$

Sin tomar en cuenta la sublimación, pero considerando el promedio de las precipitaciones colectadas por los pluviómetros (P), la superficie del glaciar (SG), el caudal

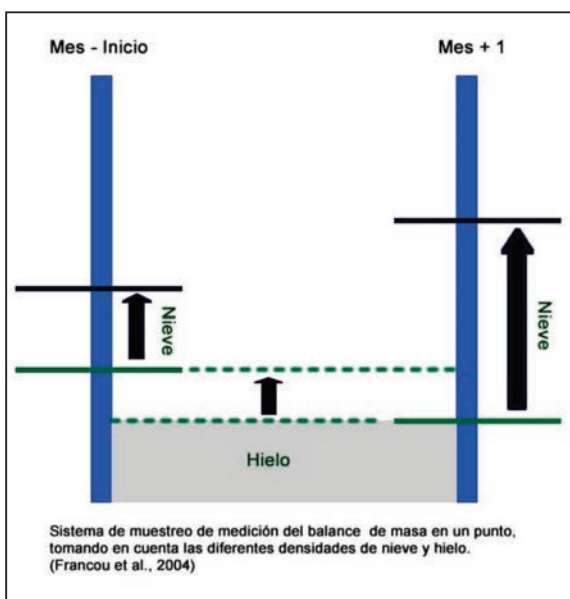


Figura 1. Medición del balance del agua.

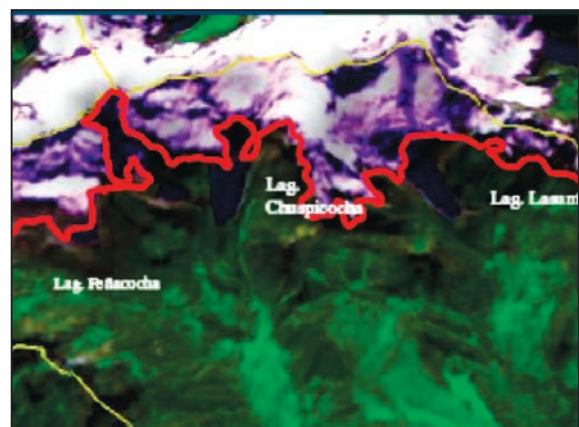


Figura 2. Imagen satelital 1,985.

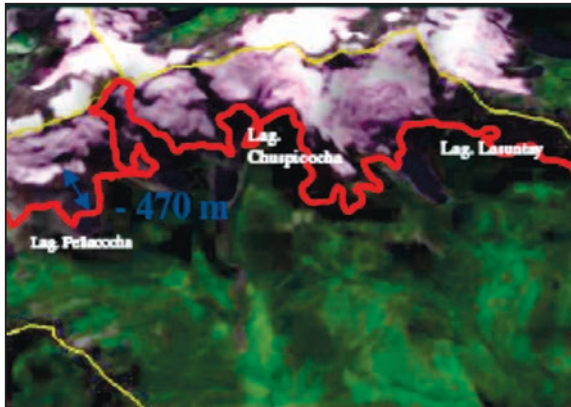


Figura 3. Imagen satelital 2 005.

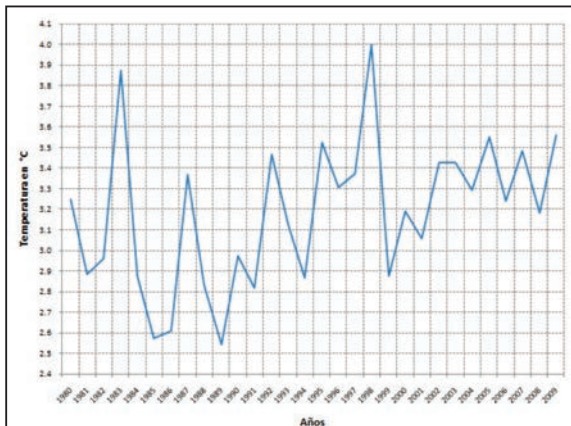


Figura 4. Distribución Multianual de temperatura del nevado del Huaytapallana.

de derretimiento (D), la superficie total de la cuenca donde se localiza (S) y el coeficiente de escurrimiento (ce), el balance hidrológico bh se puede obtener de la siguiente manera:

$$Bh = P - 1/SG [D - (S - SG) ce] + P$$

Cabe mencionar que estos diversos métodos para obtener el balance de masa deben ser

llevados a cabo paralelamente para poder validar y comparar los resultados.

e) Cálculo del balance de masa:

La ecuación básica del balance en un punto del glaciar entre dos periodos de medición db/dt se escribe de la siguiente manera:

$$db/dt = \rho dh/dt + \int d\rho/dt dz$$

donde ρ es la densidad del hielo de espesor h, que varía según el tiempo t.

El primer término de la ecuación representa el cambio de la masa de hielo (con densidad constante) durante un periodo de tiempo. El segundo término es el cambio de densidad de la columna de espesor z sobre el periodo de tiempo t.

Para extender el balance a todo el glaciar, se utilizan diversos puntos de medición (balizas, pozos, sondeos) distribuidos de acuerdo a una red bien definida. El principio básico consiste en ponderar el balance medido por el área del rango relativo del glaciar, según la siguiente expresión:

$$B_n = (1/S) [\sum (b_{n1}S_1 + b_{n2}S_2 + \dots + b_{nj}S_j)]$$

Donde B_n corresponde al balance neto específico del glaciar; S a su superficie total; b_{n1} b_{n2} b_{nj} al balance ponderado por el área S_j dentro de los rangos de altura (j) generalmente de 20, 50 o 100 m, según la amplitud altimétrica del glaciar.



Figura 5. Comparación del Pico Horn-Hellen del Nevado del Huaytapallana 1999-2010.

RESULTADOS

La morfología de los paisajes alrededor de la alta cordillera, así como en las otras grandes cordilleras del Perú, muestran la fuerte actividad de los glaciares en el Cuaternario, los poderosos valles glaciares de la cordillera blanca brinda el más perfecto ejemplo de este tipo y prueban el excepcional alcanzado por los glaciares del Pleistoceno al interior de la cordillera. Las morrenas antiguas son espectaculares por la masa de detritos que representa a la salida de las principales quebradas.

En las comparaciones de imágenes satelitales entre los años 1999 y 2010 se evidencia una pérdida de masa glaciaria en el Nevado Huaytapallana; de acuerdo a otros investigadores este proceso es irreversible y constituye un caso más entre los muchos que existen en el Perú.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agencia de prensa ambiental. Perú. (03 de Agosto de 2010). Obtenido de <http://www.inforegion.pe/portada/40060/nevado-huaytapallana-podria-desaparecer-en-15-anos-por-efectos-del-cambio-climatico/>

Jimdo web. (03 de Agosto de 2010). Obtenido de <http://huaytapallana.jimdo.com/>

Ministerio del Ambiente. Perú. . (03 de Agosto de 2010). Obtenido de http://www.minam.gob.pe/index.php?option=com_content&view=article&catid=1:noticias&id=475:ministro-del-ambiente-advierte-que-nevado-huaytapallana-podria-desaparecer-en-15-anos-si-continua-perdida-de-glaciares&Itemid=21

Sumaqperu. (03 de Agosto de 2010). Obtenido de www.wiki.sumaqperu.com/es/Nevado_de_Huaytapallana

Wikipedia. (03 de Agosto de 2010). Obtenido de http://es.wikipedia.org/wiki/Nevado_de_Huaytapallana