

# INFORME SOBRE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LOS GLACIARES MONITOREADOS POR EL SENAMHI

2016



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente



PERSONAL DIRECTIVO

**Ing. Amelia Díaz Pabló**  
*Presidenta Ejecutiva del SENAMHI*

**Ing. Oscar Gustavo Felipe Obando**  
*Director de Hidrología del SENAMHI*

RESPONSABLE DEL INFORME

**PhD. Wilson A. Suarez Alayza**  
*Especialista en Glaciología e Hidrología de Montaña  
del SENAMHI*

**Lima-Perú**  
**Diciembre 2016**



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente



## CONTENIDO

I. OBJETIVOS .....	4
II. MARCO TEÓRICO .....	4
III. ZONA DE ESTUDIO .....	6
3.1 Estaciones de Monitoreo del SENAMHI .....	6
IV. METODOLOGÍA Y DATOS.....	7
V. RESULTADOS.....	8
VI. CONCLUSIONES.....	12
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	13



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente



## INFORME TÉCNICO SOBRE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LOS GLACIARES MONITOREADOS POR EL SENAMHI

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) tiene entre sus funciones el evaluar las condiciones climáticas e hidrológicas a nivel nacional, como a la vez realizar estudios que proporcionen información para la toma de decisiones. En el marco de estas funciones y mediante mandato de la Organización de Meteorológica Mundial (OMM), desde el año 2010 viene realizando el monitoreo de las condiciones climáticas en entornos de criósfera o próximos a estas; para lo cual cuenta con tres estaciones ubicadas por encima de los 4,700 metros que proveen información climática de tres cordilleras (Ampato, Vilcanota y Huaytapallana). La información generada por dichas estaciones es importante ya que, por ejemplo, permiten conocer el impacto de la variabilidad y cambio climático; y además son las únicas a nivel nacional operadas por el Estado Peruano.

### I. OBJETIVOS

#### Objetivos generales

- Evaluar la situación actual de los glaciares monitoreados por el SENAMHI para el año 2016.

#### Objetivo específico

- Evaluar la evolución de los glaciares de la Cordillera Ampato, Vilcanota y Huaytapallana en el año 2016.

### II. MARCO TEÓRICO

De acuerdo a la UNESCO (Cogley et al. 2011) un glaciar se puede definir como *“Una masa perenne de hielo, y posiblemente nieve y nevisa, que se origina en la superficie terrestre por la recristalización de la nieve u otras formas de precipitación sólida y que muestra evidencia de flujo pasado o presente”*.

La parte del glaciar que presenta esta acumulación de la nieve es conocida como la “zona de acumulación” y se encuentra ubicada en la parte alta del glaciar, donde por acción de la gravedad presenta un flujo que se desplaza hacia la parte baja. De manera mecánica, un glaciar se comporta como un cuerpo visco-plástico que se deforma a causa de su propio peso. Las precipitaciones en general son sólidas (nieves), lo que conjuntamente con la temperatura (menor 0 °C) permite la transformación de estas en hielo; además, el albedo generalmente se encuentra por encima de 0.6 lo que evita el intercambio energético con la superficie del glaciar.

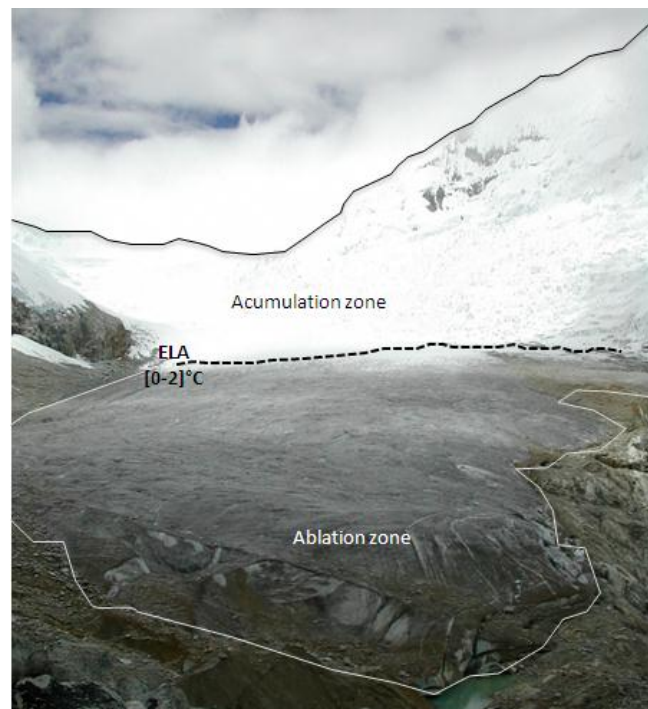
En la parte baja del glaciar se presenta la “zona de ablación” donde se realiza en mayor intensidad el proceso de fusión, el cual se da principalmente en la superficie;

esto en parte a la temperatura (por encima de 0 °C) a la precipitación que es líquida que permite que el albedo se encuentre por debajo de 0.4.

Las zonas de ablación y la de acumulación se encuentran separadas por una línea imaginaria conocida como Línea de Equilibrio Glaciar (ELA) donde el balance de masa (cambio de masa en el glaciar, ya sea por la ganancia o pérdida de hielo) es nulo (no existe ganancia ni pérdida de masa) y se encuentra generalmente próxima a la isoterma 0 °C, siendo para la región tropical su posición entre 5,000 a 5,200 metros (Kaser, 1999).

El proceso de transferencia de la zona de acumulación hacia la de ablación se encuentra controlado, principalmente, por el balance de masa y las características topográficas del glaciar.

En la Figura 1 se presenta la foto de un glaciar (Artesonraju, Cordillera Blanca) mostrando la zona de acumulación (accumulation zone), zona de ablación (ablation zone) y la posición de la línea de equilibrio (ELA), mostrando su posición a la altura aproximada de la isoterma 0 °C.



**Figura 1. Partes de un glaciar**

Fuente: Adaptado de Suarez et al. (2008)

### III. ZONA DE ESTUDIO

Realizar una evaluación de todos los glaciares de las Cordilleras Vilcanota, Huaytapallana y Ampato se hizo prácticamente imposible; limitándose solo a un glaciar por cordillera donde el SENAMHI tiene en la actualidad estaciones meteorológicas ubicadas en glaciares representativos, con el fin de registrar información propia de los nevados.

#### 3.1 Estaciones de monitoreo del SENAMHI

El SENAMHI cuenta actualmente con tres estaciones climáticas, ubicadas en las cordilleras de estudio. De estas estaciones, dos se encuentran sobre el hielo (Cusco y Arequipa) y una en la morrena frontal de un glaciar (Junín).

Sobre la Figura 2 se muestran las características principales de las estaciones utilizadas.

		<p>Nombre : <b>Huaytapallana</b>                  Altitud : <b>4700 m</b>                  Latitud : <b>-11.9271</b>                  Longitud : <b>-75.0618</b>                  Región : <b>Junín</b>                  Cordillera : <b>Huaytapallana</b>                  Glaciar : <b>Frente al Lazontay</b>                  Situación : <b>Operando</b>                  Inicio : <b>dic-10</b>                  Descarga datos : <b>Satélite</b></p>
		<p>Nombre : <b>Quisoquipina</b>                  Altitud : <b>5180 m</b>                  Latitud : <b>-13.7929</b>                  Longitud : <b>-70.8856</b>                  Región : <b>Cusco</b>                  Cordillera : <b>Vilcanota</b>                  Glaciar : <b>Quisoquipina</b>                  Situación : <b>Operando</b>                  Inicio : <b>sep-11</b>                  Descarga datos : <b>Satélite / Manual</b></p>
		<p>Nombre : <b>Coropuna</b>                  Altitud : <b>5800 m</b>                  Latitud : <b>-15.5362</b>                  Longitud : <b>-72.5998</b>                  Cordillera : <b>Ampato</b>                  Glaciar : <b>Maucallacta</b>                  Situación : <b>Operando</b>                  Inicio : <b>sep-14</b>                  Descarga datos : <b>Manual</b></p>

Figura 2. Red de estaciones de monitoreo climático glaciar operadas por el SENAMHI

Fuente: Wilson Suarez



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente



#### IV. METODOLOGÍA Y DATOS

El análisis de un glaciar es amplio, dependiendo de los objetivos. En este caso, se utilizó indicadores climáticos claves en la fusión de los glaciares, los cuales ya fueron identificados en diferentes estudios anteriores; por ejemplo: el balance radiativo en onda corta (Hock 2005; Sicart 2005; Wagnon et al. 1999; Suarez et al. 2015; Juen et al. 2007), la temperatura del aire (Pouyaud et al. 2005a; Chevallier et al. 2005; Suarez et al. 2008; Hock 2003), precipitación (Wagnon et al. 1999; Francou et al. 2003; Rabatel et al. 2013) y el albedo (Wagnon et al. 1999; Sicart et al. 2008; Hock 2005).

Respecto a los datos, se debe de considerar que las estaciones del SENAMHI se encuentran operativas desde fines del año 2010 (Huaytapallana) y no tiene una serie larga de información, por lo que se utilizó a nivel mensual la información de temperatura del aire a 500 hPa del reanalysis de la NOAA (Kalnay et al. 1996); los cuales ya han sido utilizado en diferentes estudios de los glaciares tropicales con buenos resultados (Pouyaud et al. 2005b; Chevallier et al. 2005; Suarez et al. 2008; Juen et al. 2007; Salzmann et al. 2013). Y para la precipitación se utilizó la base de datos PISCO, la cual considera la red de estaciones operadas por el SENAMHI.

En cuanto a la metodología, en primer lugar se trabajó a paso de tiempo Anual, en donde se evaluó la evolución de la altitud de la Isoterma de 0 °C; tomando en cuenta que es paralela a las curvas de terreno y que se considera como hipótesis que por encima de esta se encuentra la zona de acumulación del glaciar (Schaeffli et al. 2005), y por debajo de esta la fusión es dominante. dicha posición de esta isoterma también fue evaluada como una anomalía respecto a su altitud promedio (referencia) entre los años 1981 al 2010.

Como segundo nivel de análisis se evaluaron los datos climáticos puntuales de cada glaciar a paso de tiempo diario, para ver la relación existente entre ellos y determinar la posible evolución del glaciar para fines de este año.

## V. RESULTADOS

- **Análisis a nivel mensual y anual**

Debido a que las series son cortas, estas fueron reconstruidas usando los datos de temperatura del aire del reanalysis de la NOAA a una presión de 500 hPa. En la Tabla 1 se muestran las correlaciones encontradas entre la data observada y el reanalysis.

**Tabla 1. Correlación entre los datos de temperatura del aire a nivel mensual y el reanalysis de la NOAA a 500 hPa**

<b>Nevado</b>	<b>Reanalysis 500 hPa</b>	<b>Número de datos</b>
<b>r2</b>		
Coropuna	0.74	14
Quisoquipina	0.70	51
Huaytapallana	0.84	56

En la Figura 3 se muestra la posición de la Isoterma 0 °C para los nevados Quisoquipina, Coropuna y Huaytapallana, que a la vez son comparados con los datos del Balance de masa del glaciar Yanamarey de la Cordillera Blanca (Santillana 2016); donde se observa que a partir del año 1999 se ha desplazado hacia partes más alta, llegando a tener un pico máximo en el año 2010, superando los 5,150 metros de altitud en los glaciares del sur; y para el Huaytapallana estando próximo a los 5,100 metros. Al ser comparado con el balance de masa de glaciar Yanamarey, se observa una correspondencia inversamente proporcional con el balance de masa; lo que significa que cuando la posición de la isoterma es elevada, el balance de masa es negativo. Por ejemplo, los años más notorios son 2010, 1983 y 2005. A esto se agrega que el año donde hubo los mayores déficit de precipitación (1983, 2005 y en menor medida el 2010) los balances de masa fueron negativos. Respecto a las anomalías de la altitud de la isoterma de 0 °C (serie de referencia desde 1981 hasta el 2010, promedio de altitud de la isoterma 0 °C para Coropuna 4,977 metros; Huaytapallana, 4,935 metros; y Quisoquipina, 4,960 metros); se observa en la Figura 4 que desde el año 2002 estas son positivas para los tres nevados, siendo el año 2010 y el actual los más críticos -a pesar que el año 2016 todavía no considera el mes de diciembre (se asume que es cálido y hará más fuerte la anomalía). Lo que indica que para este año la isoterma 0 °C se encuentra de 174 metros (Coropuna) a 111 metros (Huaytapallana) por encima de altitud promedio del periodo de referencia. Esto genera que el área de ablación del glaciar sea mayor y por tanto se tenga mayor fusión y aporte hídrico.



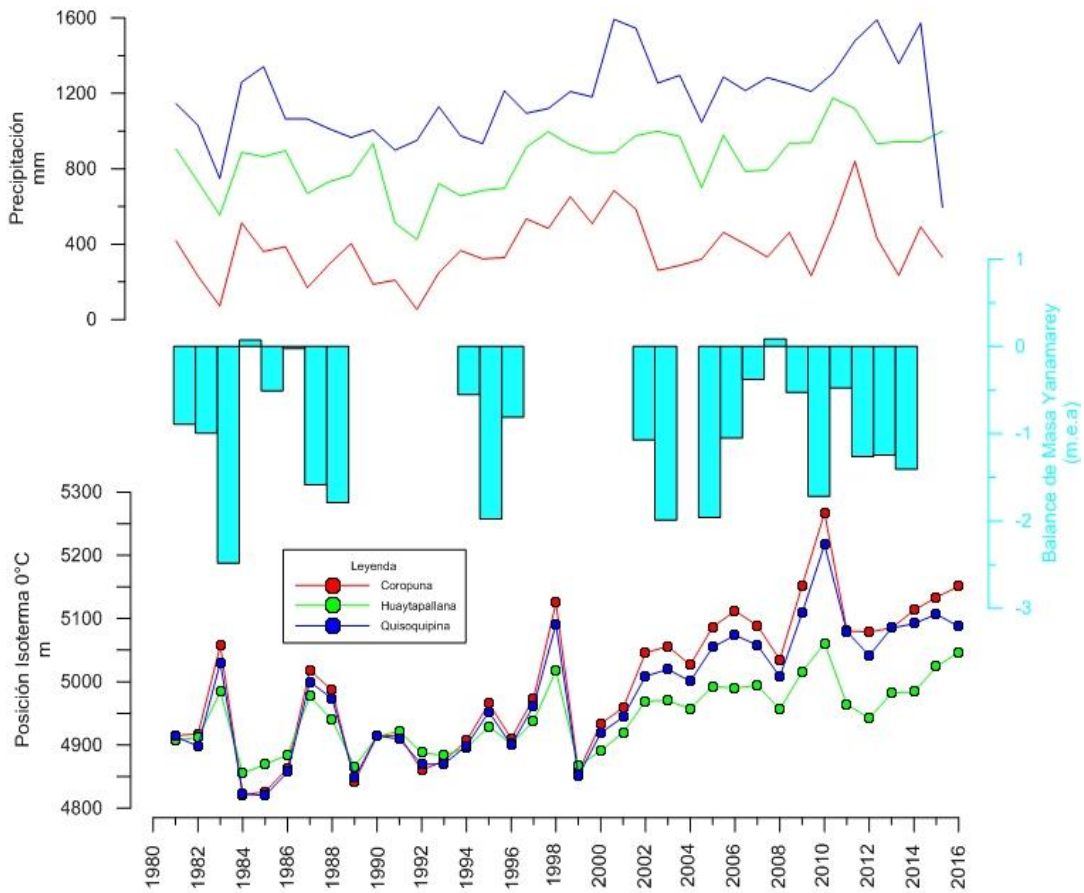


Figura 3. Comparación mensual de la altitud de la Isotherma 0 °C de los nevados Huaytapallana, Quisoquipina y Coropuna; respecto al balance de masa del glaciar Yanamarey y la precipitación

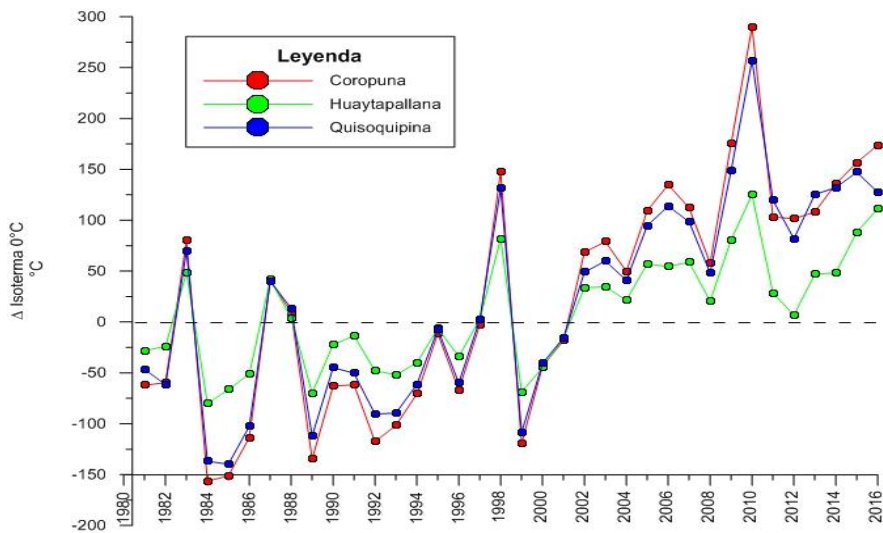


Figura 4. Anomalía de la Isotherma 0 °C respecto al periodo 1980-2010

- **Análisis a nivel diario**

El análisis diario solo se centrará en los nevados Coropuna y Quisoquipina, ya que estos al tener sus estaciones climáticas dentro del nevado tienen información de radiación incidente y reflejada.

En el caso del Coropuna, se analizaron las series comprendidas entre setiembre del 2014 a diciembre del 2015, ya que solo se tiene información de estas fechas y nos dará una idea del comportamiento de este nevado. El Glaciar Maucallacta pertenece al nevado Coropuna y se encuentra en la región de Arequipa; además vierte sus aguas hacia el Océano Pacífico. La estación climática se encuentra ubicada dentro del área de ablación próxima a la línea de equilibrio, específicamente en la cara este, lo que significa una mayor exposición a la radiación diurna de las mañanas. La altitud aproximada del frente es de 5,620 metros (Suarez 2016). En la Figura 5 se muestran los datos del balance radiativo en onda corta BROC (radiación incidente en onda corta menos radiación reflejada en onda corta), albedo, temperatura del aire y precipitación. De donde, según los datos de temperatura del aire, esta no llega a pasar los 0 °C; por lo que se entendería que no existe fusión, pero las variaciones térmicas horarias pasan normalmente los 0 °C. Se observa, de igual manera, la relación inversa entre el BROC y el Albedo. Debe entenderse que un albedo próximo al 1 indica que casi toda la energía incidente es reflejada; y próximo a 0, que casi toda la energía incidente es absorbida por el nevado. Normalmente, el albedo procede de la nieve: cuando esta es fresca su color blanco está por encima de 0.8; y cuando la nieve desaparece o se encuentra cubierta por partículas, se encuentra por debajo de 0.4. Los meses comprendidos entre noviembre y enero son los que presentan los BROC más elevados; lo que significa que es el periodo en donde es mayor la fusión. Además, se observa que el albedo cambia drásticamente con la precipitación, siendo no necesaria una caída de nieve importante para que esta comience a controlar al BROC. Se deduce, entonces, que tan importante como la temperatura es la presencia de precipitación sólida (nieve) y el BROC para aumentar o disminuir la fusión del glaciar.

Para el caso del nevado Quisoquipina se trabajó con series que van desde setiembre del 2011 hasta noviembre del 2016. Se observa (Figura 6) el mismo comportamiento que el nevado Coropuna; de manera similar la estación climática se encuentra en la zona de ablación próximo a la línea de equilibrio, con la gran diferencia que se ubica a 5,180 metros.

La radiación que entre al nevado es más importante en los meses de octubre, noviembre y diciembre y es controlada por el albedo; con la diferencia que acá se tiene precipitaciones más importantes que en el Coropuna. Cuestión que explica que su frente se encuentre cerca de los 5,100 – 5,000 metros aproximadamente (observado de Google Earth). La deficitaria precipitación de los últimos meses del 2016 nos hace pensar que el glaciar absorberá una mayor radiación que sumado a

la alta temperatura originaría un proceso importante de fusión que acelera la desaparición del frente glaciar. Se presume la misma condición para el Coropuna.

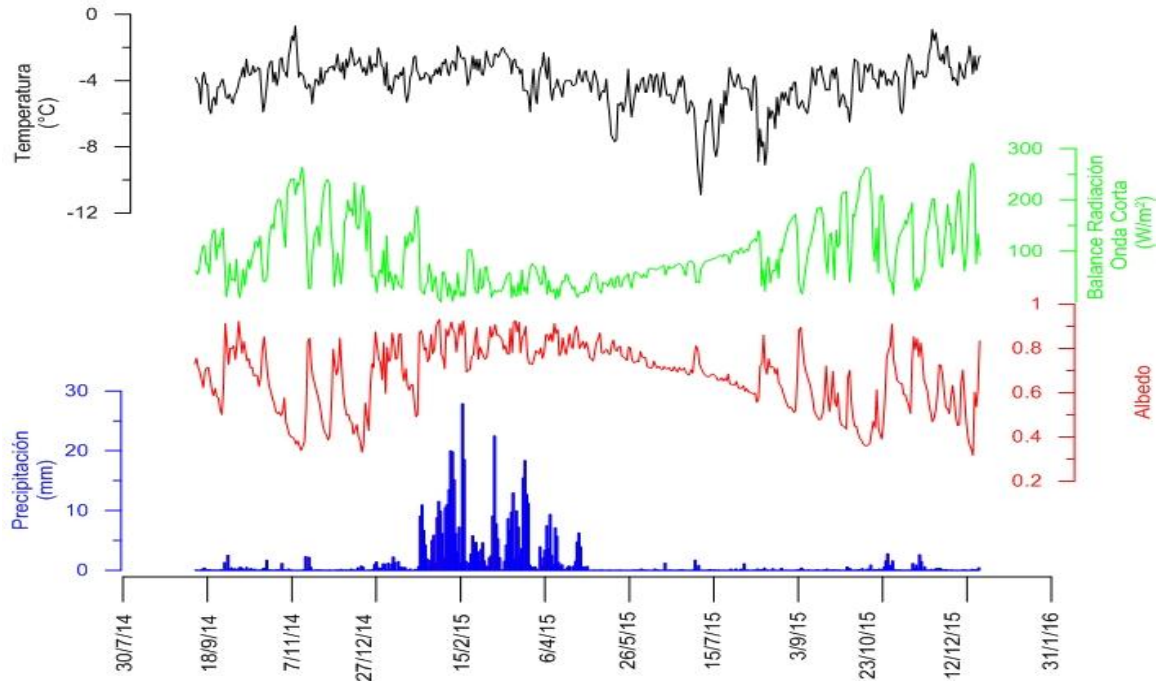


Figura 5. Análisis diario de las variables climáticas del nevado Coropuna

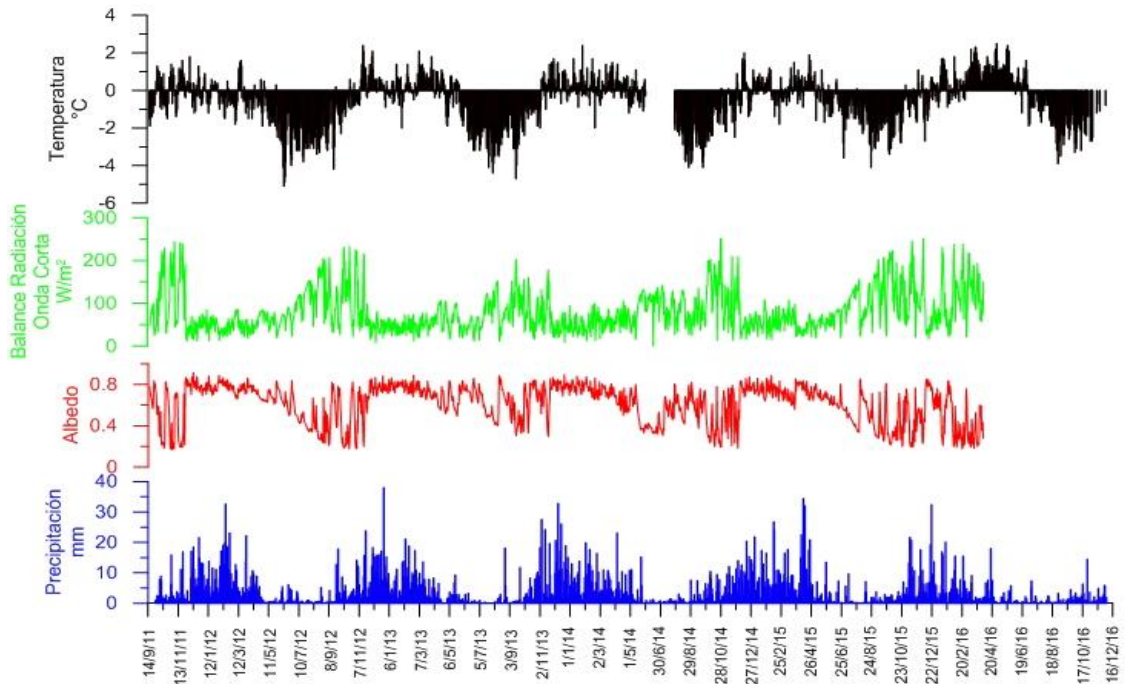


Figura 6. Análisis diario de las variables climáticas del nevado Quisoquipina



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente



## VI. CONCLUSIONES

Evaluando la posición altitudinal de la isoterma 0 °C, se puede decir que este es un año cálido (posiblemente continúe en el verano del 2017); y, de acuerdo a las precipitaciones registradas, se observa que -por el momento- es un año deficitario. Al ser un año cálido se espera que la Isoterma 0 °C se encuentre en una altitud por encima de la registrada al promedio entre 1981 y 2010, lo que generaría una mayor área de fusión en los nevados, **umentando el aporte hídrico** de estos. Tal situación, sumado a la falta de precipitaciones (principalmente nieve, que trabaja como protector del hielo frente a la radiación) hace que esta fusión sea más severa. Por lo tanto, de mantenerse las condiciones actuales, se espera un retroceso importante de los glaciares para el verano 2016 – 2017.

Considerando, además, que los glaciares son impermeables por estructura (propiedad del hielo), pero permeables por fisura (fracturas en el glaciar), el aumento en altitud de la isoterma 0 °C ocasiona que en zonas que normalmente son frías, el agua proveniente del deshielo superficial del nevado drene por las fisuras hacia la cama de contacto hielo – roca haciendo que esta pierda su propiedad adhesiva y exista un riesgo de desprendimiento de una masa de hielo al perder cohesión.

A pesar que el estudio se centró en glaciares de las Cordilleras Vilcanota, Huaytapallana y Ampato, al comparar la altitud de isoterma 0 °C con el balance de masa de un glaciar de la Cordillera Blanca (Yanamarey), se deduce que esta última cordillera debe tener un comportamiento similar a las anteriores.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Chevallier, P., Pouyaud, B. & Suarez, W., 2005. *CLIMATE CHANGE IMPACT ON THE WATER RESOURCES FROM THE MOUNTAINS IN PERU.*, (November 2004), pp.11–12.
- Cogley, J.G. et al., 2011. *Glossary of glacier mass balance and Related Terms*, Paris.
- Franco, B. et al., 2003. Tropical climate change recorded by a glacier in the central Andes during the last decades of the twentieth century: Chacaltaya, Bolivia, 16°S. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(D5), p.4154. Available at: <http://dx.doi.org/10.1029/2002JD002959>.
- Hock, R., 2005. Glacier melt: a review of processes and their modelling. *Progress in Physical Geography*, 29(3), pp.362–391.
- Hock, R., 2003. Temperature index melt modelling in mountain areas. *Journal of Hydrology*, 282(1–4), pp.104–115. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022169403002579> [Accessed July 15, 2014].
- Juen, I., Kaser, G. & Georges, C., 2007. Modelling observed and future runoff from a glacierized tropical catchment (Cordillera Blanca, Perú). *Global and Planetary Change*, 59(1–4), pp.37–48. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921818106002967> [Accessed November 14, 2014].
- Kalnay, E. et al., 1996. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77(3), pp.437–471. Available at: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0477\(1996\)077%3C0437:TNYRP%3E2.0.CO](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0477(1996)077%3C0437:TNYRP%3E2.0.CO).
- Kaser, G., 1999. A review of the modern fluctuations of tropical glaciers. *Global and Planetary Change*, 22(1–4), pp.93–103. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921818199000284>.
- Pouyaud, B. et al., 2005a. Avenir des ressources en eau glaciaire de la Cordillère Blanche / On the future of the water resources from glacier melting in the Cordillera Blanca, Peru. *Hydrological Sciences Journal*, 50(6).
- Pouyaud, B. et al., 2005b. On the future of the water resources from glacier melting in the Cordillera Blanca, Peru. *Hydrological Sciences*, 50(6), pp.999–1022.
- Rabatel, A. et al., 2013. Current state of glaciers in the tropical Andes: A multi-century perspective on glacier evolution and climate change. *Cryosphere*, 7(1), pp.81–102.
- Salzmann, N. et al., 2013. Glacier changes and climate trends derived from multiple sources in the data scarce Cordillera Vilcanota region, southern Peruvian Andes. *The Cryosphere*, 7(1), pp.103–118. Available at: <http://www.the-cryosphere.net/7/103/2013/> [Accessed November 14, 2014].
- Santillana, N., 2016. Observaciones sobre el balance de masa glaciaria en los Andes Peruanos - Autoridad Nacional del Agua. In *Proyecto Cryoperu*. Lima - Perú.



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente



- Schaefli, B. et al., 2005. Sciences A conceptual glacio-hydrological model for high mountainous catchments. , pp.95–109.
- Sicart, J.E., 2005. Atmospheric controls of the heat balance of Zongo Glacier (16°S, Bolivia). *Journal of Geophysical Research*, 110(D12), p.D12106. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1029/2004JD005732> [Accessed November 14, 2014].
- Sicart, J.E., Hock, R. & Six, D., 2008. Glacier melt, air temperature, and energy balance in different climates: The Bolivian Tropics, the French Alps, and northern Sweden. *Journal of Geophysical Research*, 113(D24), p.D24113. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1029/2008JD010406> [Accessed October 20, 2014].
- Suarez, W. et al., 2015. Balance energético neto (2012-2014) y evolución temporal del nevado Quisoquipina en la región de Cusco (1990-2010). *Revista Peruana Geo-Atmosférica RPGA*, 1(4), pp.80–92.
- Suarez, W., 2016. *INFORME TÉCNICO RESPECTO AL MONITORIO CLIMÁTICO DEL NEVADO COROPUNA - SENAMHI*, Lima - Perú.
- Suarez, W. et al., 2008. Modelling the water balance in the glacierized Parón Lake basin ( White Cordillera , Peru ). , 53(August), pp.266–277.
- Wagnon, P. et al., 1999. Energy balance and runoff seasonality of a Bolivian glacier. *Global and Planetary Change*, 22(1–4), pp.49–58. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921818199000259>.