

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



**BALANCE DE MASA DEL GLACIAR QUEÑUANI DE LA
CORDILLERA DE CARABAYA, PUNO- PERÚ**

TESIS

PRESENTADO POR:

Bach. MAGNA MOLLINEDO MACHACA

Bach. ANGEL QUISPE HUAHUASONCCO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

LICENCIADO EN BIOLOGÍA

PUNO – PERÚ

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



**BALANCE DE MASA DEL GLACIAR QUEÑUANI DE LA
CORDILLERA DE CARABAYA, PUNO- PERÚ**
TESIS

PRESENTADO POR:

Bach. MAGNA MOLLINEDO MACHACA

Bach. ANGEL QUISPE HUAHUASONCCO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

LICENCIADO EN BIOLOGÍA

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE:

Mg. MARTHA ELIZABETH APARICIO SAAVEDRA

PRIMER MIEMBRO:

M.Sc. WILFREDO PARRA VALDIVIA

SEGUNDO MIEMBRO:

Mg. MARIA ISABEL VALLENAS GAONA

DIRECTOR / ASESOR:

Blgo. HERMINIO RENE ALFARO TAPIA

ÁREA: CIENCIAS BIOMÉDICAS

LÍNEA: RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE

SUBLINEA: CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES

TEMA: ECOSISTEMAS ALTO ANDINOS

Fecha de sustentación: 23- 12- 2017

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a la Universidad Nacional del Altiplano -Puno, por habernos abierto sus puertas y habernos aceptado, dándonos la bienvenida, y brindado oportunidades de formarnos como profesionales.

A nuestra facultad Ciencias Biológicas, por habernos acompañado de cerca y acogido cálidamente, brindándonos oportunidades para crecer y formarnos como personas y profesionales.

A nuestros maestros formadores por habernos brindado las mejores lecciones y haber compartido sus conocimientos y motivaciones para seguir adelante.

A nuestro director y gran amigo Herminio Rene Alfaro Tapia, por aceptar recurrir a su capacidad, por su perseverancia antes, durante y después, por su paciencia y su gran apoyo y haber sido nuestro guía.

DEDICATORIA

A nuestros padres, los principales motores, por todos sus esfuerzos y habernos brindado su apoyo moral y económico, por su perseverancia en nuestra formación, gracias a ellos tenemos nuestras metas cumplidas.

A nuestros hermanos(as), por conformar parte de nuestras vidas, por habernos dado lecciones de vida, y por sus apoyos del día a día.

Tú, quien has sido mi mano derecha, durante este tiempo, por echarme la mano siempre que lo necesité, por todos los buenos momentos, eres una gran persona, gracias por estar aquí.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	10
ABSTRACT	11
I. INTRODUCCIÓN	12
OBJETIVO:.....	13
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
II. REVISIÓN DE LITERATURA	14
2.1. ANTECEDENTES	14
2.2. MARCO TEÓRICO	16
2.2.1. Glaciar	16
2.2.2. Formación del hielo glaciar	16
2.2.3. Tipos de glaciares	16
2.2.4. Erosión glaciar	17
2.2.5. Glaciares del mundo	18
2.2.6. Glaciares tropicales	18
2.2.7. Cordilleras nevados del peru	20
2.2.8. Descripción de las cordilleras.....	21
2.2.9. Deglaciación	25
2.2.10. Cambio climático.....	25
2.2.11. El cambio climático en el Perú.	28
2.3. MARCO CONCEPTUAL	29
III. MATERIALES Y MÉTODOS	30
BALANCE DE MASA	31
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
4.1 BALANCE DE MASA DEL GLACIAR QUEÑUANI EN LA CORDILLERA DE CARABAYA EN ÉPOCAS DE PRECIPITACIÓN Y ESTIAJE.....	42
4.1.1. Medidas de dispersión de las balizas instaladas en el glaciar Queñuani.	42
4.1.1.1. Análisis de varianza.....	43

4.1.1.2. El clúster análisis	43
4.1.2.2. Analisis de varianza.....	45
4.1.2.3. Clúster análisis.....	46
4.2. BALANCE DE MASA GLACIOLÓGICO.....	47
4.2.1. Balance de masa para la zona de ablación en el glaciar queñuani	47
4.2.3. Balance de masa del glaciar queñuani en la cordillera de carabaya en época de precipitación.	48
4.2.4. Balance de masa del glaciar queñuani en la cordillera de carabaya en épocas de estiaje.....	50
4.2.5. Balance neto específico.....	51
V. CONCLUSIONES.....	53
VI. RECOMENDACIONES.....	54
VII. REFERENCIAS.....	55
ANEXOS.....	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Formación del hielo en glaciares tropicales (Tarbuck & Lutgens, 2005).	16
Figura 2. La erosión de los glaciares (Aguilon, et al., 2011).....	17
Figura 3. Localización de las cordilleras nevadas en el Perú (ANA, 2014).	20
Figura 4. Los glaciares monitoreados en el Perú (ANA, 2014).....	24
Figura 5. El Glaciar Queñuani, Cordillera Carabaya, región Puno en el 2016- 2017. ...	30
Figura 6. Puntos de instalación de balizas y pozos en el Glaciar Queñuani, Cordillera Carabaya, Setiembre 2016 a setiembre 2017.	31
Figura 7. Método glaciológico directo realizado por el ANA, 2014.	32
Figura 8. Ubicación de pozos y balizas, en el Glaciar Queñuani, Cordillera Carabaya, periodo setiembre 2016- setiembre 2017.	33
Figura 9. Dendograma de la zona de ablación, del Glaciar Queñuani, Cordillera Carabaya, realizado de setiembre 2016 a setiembre 2017.....	44
Figura 10. Dendograma de la zona de acumulación en el Glaciar Queñuani, en la Cordillera Carabaya, realizado en setiembre 2016 a setiembre 2017.	46
Figura 11. Glaciar Queñuani, Cordillera Carabaya en ablación, periodo diciembre 2016.	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Los glaciares tropicales en el mundo (CAN, 2013).....	18
Tabla 2. Detalle del cálculo de balances de masa para el año hidrológico, realizado en el Glaciar Queñuani, entre setiembre 2016 a setiembre 2017.....	34
Tabla 3. Medidas de dispersión de las balizas, en el Glaciar Queñuani, Cordillera Carabaya, realizado de Setiembre 2016- Setiembre 2017.....	43
Tabla 4. Medidas de dispersión en la zona de acumulación, Glaciar Queñuani, Cordillera Carabaya, setiembre 2016 a setiembre 2017.	45
Tabla 5. Balance de masa para la zona de ablación en el Glaciar Queñuani, Cordilera de Carabaya. Setiembre 2016- setiembre- 2017.	47
Tabla 6. Balance de masa para la zona de acumulación, según sus altitudes, Glaciar Queñuani, Cordillera Carabaya. Periodo setiembre 2016 a setiembre 2017..	48
Tabla 7. Balance de masa en época de precipitación en el Glaciar Queñuani, Cordillera Carabaya en setiembre 2016 a setiembre 2017.	48
Tabla 8. Balance de masa, época de transición en el Glaciar Queñuani, en la Cordillera de Carabaya entre setiembre 2016 a setiembre 2017.	49
Tabla 9. Balance de masa, época de estiaje para el Glaciar Queñuani, Cordillera de Carabaya, realizado de setiembre 2016 a setiembre 2017.	50
Tabla 10. El balance neto según el rango altitudinal, del Glaciar Queñuani, Cordillera Carabaya, realizado en setiembre 2016 a setiembre 2017.	51

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

ANOVA	: Análisis de varianza
ANA	: Autoridad de agua
bn	: Balance de masa
CAN	: Comunidad andina
COP	: Conferencia de partes
UGRH ANA	: Unidad de glaciología y recursos hídricos
INAIGEM	: Instituto Nacional de investigación en glaciares y ecosistema de montañas
IPCC	: Panel intergubernamental del cambio climático
TYNDALL CENTER	: Centro de investigaciones del cambio climático
SENAMHI	: Servicio nacional de meteorología e hidrología del Perú
MINAM	: Ministerio del ambiente
mm eq. a	: Milímetros equivalente a agua
UNESCO	: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
SEMARNAT	: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
CONAM	: Consejo Nacional del Ambiente
GREENPEACE	: Organización ecologista mundial
GEI	: Gases de efecto invernadero

RESUMEN

La investigación sobre el balance de masa se realizó en el glaciar Queñuani de la Cordillera de Carabaya en la Comunidad de Chingo, Provincia de Carabaya, Región Puno, Perú, ejecutada entre el periodo del 2016, inicio del año hidrológico al 2017, finales del año hidrológico, para lo cual nos planteamos los siguientes objetivos: a). Calcular el balance de masa glaciar Queñuani en periodo de precipitación b). Calcular el balance de masa glaciar Queñuani en periodo de estiaje. El método utilizado fue glaciológico, que estima la pérdida o ganancia de masa de un glaciar en un periodo de tiempo determinado a partir de mediciones de campo, recurrimos al uso balizas en la zona de ablación y pozos de nieve/hielo en la zona de acumulación. Se utilizó pruebas estadísticas, medidas de tendencia central, dispersión, análisis de varianza (ANDEVA), análisis de conglomerados (Análisis de clúster). Se registró el balance de masa en la época de precipitación (lluvias) $b_n = -1698.4$ mm eq.a, el cual indica que estuvo en un fuerte desbalance; y en el periodo de transición nos resulta positivo $b_n = +66.7$ lo que indica que hubo incremento de la masa glaciar. Y en la época de estiaje con un balance de masa $b_n = -83.8$, el cual indica que el glaciar Queñuani se encuentra en un desbalance debido al incremento de temperaturas y para todo el año hidrológico se obtuvo un balance de masa negativo $b_n = -1714.5$ mm eq.a, lo que indica que el Glaciar Queñuani está en un fuerte desbalance.

Palabras Clave: Glaciar, precipitación, estiaje, ablación, acumulación, año hidrológico.

ABSTRACT

The investigation was carried out in the Queñuani glacier of the Carabaya Mountain Range in the Chingo Community, Carabaya Province, Puno Region, Peru, executed between the period of 2016, the beginning of the hydrological year and the end of the hydrological year, for which we set ourselves the following objectives: a). Calculate the Queñuani glacier mass balance in the precipitation period b). Calculate the balance of the Queñuani glacier mass during the dry season. The method used was glaciological, which estimates the loss or gain of mass of a glacier in a period of time determined from field measurements, we resort to the use of beacons in the ablation zone and snow / ice wells in the accumulation zone . We used statistical tests, measures of central tendency, dispersion, analysis of variance (ANOVA) and cluster analysis (Cluster analysis). The mass balance was recorded in the precipitation season (rainfall) $bn = -1698.4$ mm eq.a, which indicates that it was in a strong imbalance; and in the transition period we find positive $bn = +66.7$ which indicates that there was an increase in the glacier mass. And in the rainy season with a mass balance $bn = -83.8$, which indicates that the Queñuani glacier is in an imbalance due to the increase of temperatures and for the entire hydrological year a negative mass balance was obtained $bn = -1714.5$ mm eq.a, which indicates that the Queñuani Glacier is in a strong imbalance.

Keywords: Glacier, precipitation, low water, ablation, accumulation, hydrological year.

I. INTRODUCCIÓN

Los glaciares tropicales son la fuente principal de vida para la humanidad, debido a ello la importancia de ser estudiados, ya que la desglaciación en estos últimos años ocurre a pasos acelerados, debido principalmente al cambio climático global, sobreacumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera, siendo estas variables la principal causa del cambio climático; actualmente los fenómenos climáticos y meteorológicos, traen consigo una serie de consecuencias socioeconómicas. Según el Instituto Tyndall Center, dedicado a investigar temas relacionados al cambio climático, el Perú es el tercer país más vulnerable a los efectos del cambio climático, después de Bangladesh y Honduras, esto por el porcentaje de la población económicamente activa que está directamente asociado al clima como la agricultura y ganadería. Cuando inició la revolución industrial, la actividad humana ha exagerado en la contribución al calentamiento global a través de la acumulación acelerada de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, especialmente dióxido de carbono y metano, por lo que un continuo proceso de desglaciación generaría inicialmente una mayor circulación del agua en los cauces alcanzando un máximo de disponibilidad durante los siguientes 25 a 50 años; luego del cual se iniciaría una progresiva disminución, agudizando el período de estiaje y en consecuencia, reduciendo la disponibilidad de agua para consumo humano, actividades agropecuarias, procesos industriales y generación de energía, por fuente hidroeléctrica. En la actualidad el fenómeno del cambio climático que afecta el recurso hídrico en especial el agua dulce en estado sólido y la cuantificación es de vital importancia para planificar acciones de monitoreo y protección (El IPCC encontró que Perú es uno de los 3 países más vulnerables al cambio climático por ser poseedor del 75% de los glaciares tropicales; gran parte de los cuales está en franca desaparición). A esta necesidad, la Unidad de Glaciología, realiza Inventario Nacional Glaciares y Lagunas Alto andinas en el ámbito de la Cordillera Blanca que actualiza la cantidad y superficie de glaciares y lagunas para su control (Pasapera, 2012). Sin embargo, estos efectos pueden reducirse con la ejecución oportuna de medidas, monitoreo y mitigación. En la Región Puno, la información que se tiene es extremadamente reducida y los problemas generados por la desglaciación no han sido objeto de ningún tipo de política ambiental por ninguno de los gobiernos locales, de la Región o Nacionales, por lo que nos planteamos como objetivo.

OBJETIVO:

Determinar el balance de masa del glaciar Queñuani de la Cordillera de Carabaya en épocas de precipitación y estiaje

Objetivos específicos

1. Calcular el balance de masa glaciar Queñuani en periodo de precipitación
2. Calcular el balance de masa glaciar Queñuani en periodo de estiaje.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

(Vargas, 2009). Desde la revolución industrial, la actividad humana ha sido una de las principales causas que han contribuido al calentamiento global a través de la acumulación acelerada de GEI en la atmósfera, la temperatura global se ha elevado en 0,65 °C respecto a la temperatura promedio de la primera mitad del siglo XX. (Hoffmann, 2008) nos indica que el caso más notorio es el retroceso glaciar Chacaltaya, en Bolivia, hoy solo quedaron pequeños parches de hielo. No hay ninguna conciencia dentro de la población o sistema político acerca de los problemas que el retroceso de los glaciares puede causar sobre las actividades humanas. Mientras que el (CAN, 2007), nos indica que el glaciar Chacaltaya en Bolivia, desapareció en 2009 tras 18.000 años de existencia. La misma suerte les espera a los glaciares que son fuentes principales de reservas de agua para la producción agrícola, energía y consumo humano.

(Rodriguez, 2009). La mayor parte de glaciares tropicales se encuentra en Perú, con 2.000 Km² de área aproximadamente, y en la Cordillera Blanca se encuentra la mayor área de glaciares con el 35%, la cordillera blanca ha sufrido las consecuencias de variabilidad muy notorias, que están principalmente relacionadas con el retroceso glaciar y desbalance glaciar que ha originado la formación lagunas, siendo evidentemente peligrosas algunas de ellas. (Schauwecker *et al*, 2014), se ha reducido en más del 30% del área total de glaciares de la Cordillera Blanca en el período de 1930, con un marcado retiro de glaciares al igual en las últimas décadas. Ha desacelerado, las precipitaciones han aumentado desde principios de la década de 1980 con un claro cambio en la década de 1990, está correlacionado con el componente eólico zonal oriental, sobre los glaciares no puede equilibrar el aumento de la temperatura, especialmente los pequeños y de poca altura se están retirando debido a un grave desequilibrio.

(CAN, 2007), el glaciar Quelcaya, el cual provee agua potable para la ciudad de Lima, Perú perdió el 20% de su volumen desde 1963, retrocedió muy rápidamente en estos últimos años, disminuyendo 30m por año, durante la década del 90. Y en la Cordillera del Vilcanota según (Huggel, 2013), en los años 1985 y 1996, se ha perdido 100 km² de hielo, equivalente al total de un 23%. El siguiente año continuaron mostrando fuerte retroceso de los glaciares, sus aguas que vierten al Rio San Gabán, muestran que la superficie en este período se redujo en un 53% (de 52,8 km² en 1962 a 27.6 km² en 1999).

(Hanshaw *et al.*, 2014), indica que durante los 22 años transcurridos entre 1988 y 2010, todas las regiones glaciares a lo largo de toda la Cordillera Vilcanota se redujo en un total de 107,6 km².

(Ceballos & Tobón, 2007) demuestra que los glaciares en Colombia han experimentado importantes avances y retrocesos en su masa glaciaria como respuesta a los cambios climáticos, comprobó a partir de análisis con sensores remotos (fotografías aéreas e imágenes de satélite) que reconstruyeron la evolución de área para las seis masas glaciares actuales, una extensión para el periodo 2002 – 2003 es de 55 km², el cual representa una disminución cercana al 80% en los últimos 150 años. En la actualidad se estima entre el 1 y 3% de pérdida anual de área, y la pérdida de espesor de hielo en un periodo de 10 meses, con un promedio de tres metros aproximadamente en el volcán nevado Santa Isabel (Cordillera Central), lo cual anuncia la inevitable desaparición del hielo glaciario tan solo algunas décadas. El (MINAM, 2012), señala que el aumento en la temperatura puede afectar por incidencia de plagas las zonas de cultivo, y causar la pérdida de superficies glaciares. En los últimos 30 años, la superficie de glaciares andinos ha disminuido en un 22%, lo cual ha generado una pérdida de más de 12 000 millones de metros cúbicos de reservas hídricas. La desglaciación no solamente tiene un impacto en la disponibilidad de agua, también incrementa el riesgo de aludes y aluviones por incrementarse el número de lagunas colgantes, y el aumento en el nivel del mar afectaría al 54,6% de la población. Mientras (Mark *et al.* 2017) la insolación e influencia de CO₂ pudieron causar el patrón general de desglaciación en los Andes Tropicales del Sur, los factores hipsométricos y océano-atmosféricos regionales pudieron haber contribuido en la variabilidad glaciaria.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Glaciar

Son uno de los componentes de la criósfera conocido por su alta sensibilidad a los cambios climáticos. Gracias a su respuesta rápida a estos cambios, se lo podría calificar de “centinelas del clima” (Francou, *et. al* 2012). Los glaciares son una fuente importante de reservas de agua dulce, reguladores de caudales, valor paisajístico, biodiversidad y humedales, indicadores de cambios climáticos (GEO ESTUDIOS LTDA., 2008).

2.2.2. Formación del hielo glaciar

El hielo glaciar se origina a partir de la precipitación nival; se forman en lugares donde cae más nieve en invierno. Y antes de que se forme un glaciar, la nieve que cae debe convertirse en hielo glaciar (Tarbuck & Lutgens, 2005).



Figura 1. Formación del hielo en glaciares tropicales (Tarbuck & Lutgens, 2005).

2.2.3. Tipos de glaciares

Glaciares de valle (alpinos): su descenso es con lentitud, sólo mínimos centímetros al día. Debido a su localización y geomorfología, y los **glaciares de casquete** están a una escala mucho mayor, debido a que la poca radiación solar anual que alcanza a los polos en estas regiones es apta para acumulaciones de hielo. (Tarbuck & Lutgens, 2005). También existen otros tipos de glaciares que están en tierras elevadas y mesetas con presencia de hielo glaciar se denomina **glaciares de meseta**. Tal como las plataformas glaciares, y los casquetes polares, pero los glaciares de casquete alimentan a **glaciares de desbordamiento** y estas lenguas de hielo fluyen hacia abajo que se extiende frontalmente del hielo que son más grandes. Sin embargo, los **glaciares de piedemonte** ocupan partes

bajas y amplias en la base de montañas y se forman cuando más de un glaciar alpino surge de las paredes de los valles de montaña. (Tarbuck & Lutgens, 2005).

2.2.4. Erosión glaciar

La erosión se da cuando un glaciar desciende por un valle o se desplaza en una zona amplia, y en el caso de grandes extensiones de masa de hielo, se modela el terreno de una forma característica, las rocas que están inmersas en el fondo del glaciar actúan como partículas que abrazan, al lijar, la piedra sobre el que se desplaza el hielo la cabecera del valle quedan erosionadas en forma semicircular denominada circo (Aguilon, *et al.*, 2011).

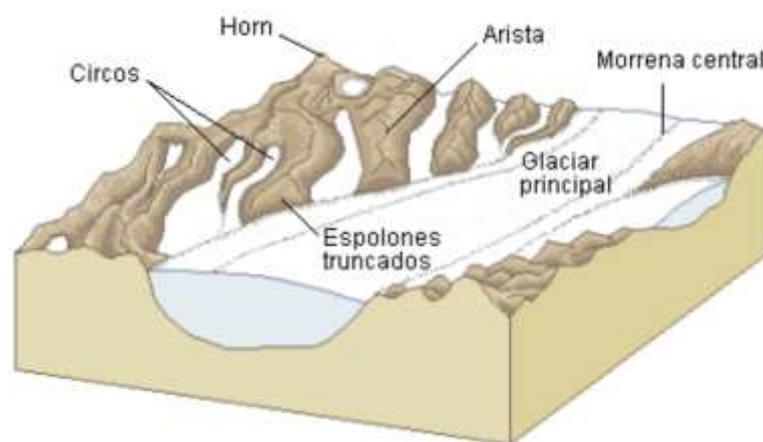


Figura 2. La erosión de los glaciares (Aguilon, *et al.*, 2011).

Balance de masa

Es un dato glaciológico, y la medición de los caudales de un río es hidrológico, se estudia el conjunto de glaciares cada año y ver cómo evoluciona su masa, recurriendo a mediciones (Francou, *et al.* 2012), en la parte superior del glaciar, conserva la nieve acumulada, se lleva el estudio cavando pozos que permiten cuantificar el ciclo de acumulación anual, se efectúa una vez al año justo antes del comienzo de la temporada de lluvias, por ejemplo en septiembre en Perú y en Bolivia, en diciembre o enero en Ecuador.

Balance de masa glaciológico

Con este método se realiza la medición directa del espesor de hielo y nieve de la superficie del glaciar a ser estudiada, de un año hidrológico, y para hallar el proceso de ablación, se realiza mediante esta ecuación (Leonardini, 2012):

Masa glaciar: es una reserva adicional de recurso hídrico y es de vital importancia para la humanidad (Rodríguez, 2009).

2.2.5 Glaciares del mundo

El cambio climático tiene consecuencias en todas las montañas glaciares del mundo, según (UNESCO, 2014), la reducción del glaciar tropical más grande en el mundo, ocurrió en los Andes peruanos, en el glaciar Quelccaya, Cordillera de Vilcanota, en donde se tiene el mayor número de glaciares a nivel mundial, se redujo 1,2km entre los años 1978 y 2008. Y el glaciar Fedchenko valle glaciar más largo del mundo después de las regiones polares, está dentro del Parque Nacional de Tayikistán, cubre una superficie de 744 km² y se extiende sobre 72 km. Pero en los últimos 80 años, la lengua del glaciar retrocedió 755 m, perdiendo una masa total de 3,8% y también las montañas de Altai, conocidas como las “montañas doradas”, es la cadena montañosa más grande de la región biogeográfica de Siberia occidental, se extiende por China, Kazajstán, Mongolia y la Federación de Rusia (UNESCO, 2014).

2.2.6. Glaciares tropicales

Los glaciares tropicales son una reserva estratégica para el abastecimiento de agua, y también son indicadores muy sensibles de las variaciones del clima (Quirós, 2013).

Tabla 1. Los glaciares tropicales en el mundo (CAN, 2013).

Región	Área en km²	% de los glaciares tropicales	año de estimación
Perú	1,958 (1,370)	71.1	1970 (2006)
Bolivia	562 (393)	20.4	1975 (2006)
Ecuador	112.8 (79)	4.1	1976 (2006)
Colombia	108.5 (76)	3.9	1950 (2006)
Venezuela	2.7 (1.8)	0.09	1950 (2006)
Total, américa del sur	2,744 (1,920)	99.68	2006
Kilimanjaro	2.2		2000
Ruwenzori	0.96		2003
Mt. Kenya	0.3		2004
Total, África	3.46	0.18	~2000
Papuasia- nueva guinea	2.3	0.12	2000
Total, probable para los glaciares del trópico	~1, 926	100	

Las cifras entre paréntesis representan estimaciones hechas por Bernard Francou y G. Kaser, más conservadoras que las originales basadas en extrapolaciones de mediciones efectuadas sobre algunos glaciares de las zonas indicadas (CAN, 2013).

El retroceso de los glaciares tropicales ocurre aceleradamente, disminuyen entre un 20 y un 50% de su tamaño normal desde finales de la década de 1970. Inicialmente este derretimiento aumentó el caudal de los ríos, pero en la actualidad ha disminuido, tal como se evidencia en cuenca de la Cordillera Blanca. Se espera que los glaciares y los campos de hielo, así como la acumulación de nieve disminuyan mucho más en los Andes (centro y sur de Chile y Argentina), y afectara el abastecimiento de ríos y disponibilidad de agua dulce en zonas que son áridas, que dependen de esta fuente el agua. (CAN, 2013).

Glaciares tropicales andinos

El glaciar Quelcaya ha perdido 20% de su volumen desde el año 1963, retrocedió muy rápido en el último siglo; el retroceso se incrementó a 30m por año en la década del 90, se estima que desaparecerá antes del 2020 y es fuente de agua potable para la ciudad de Lima en Perú. Y el glaciar Chacaltaya perdió el 80% de su área en los últimos 20 años, es fuente principal de consumo y producción de energía, el cambio climático es también una seria amenaza para la ciudad de La Paz, Bolivia, ya que su desaparición estaba estimada para 2015 y ocurrió en el año 2009, luego de que se acelerara el deshielo en los últimos tiempos. En Ecuador se corre con el mismo desafío ante la inminente desaparición de sus glaciares. Estos tres países figuran entre las regiones más amenazadas por la desaparición de glaciares (GREENPEACE, 2010).

Se ha registrado numerosos casos de glaciares tropicales andinos pequeños que han desaparecido: son 145 los casos registrados en la cordillera Blanca del Perú entre 1970 y 2003, con una reducción total del 26% de la superficie. En Ecuador, los inventarios de 1997 y 2006 indican una reducción del 27%; mientras que, en Colombia, los últimos diez años la reducción es del 2 al 5% anual, y en tanto en Venezuela sólo quedan relictos de los glaciares que ocuparon la cordillera de Mérida, luego que se perdió el 87% de la superficie glaciar. Y en Bolivia desaparecieron glaciares como el Chacaltaya y se muestra gran preocupación frente a la pérdida de masa de los que aportan principales fuentes de agua en la ciudad de La Paz. También en la cordillera Norte y Central de Chile y Argentina los glaciares Echaurren y Piloto, que fueron monitoreados desde la década de 1970, han incrementado sus pérdidas de masa glaciar a partir de 1980 (CAN, 2013).

La cordillera Blanca que tiene pequeños glaciares son los más afectados por el cambio climático, ya que el 87% de los glaciares tienen una superficie menor a 1 kilómetro cuadrado, y solo el 12% está ubicado en superficies de mayor extensión. La altitud mínima de los glaciares inventariados está a 4000 msnm (ANA, 2014).

2.2.7. Cordilleras nevadas del Perú

La ubicación de los glaciares está ligado a las cordilleras, donde en un inventariado se ha obtenido 19 cordilleras nevadas del Perú, con un total de 2 679 glaciares con una superficie de 1 298,59 km². Y por lo general la altitud mínima de los glaciares inventariados se ubica sobre los 4000 msnm, los que se observan en la (fig. 3) y se distribuyen seguidamente (ANA, 2014).

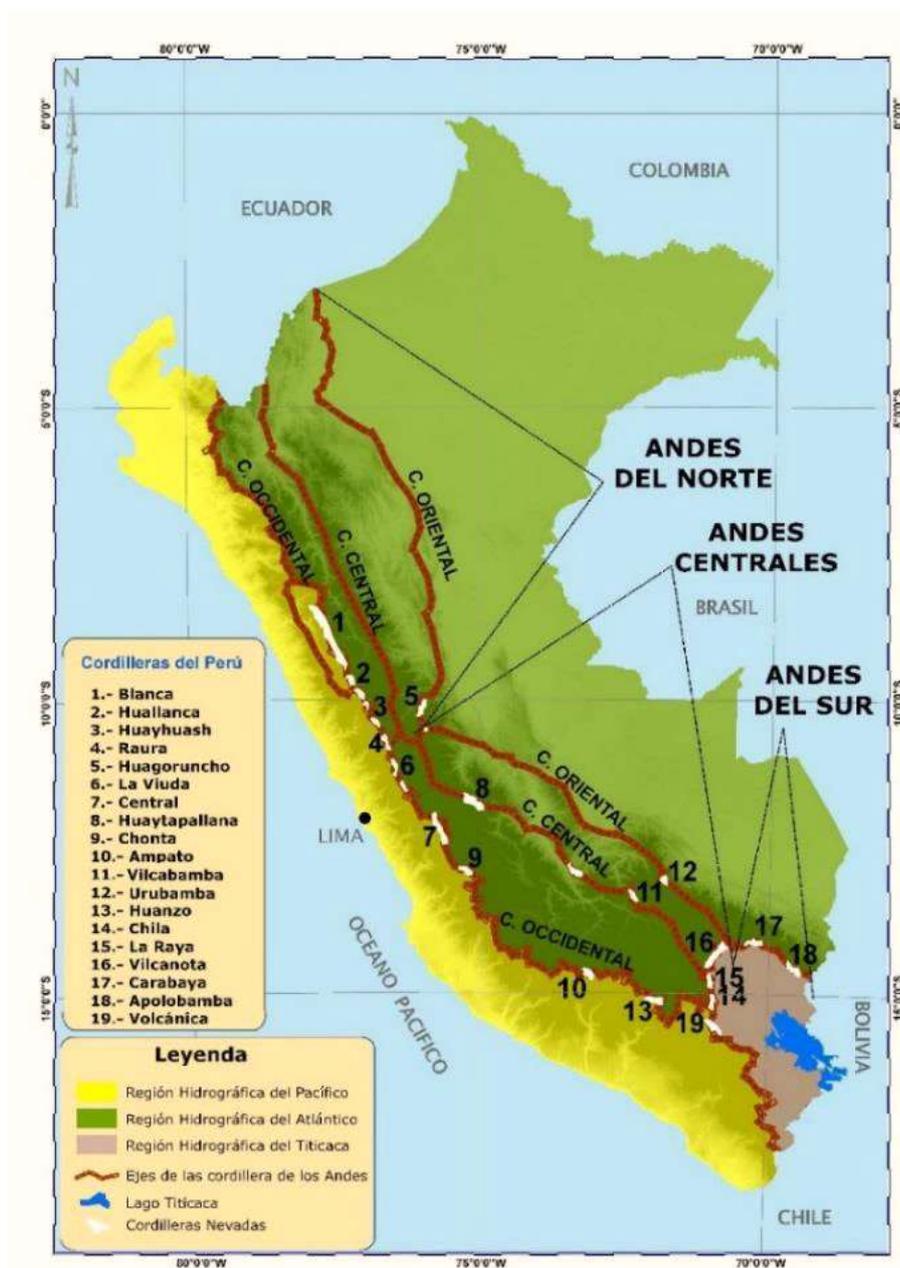


Figura 3. Localización de las cordilleras nevadas en el Perú (ANA, 2014).

2.2.8. Descripción de las cordilleras

La cordillera blanca se encuentra en la región Ancash. Ubicada en la zona tropical, tiene ligeras variaciones estacionales de temperatura, mientras tanto la precipitación a menudo varía fuertemente, tanto estacional como anualmente. Los glaciares tienen un gran impacto en el paisaje de la zona y no solamente en la misma área de glaciación (Sevink, 2009). Y al sur Este y norte de la Cordillera de Huayhuas se encuentra la Cordillera de Huallanca en el Departamento de Ancash y está siendo estudiada recientemente, a través de las investigaciones realizadas en la Lengua Glaciar de Chaupijanca esto por sus condiciones geomorfológicas y facilidades de acceso (Morales, *et al* 2012). Y a 50 kilómetros al sur de la Cordillera Blanca está la Cordillera Huayhuas, entre Ancash, Huánuco y Lima. Cuenta con más de treinta nevados, de los cuales 5 superan los 6 mil metros de altura, además se aprecia lagunas, flora y fauna andina propia del lugar. La reserva nacional de la cordillera Huayhuash, convertido en el centro para la explotación de recursos naturales, en partes altas se pueden apreciar 21 montañas nevadas que sobrepasan los 5,400 msnm. Así mismo la segunda montaña más alta de los Andes del Perú, después del Huascarán que alcanza 6 768msnm, (Robles, 2006) indica que las aguas de estos depósitos manan de los glaciares y vierten hacia ambos lados de la cordillera Huayhuash formando micro valles donde están ubicados los centros poblados.

La Cordillera Raura, ubicada en los departamentos de Huánuco, Pasco y Lima, con 20 km aproximadamente, desde la hoya del río Llamac al norte hasta el nevado de Puscanturpa al sur. Son identificados 102 glaciares con una superficie de 28,34 km² (ANA, 2014). Y una de las cordilleras divisorias de agua entre las hoyas del Pacífico y el Atlántico, la cordillera la Viuda, formada por pequeños y dispersas montañas nevadas que forman parte del Pacífico de los Andes del Centro, entre los departamentos de Lima, Pasco y Junín. En el inventario se identificó 65 glaciares con 6,03 km². Las altitudes varían de una altitud mínima de 4892 msnm a una altitud máxima de 5406 msnm (ANA, 2014). Mientras que la Cordillera Central al este, es más corta y menos alta, separada de la Cordillera Blanca por el Callejón de Conchucos, discurren sus ríos hacia la cuenca del Océano Atlántico, dirección a la Amazonía por el Río Marañón. En las cabeceras, los ríos que se forman en la Cordillera Central reciben sus aguas principalmente del hielo derretido de la nieve y de los glaciares. Los valles cuentan con varios lagos pequeños y grandes de origen glacial en los cuales se descargan estas aguas del derretimiento glacial (Sevink, 2009).

Cordillera Huagoruncho ubicada a 5723 msnm, es un cuerno glacial rodeado en forma de radio por cinco valles, y los pequeños glaciares que alimentan Yanacocha tiene muros de 5000 msnm (Stansell. *et al*, 2015). Esta se caracteriza por estar localizados en áreas montañosas en cabeceras de valle, como es el caso del valle del Mantaro. Las paredes del glaciar son escarpadas y altamente empinadas, la Cordillera Huaytapallana que tiene una gran importancia para la cuenca del Mantaro por su aporte que es aprovechado en el uso agrícola y urbano (Pariona, 2015). Mientras que la Cordillera Chonta con una longitud aproximada de 92 km, distribuida ampliamente entre departamentos de Junín y Huancavelica sobre altiplanicies onduladas caracterizadas por la existencia de grandes cuerpos de agua ocupando depresiones topográficas (INAIGEM, 2016). Y en el ramal occidental de los Andes la Cordillera Ampato, extendiéndose en 180 km aproximadamente en dirección noroeste, los glaciares se distribuyen entre los departamentos de Arequipa y Ayacucho, el sistema hidrográfico drena hacia la vertiente del Pacífico. Presenta 65 glaciares y una superficie de 60,96 km² (ANA, 2014).

La Cordillera Vilcabamba, es un tramo de la Cordillera Oriental Andina que se ubica en los departamentos de Cusco y Apurímac al sur del Perú. Y es la tercera cordillera glaciar más grande del Perú y en los trópicos a nivel mundial. La mayor parte se encuentra en el departamento de Cusco, en el sector de las provincias de La Convención, Urubamba y Anta. Se extiende también sobre el extremo noreste del departamento de Apurímac ocupa un área más pequeña de su territorio. El número de lagunas y la superficie total del área lagunar se ha incrementado, para el año 1991 se registraron 247 lagunas, que cubrían un área de 4.4 km², y el año 2014 se identificaron 329 lagunas que tenían una extensión total de 5.4 km². Además, la formación de nuevas lagunas, incremento de la superficie lagunar se ha acelerado. (Guardamino, 2014). Los pisos ecológicos varían en una gradiente altitudinal que va desde los 500 metros hasta los 4,000 m.s.n.m (Castro, 1998).

La Cordillera Urubamba, dentro de las cordilleras de los Andes Centrales y Sur del país, está situada en el ramal oriental de los Andes Centrales, se extiende 40 kilómetros en dirección noroeste, con 117 glaciares y una superficie total de 26,39 km², los glaciares en su totalidad solo se encuentran en la cuenca Urubamba y es principal fuente de agua para los centros poblados ubicadas sobre la zona intermedia y baja de la cuenca (ANA, 2014). Mientras que la Cordillera Huanzo está conformada por una cadena de montañas; ocupa territorios de los departamentos de Apurímac, Cusco y Arequipa. El clima es

frígido con temperaturas entre -10 y 5°C . En temporada de lluvias (enero – marzo) nevadas y caída de granizo, temporada seca (julio – setiembre) vientos fríos y severas heladas, que es perjudicial para ganado auquénido ya que es la actividad económica principal de los pobladores. Llegan a $5,350$ m.s.n.m., cuyas líneas de cumbres constituyen la divisoria continental entre las cuencas hidrográficas del Pacífico y del Atlántico, los “picos” más altos están cubiertos por nieve perpetua (Callupe, 2012).

La Cordillera Chila, localizada dentro de los Andes occidentales del sur del Perú; las más pequeñas de la cordillera occidental se extiende en dirección noroeste-sureste ubicada en la naciente de la rama occidental de los Andes Centrales; en el departamento de Arequipa, sus glaciares son principal fuente de la cual se genera la red que forma el río Amazonas y actúa como divisoria de aguas continentales, con un total de 22 glaciares con una superficie de $0,93$ km², distribuida en 2 cuencas hidrográficas Camaná y Alto Apurímac (ANA, 2014). En el nudo de Vilcanota, se encuentra la Cordillera la Raya, aproximadamente en 15 km de longitud, en dirección noroeste, entre las divisorias del departamento de Puno y Cusco, en la cuenca del río Urubamba de la Vertiente del Amazonas, así como cuencas de Azángaro y Pucará pertenecientes a la vertiente del Titicaca. Los glaciares están dentro del rango de tamaño menor o igual a 1 km² distribuidas en 2 cuencas hidrográficas (Pucará – vertiente del Titicaca y Urubamba – vertiente del Atlántico), en la cuenca de Urubamba se encuentra la mayor cantidad de glaciares (INAIGEM & MINAM, 2016).

En los Andes del Sur del continente Sudamericano esta la Cordillera Vilcanota en el ramal del nudo de Vilcanota sector sur, se prolonga desde el Nevado Jarupata hasta el Nevado Miñasnioc, con un aproximado de 93 km longitud lineal, es la segunda cordillera nevada de mayor concentración de glaciares del Perú, con 374 glaciares en una superficie de $279,40$ km²; identificándose el glaciar Osjollo Anante como el más extenso de la cordillera, con $6,5$ km² y el nevado Quelccaya como el más conocido. Presenta 374 glaciares con una superficie total de $279,40$ km² y en ella la cuenca hidrográfica Urubamba es la que tiene una mayor concentración con $177,00$ km², ocupando el 63,35% del área total (ANA, 2014). También la Cordillera Carabaya en los Andes del sur, presenta 148 glaciares con una superficie de $34,53$ km²; el glaciar Huaman Lipani el más extenso, con $1,88$ km² y el más alto glaciar (Nevado Allin Ccapac), con una altitud de $5\ 804$ msnm. Presenta 148 glaciares y una superficie glaciar de $34,53$ km², con mayor concentración de superficie en la cuenca hidrográfica Inambari, con 92,96% (ANA, 2014).

La Cordillera Apolobamba se encuentra al Norte de la ciudad La Paz (Bolivia), hace parte de la extremidad de la Cordillera Oriental, sus relieves más altos llegan a más de 5900 m. La asimetría del Glaciar explica las diferencias de conservación de los depósitos y diferencias de la dinámica glacial y fluvio-glacial, estratigráficamente es conservada y las formaciones más antiguas bien representadas; en esta vertiente los glaciares bajaron hasta los 3500 m (Argollo *et al.* 1996). Mientras tanto la Cordillera Volcánica está localizada dentro de las cordilleras de los Andes Centrales y Sur del país, presenta 15 glaciares y una superficie glacial total de 0,72 km² en base a una imagen ASTER de 2009, límites de los departamentos de Arequipa y Moquegua, provincias de Caylloma, General Sánchez Cerro y Arequipa; con la concentración de las superficies glaciares en la cuenca Quilca – Vitor – Chili, en la vertiente del Pacífico (ANA, 2014).



Figura 4. Los glaciares monitoreados en el Perú (ANA, 2014).

2.2.9. Desglaciación

Los glaciares tropicales son excelentes indicadores de la evolución del clima. En diversos estudios se han demostrado que en los últimos decenios muchos de los glaciares se han reducido considerablemente, lo que implica la gran disminución del recurso hídrico en diferentes cuencas, así también el incremento de la formación de glaciares colgantes, debido a que son frágiles las masas glaciares provocada por el retroceso y tienden a desprenderse (Portocarrero, 1995).

El glaciar Zongo que está en la Cordillera Real, La Paz Bolivia, se demostró que de 1992 al 2007, como efecto de la desglaciación había perdido el 9,4% de superficie y cerca de 6 m de espesor. Y el glaciar apenas cubría una extensión de 1,87 km² en el 2009 (UNESCO, 2014). Y en el Perú la gran riqueza hídrica lo hace vulnerable, a pesar de poseer el 71% de los glaciares tropicales del mundo, muchos de estos glaciares están experimentando un preocupante retroceso. Debido a la desigual distribución de precipitaciones que incrementa la vulnerabilidad a los efectos del cambio climático y los ríos de la vertiente occidental de los Andes se verán severamente impactados por el creciente proceso de desglaciación (MINAM, 2010).

2.2.10. Cambio climático

Todos los cambios que ocurren con el clima a través del tiempo es el resultado de la variabilidad natural y/o de las actividades humanas. El calentamiento global se manifiesta de forma más evidente del cambio climático y con eso se refiere al incremento promedio de las temperaturas terrestres y marinas globales (SEMARNAT, 2009). Y es una de las amenazas más complejas, múltiples y serias que el mundo enfrenta en la actualidad, ya que se están produciendo cambios ambientales sin precedentes a nivel regional que cada vez se hacen más evidentes por constantes observaciones sobre el incremento de la temperatura del aire y de los océanos, por el derretimiento de glaciares que crece y acelera, la elevación del promedio global en el nivel del mar, así como la frecuente e intensos desastres naturales que causan miles de daños y pérdidas a nivel mundial. El derretimiento acelerado de nuestros glaciares tropicales andinos es la clara evidencia más saltante del Cambio climático (CAN, 2008).

Causas del cambio climático global

Las principales actividades que el hombre realiza de alguna manera alteran la composición de la atmósfera mundial que genera el cambio climático, los cuales son la

producción y consumo de combustibles fósiles, formas de producción agropecuaria, cambio de uso del suelo, la deforestación que provoca erosión de suelos, procesos industriales y formas comunes de gestión de residuos orgánicos sólidos y líquidos (CONAM, 2002). La humanidad se encuentra ante una encrucijada histórica frente al cambio climático, el gran desafío que enfrentamos es evitar un cambio climático que se encuentra totalmente fuera de control, los científicos advierten que si la temperatura global incrementa más de 2°C estaremos frente a un cambio climático catastrófico y esos procesos provocarán, liberación de más emisiones de gases de efecto invernadero, e indica que el calentamiento global entra en un proceso que se realimenta. Y en los últimos años las evidencias muestran que con un aumento de 1,5°C, se producirían impactos severos e irreversibles. El calentamiento que ya hemos experimentado, más 1°C adicional, debido al efecto de los gases de efecto invernadero que ya se encuentran en la atmósfera, nos ponen al límite de los 1,5°C - 2°C. Si sobrepasamos los impactos económicos, sociales, políticos, culturales y ambientales serán indescriptibles (GREENPEACE, 2010).

Efecto invernadero

Los gases de efecto invernadero, son componentes gaseosos de la atmósfera, pueden ser naturales como antropogénicos, que absorben y emiten radiación en diferentes y determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja que es emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes (Benavides & León, 2007). Ello se manifestará sobre todo con aumentos en la temperatura global promedio y esto afectará todos los procesos que tienen lugar en cuerpos naturales. El agua, que está presente en la naturaleza en forma sólida (polos y glaciares), líquida (en ríos, lagos y mares) y gaseosa (vapor de agua), será el primer objeto de grandes cambios (CONAM, 2002).

Efecto invernadero natural

La atmósfera principalmente tiene el poder significativo de absorción de radiación ultravioleta o radiación de onda corta que es procedente del sol y el principal responsable de este fenómeno, el ozono, así mismo, la atmósfera tiene buena capacidad para absorber la radiación infrarroja o de onda larga procedente de la Tierra y los responsables son el vapor de agua, el dióxido de carbono y otros gases perjudiciales como el metano y el óxido nitroso (Benavides & León, 2007). Estos gases de efecto invernadero (GEI) no

fueron inventados por el hombre, sino se han generado desde hace miles de millones de años, de fuentes naturales como el vulcanismo, la vegetación y los océanos, durante las erupciones volcánicas e hidrotermales se generan grandes cantidades de emisión de CO₂ y vapor de agua, y la actividad biológica como la respiración de las plantas y animales y también la descomposición microbiana de materia orgánica contribuyen a la producción natural de GEI. Sin embargo, los humanos también hemos contribuido en su generación. Desde el inicio de la industria y el uso de los combustibles fósiles, tales como el petróleo, gas natural o carbón, hemos arrojado grandes cantidades de GEI en la atmósfera y, con ello, contribuido a incrementar estos gases en la atmósfera (SEMARNAT, 2009).

La concentración de CO₂ en la atmósfera afecta en el nivel y eficiencia de la fotosíntesis y en el uso de las aguas, lo que afectaría a la productividad de las plantas y a otros procesos de los ecosistemas. Los factores del clima también afectan a la producción vegetal y animal, así como a otras funciones del ecosistema (IPCC, 2002). Y esas concentraciones atmosféricas de CO₂ (379 ppm) y CH₄ (1774 ppmm) en 2005 exceden mucho el intervalo natural de los valores en los últimos 650.000 años. Los aumentos de la concentración a nivel mundial de CO₂ son principalmente por la utilización de combustibles de origen fósil (IPCC, 2007).

Frente al cambio climático, la cobertura de hielos glaciares en las cuencas altas quienes son los causantes del drenaje de agua en los Andes Centrales, disminuye y consigo vienen cambios en los regímenes hidrológicos, aguas más abajo. Por lo tanto, se deben buscar métodos de gestión del agua, tanto en agua potable o de irrigación, como consumo de energía por hidroelectricidad, se deben tener en cuenta los cambios ya es uno de los retos del futuro para las poblaciones andinas. De hecho, el agua que proviene de los glaciares es muy esencial para las poblaciones que viven al oeste de la cordillera andina aguas abajo, principalmente durante la estación seca en Bolivia y Perú (Francou, *et al*, 2012). Los cambios que se experimentan en el océano y en tierra firme, y en particular el descenso de los glaciares y la menor extensión de los hielos marinos en el hemisferio norte, el espesor de los hielos marinos, acortamiento de las estaciones gélidas en lagos y ríos, el aumento de las temperaturas del suelo, así como el aumento de nivel del mar, son indicaciones adicionales de que el planeta se está calentando (IPCC, 2007).

2.2.11. El cambio climático en el Perú.

El Perú cuenta con una importante y gran riqueza glaciaria, puesto que sus reservas sólidas de agua dulce son comúnmente utilizadas para el consumo humano y para las diferentes actividades productivas, ya sea agricultura, generación eléctrica, minería, entre otras. Sin embargo, los glaciares de los Andes Tropicales están experimentando un preocupante retroceso (MINAM, 2010). En el último Inventariado de Glaciares del Perú se registró un total de 2,679 glaciares ubicados en 19 cordilleras nevadas, que cubren una superficie de 1,298.6 km² en los Andes del Perú (UGRH-ANA) (COP20, 2014).

La acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera son las principales causas del cambio climático; actualmente las sequías, inundaciones, huracanes, etc, los procesos de desertificación traen consigo una serie de consecuencias socio-económicas en países sudamericanos tales como Ecuador, Brasil, Perú, Bolivia, Chile y Argentina (Sanchez & Mejia, 2007). Así mismo el Perú, un país especialmente vulnerable al cambio climático, se debe en gran medida, a la presencia de grandes pendientes en los Andes, que son propensas a la erosión y, por tanto, a los desastres naturales; zonas áridas que son propensas a la sequía y desertificación; entre otras causas (MINAM, 2012) es un país muy diverso y altamente vulnerable, en su territorio, más del 70% de los climas del mundo, equivalente de todas las zonas de vida del planeta (MINAM, 2012).

Por su gran sensibilidad al cambio climático, los glaciares tropicales sufren un dramático retroceso en todo el mundo, podrían estar sugiriendo que otros parámetros hidrometeorológicos podrían también estar sufriendo cambios significativos en la actualidad y probablemente, podrían acentuarse en las próximas décadas (SENAMHI, 2005). El retroceso glaciario y la disminución de la disponibilidad de agua es una de las mayores preocupaciones a nivel mundial. Además, los Países Andinos producen el 10% del agua del planeta, proveniente principalmente de ecosistemas alto-andinos y glaciares, los cuales drenan en su mayoría hacia la extensa Amazonía. La alteración de los caudales hídricos, tendrá un efecto dramático en la región tanto para el acceso a fuentes de agua, energía, agricultura, y como para la conservación de los ecosistemas naturales y en particular la Amazonía, que es considerada como el pulmón del mundo (CAN, 2008).

2.3. MARCO CONCEPTUAL

1. **Glaciar:** Son masa de hielo, componente de la criósfera y son conocidos por su alta sensibilidad, y su rapidez de respuesta a estos cambios, se califica como “centinelas del clima” (Francou, *et. al* 2012).
2. **Balance de masa:** Es un dato glaciológico, y la medición de los caudales de un es hidrológico, se estudia el conjunto de glaciar cada año y ver cómo evoluciona su masa, recurriendo a mediciones (Francou, *et. al* 2012).
3. **Masa glaciar:** es una reserva adicional de recurso hídrico y es de vital importancia para la humanidad (Rodriguez, 2009).
4. **Ablación:** Es cuando el glaciar pierde su masa y predomina frente a la acumulación durante un año, se encuentra debajo de la línea de equilibrio en la parte baja de un glaciar. (Francou, 2012).
5. **Cambio climático:** ocurre por la sobreacumulación de GEI en la atmósfera actualmente las sequías, inundaciones, huracanes, tifones, desertificación están trayendo consigo una serie de consecuencias socioeconómicas (Sanchez & Mejia, 2007).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ámbito o lugar de estudio

El glaciar Queñuani, ubicado en la comunidad de Chingo del distrito de Coasa de la provincia de Carabaya, Departamento Puno-Perú, está localizado entre 70°09' 48.40" 216 longitud oeste y 14°02' 08.19" latitud sur. A una altitud de 5137 msnm con una temperatura 217 ambiental promedio de 8°C, forma parte de la cordillera de Carabaya, región ecológico Janca o cordillera más alta del Perú, ubicada entre los 5240 msnm y la mínima es 5100 msnm, el glaciar Queñuani tiene un clima polar gélido, con zonas rocosas, pendientes accidentadas, con una superficie de 2.14ha. Del glaciar se generan varias fuentes de agua, que alimenta el río Achasiri, del Distrito de Coasa, Carabaya (Puno).

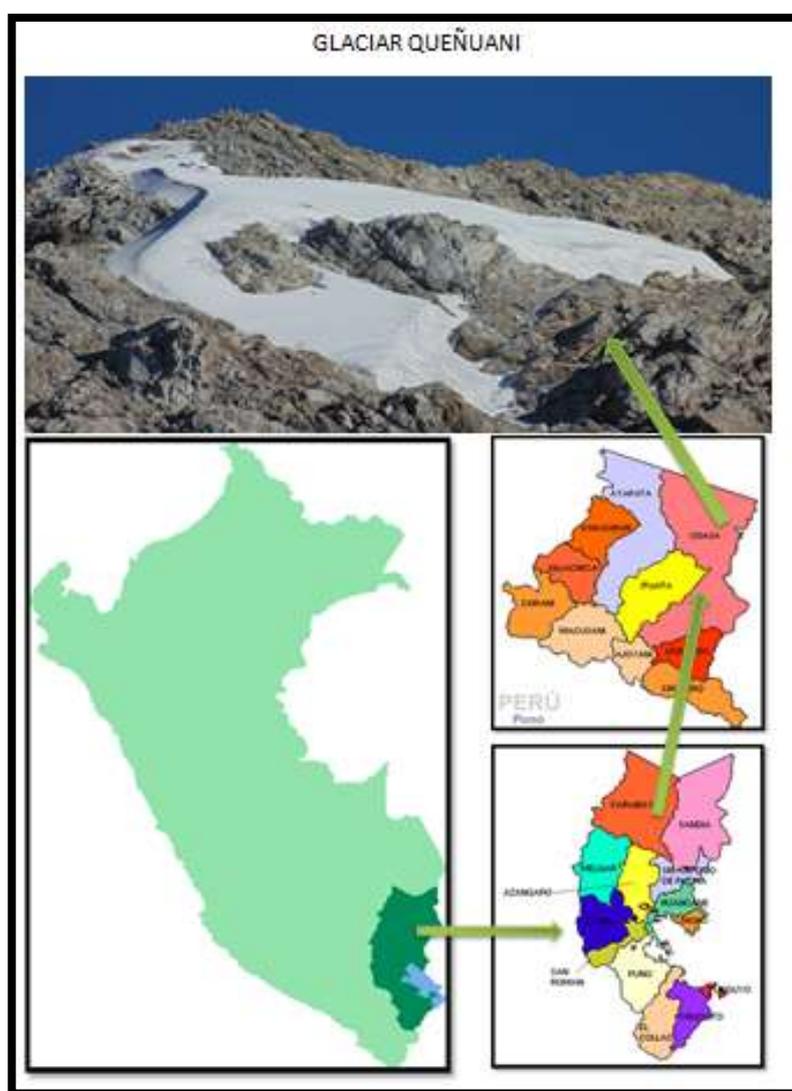


Figura 5. El Glaciar Queñuani, Cordillera Carabaya, región Puno en el 2016- 2017.

3.4. Metodología

La metodología que se aplicó para esta investigación es el método glaciológico directo, para hallar el balance de masa, utilizando red de balizas y pozos de acumulación.

El método glaciológico estima la pérdida o ganancia de masa de un glaciar en un periodo de tiempo determinado a partir de mediciones de campo, balizas en la zona de ablación y pozos/perforaciones de nieve/hielo en la zona de acumulación.



Figura 6. Puntos de instalación de balizas y pozos en el Glaciar Queñuani, Cordillera Carabaya, Setiembre 2016 a setiembre 2017.

BALANCE DE MASA:

Se traza una línea de equilibrio (línea imaginaria) la que dividirá el glaciar en dos zonas una de acumulación y otra de ablación. Luego se instalará una red de balizas y pozos de acumulación; que tiene por objetivo comparar la cantidad de hielo/nieve que gana o pierde el glaciar.

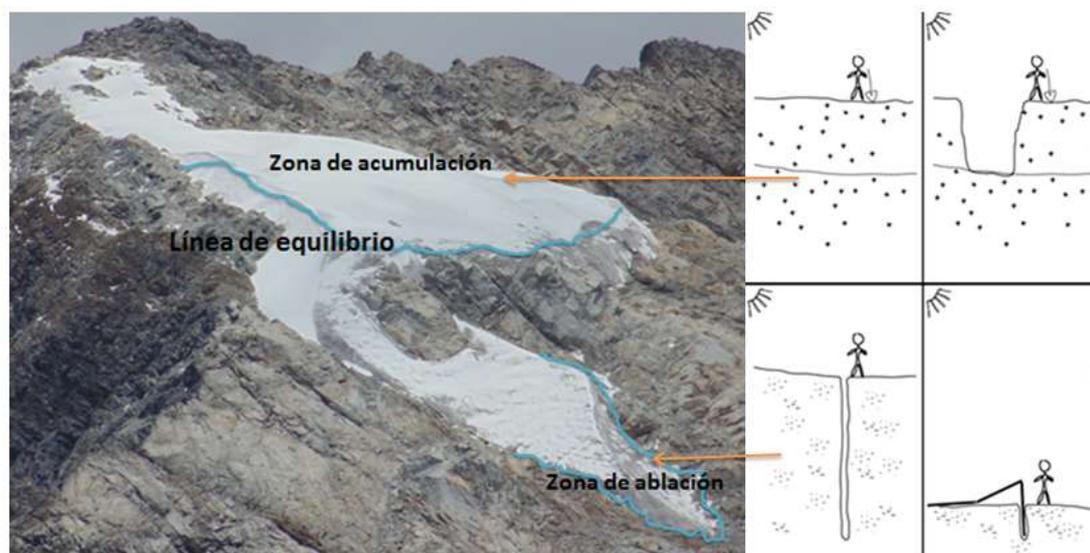


Figura 7. Método glaciológico directo realizado por el ANA, 2014.

3.4.1. Calcular el balance de masa del Glaciar Queñuani en periodo de precipitación.

Frecuencia y horario de muestreo

Las mediciones se realizaron de acuerdo a la pérdida o ganancia de masa glaciar para la época de precipitación, se utilizó una wincha métrica, cada muestreo entre los meses de setiembre a diciembre (2016), marzo, agosto y setiembre (2017).

Para estimar el balance de masa en la zona de ablación se realizó con instalaciones de red de balizas, realizando perforaciones con perforadora manual, en el cual se instalaron 5 balizas de tubo PVC de una pulgada de diámetro en diferentes partes de la zona de ablación, realizando perforaciones con profundidades de 5 metros, cada una de estas balizas fueron referenciadas para su respectivo monitoreo.

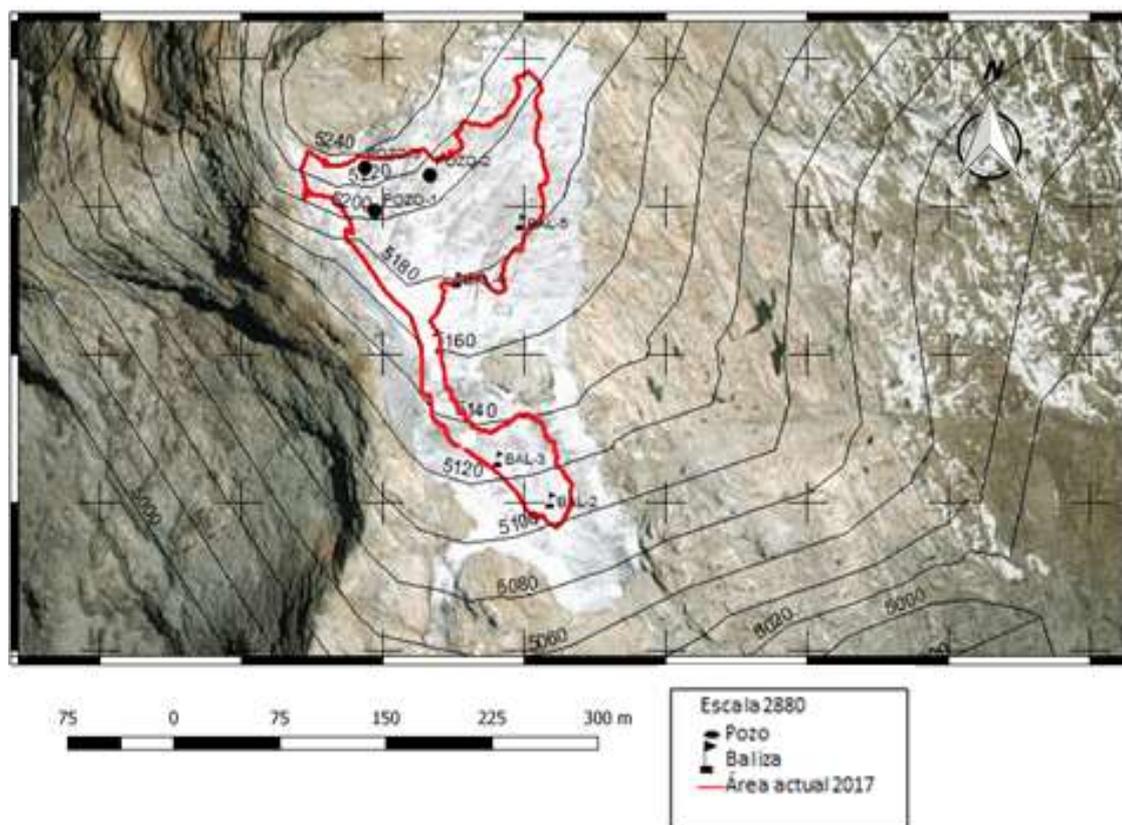


Figura 8. Ubicación de pozos y balizas, en el Glaciar Queñuani, Cordillera Carabaya, periodo setiembre 2016- setiembre 2017.

El procedimiento para la instalación:

Luego de trazar la línea imaginaria del glaciar, en la parte baja, se encuentra un lugar en donde se pueda colocar la baliza, un lugar plano de preferencia, donde no haya peligro (figura 14 y 15), a continuación tomamos la perforadora manual y empezamos a girarla ejerciendo presión para facilitar la perforación y la medición: se realiza, cada dos meses, según el cronograma de actividades, se realizó cada muestreo entre los meses de setiembre, diciembre (2016), marzo, agosto y setiembre (2017) al final del año hidrológico.

Para estimar el balance de masa en la zona de acumulación se realizó 3 perforaciones de 1m^2 hasta llegar a la capa basal, manualmente con pala y pico. En el cual se introdujo un tubo de PVC de 10 cm de diámetro, con una altura de 5m que sobresale del pozo para hallar la densidad (tabla 2), para las mediciones se referencio en el tubo.

Tabla 2. Detalle del cálculo de balances de masa para el año hidrológico, realizado en el Glaciar Queñuani, entre setiembre 2016 a setiembre 2017.

Rango altitudinal (m)	Área (ha)	Área relativa (ha)	N° de baliza o pozo modo de cálculo del balance de masa por rango altitudinal
5240-5220	0.1431	0.0560	pozo 3
5220-5200	0.3394	0.1590	promedio entre pozo 1 y 2
5200-5180	0.8768	0.4100	baliza 5
5180-5160	0.2832	0.1320	baliza 4
5160-5140	0.1000	0.0500	promedio entre baliza 4 y 3
5140-5120	0.2469	0.1150	baliza 3
5120-5100	0.1490	0.0690	baliza 2
5100-5080	0.0010	0.0001	promedio entre baliza 2 y 3
	2.1394	0.9911	

Descripción de materiales y equipos utilizados

Los materiales que se utilizaron durante la toda la investigación, en el proceso de obtención de datos y en el procesado de resultados, para la ubicación de puntos para la instalación de balizas y perforación para los pozos de acumulación se utilizó un GPS garmin, y la perforación para las balizas se realizó con una perforadora de nieve manual, para medir las balizas para luego ser introducidas se midió con una wincha métrica y se introdujo tubos de PVC de 2cm de diámetro y para ser referenciadas se utilizó un plumón indeleble y para cavar los pozos de acumulación se realizó manualmente con pala y pico para medir la acumulación en los pozos que fueron de un metro cuadrado, en una de las esquinas se introdujo un tubo de PVC de 10 cm de diámetro, y para las anotaciones de

datos y mediciones se utilizó libreta de campo con su lapicero y para comprobar con imágenes, se usó una cámara fotográfica de 29 mega pixeles. El procesado de resultados se realizó en un equipo de cómputo, Microsoft 2010, la gráfica de mapas se realizó en el programa Qgis 7.2.1. Versión libre.

Variables a ser analizados

Balance de masa glaciológico

Con este método se realiza la medición directa del espesor de hielo y nieve de la superficie del glaciar a ser estudiada, de un año hidrológico, y para hallar el proceso de ablación, se realiza mediante esta ecuación (Leonardini, 2012):

$$b_n = \rho_0 \Delta_z + \rho \Delta_y$$

Donde b_n es el balance de masa, ρ_0 y ρ son las constantes de densidad relativa del hielo (0.9), la nieve (0.4) respectivamente y Δ_z y Δ_y son las variaciones de espesor de hielo y nieve respectivamente.

$$b_n = \sum_i \rho_i h_i$$

Donde ρ_i representa la densidad relativa de la muestra de altura h_i .

$$Bn = \sum_{j=1}^{j=8} b_n^j \left(\frac{S_j}{S_g} \right)$$

Donde b_n^j es el balance de masa del rango altitudinal j ; S_j es el área del rango altitudinal j y S_g es el área total del glaciar.

Pruebas estadísticas

Se utilizó las medidas de tendencia central y de dispersión.

Media

También conocida como promedio, ésta importante medida de tendencia central se expresa de esta manera en términos matemáticos:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

Dónde:

X_i = se refiere a todo y cada uno de los elementos de la muestra

n = es el número total de elementos en la muestra.

Varianza y desviación estándar

$$\sigma^2 = \frac{\sum (x_i - \mu)^2}{N}$$

Donde:

x_i = Observaciones individuales de la población

μ = Media aritmética poblacional

N = Número de observaciones de la población

La desviación estándar poblacional se calcula con:

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \mu)^2}{N}}$$

La varianza de la muestra se calcula con:

$$s^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

donde:

x_i = observaciones individuales de la muestra

\bar{x} = media aritmética de la muestra

n = número de observaciones de la muestra

La desviación estándar de una muestra se calcula con:

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

ANÁLISIS DE VARIANZA:

Esto con el fin de conocer las posibles variaciones tanto en la acumulación y ablación de nuestros puntos de muestreo y las épocas, utilizaremos un modelo lineal aditivo.

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + T_j + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

μ = Efecto de la media

B = Balizas y pozos

T = Épocas

ε = Error experimental

$i = 1, 2, 3 \dots$

$j = 1, 2$

Para realizar análisis de muchas variables, como el caso de datos de nieve, hielo, ablación y acumulación se utilizó los:

ANÁLISIS CLUSTER

Es un análisis de interdependencias para relación de casos, donde los grupos sean homogéneos, en nuestro caso las características físicas y químicas del agua por estaciones, se ejecutó mediante el programa InfoStat, versión libre.

3.4.2. Calcular el balance de masa del Glaciar Queñuani en periodo de estiaje

Frecuencia y horario de muestreo

El procedimiento para la instalación en el periodo de estiaje se trazó una línea imaginaria del glaciar, en la parte baja, se encuentra un lugar en donde se pueda colocar la baliza, un lugar plano de preferencia, donde no haya peligro. Para estimar el balance de masa en la zona de ablación se realizó con instalaciones de red de balizas, realizando perforaciones

con perforadora manual, en el cual se instalaron 5 balizas de tubo PVC de una pulgada de diámetro en diferentes partes de la zona de ablación, realizando perforaciones con profundidades de 5 metros, cada una de estas balizas fueron referenciadas para su respectivo monitoreo.

Para estimar el balance de masa en la zona de acumulación se realizó 3 perforaciones de 1m² hasta llegar a la capa basal, manualmente con pala y pico. En el cual se introdujo un tubo de PVC de 10 cm de diámetro, con una altura de 5m que sobresale del pozo para hallar la densidad, para las mediciones se referencio en el tubo. La medición: se realizó, cada dos meses, según el cronograma de actividades.

Materiales y equipos utilizados

Los materiales que se utilizaron durante la investigación, se utilizó un GPS garmin para la ubicación de puntos e instalación de balizas y perforación para los pozos de acumulación y la perforación para las balizas se realizó con una perforadora de nieve manual, para medir las balizas para luego ser introducidas se midió con una wincha métrica y se introdujo tubos de PVC de 2cm de diámetro y para ser referenciadas se utilizó un plumón indeleble y para cavar los pozos de acumulación se realizó manualmente con pala y pico para medir la acumulación en los pozos que fueron de un metro cuadrado, en una de las esquinas se introdujo un tubo de PVC de 10 cm de diámetro, y para las anotaciones de datos y mediciones se utilizó libreta de campo con su lapicero y para comprobar con imágenes, se usó una cámara fotográfica de 29 mega pixeles. El procesado de resultados se realizó en un equipo de cómputo, Microsoft 2010, la gráfica de mapas se realizó en el programa Qgis 7.2.1. Versión libre.

Variables a ser analizados

Balance de masa glaciológico

Este método ayuda a sustentar la medición directa del espesor de hielo y nieve de la superficie del glaciar, de un año hidrológico, para hallar el proceso de ablación, se realiza mediante la siguiente ecuación (Leonardini, 2012).

$$b_n = \rho_0 \Delta_z + \rho \Delta_y$$

Donde b_n = es el balance de masa, ρ_0 y ρ = son las constantes de densidad relativa del hielo (0.9) y la nieve (0.4) respetivamente y Δ_z y Δ_y = son las variaciones de espesor de hielo y nieve respectivamente.

$$b_n = \sum_i \rho_i h_i$$

Donde ρ_i = representa la densidad relativa de la muestra de altura h_i .

$$B_n = \sum_{j=1}^{j=8} b_n^j \left(\frac{S_j}{S_g} \right)$$

Donde b_n^j = es el balance de masa del rango altitudinal j ; S_j = es el área del rango altitudinal j y S_g = es el área total del glaciar.

Método estadístico:

Se utilizó las medidas de tendencia central y de dispersión.

Media

También conocida como promedio, ésta importante medida de tendencia central se expresa de esta manera en términos matemáticos:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

Dónde:

X_i = se refiere a todo y cada uno de los elementos de la muestra

n = es el número total de elementos en la muestra.

Varianza y desviación estándar

$$\sigma^2 = \frac{\sum(x_i - \mu)^2}{N}$$

Donde:

x_i = Observaciones individuales de la población

μ = Media aritmética poblacional

N = Número de observaciones de la población

La desviación estándar poblacional se calcula con:

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \mu)^2}{N}}$$

La varianza de la muestra se calcula con:

$$s^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

donde:

x_i = observaciones individuales de la muestra

\bar{x} = media aritmética de la muestra

n = número de observaciones de la muestra

La desviación estándar de una muestra se calcula con:

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Análisis de varianza:

Esto con el fin de conocer las posibles variaciones tanto en la acumulación y ablación de nuestros puntos de muestreo y las épocas, utilizaremos un modelo lineal aditivo.

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + T_j + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

μ = Efecto de la media

B = Balizas y pozos

T = Épocas

ε = Error experimental

$i = 1, 2, 3 \dots$

$j = 1, 2$

Para realizar análisis de muchas variables, como el caso de datos de nieve, hielo, ablación y acumulación se utilizó el:

Análisis clúster

Es un análisis de interdependencias para relación de casos, donde los grupos sean homogéneos, en nuestro caso las características físicas y químicas del agua por estaciones. Mediante el programa InfoStat, versión libre.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 BALANCE DE MASA DEL GLACIAR QUEÑUANI EN LA CORDILLERA DE CARABAYA EN ÉPOCAS DE PRECIPITACIÓN Y ESTIAJE.

4.1.1. Medidas de dispersión de las balizas instaladas en el glaciar Queñuani.

Las medidas mínimas de ablación estuvieron de un rango de 15cm a 20cm, en el mes de agosto; siendo los puntos (B3) y (B5) los que registraron valores mínimos, mientras que los valores máximos se registraron en el mes de diciembre en un rango de 140cm a 170cm, siendo los puntos (B5) y (B2) los registros más elevados.

En el cuartil 3 (percentil 75) se registraron los datos más elevados, entre los meses de setiembre a diciembre con 163.75cm (B2). Y en el cuartil 1(percentil 25) se dieron los datos registrados más bajos entre los meses de marzo a agosto con 19 cm (B3); la desviación estándar indica que no hubo diferencia significativa entre los meses muestreados ya que se mostró similares medidas de disminución del glaciar.

Para hallar la variación en la zona de ablación en el año hidrológico 2016/ 2017, se instaló 5 balizas, de las cuales se registraron datos de cuatro balizas, ubicadas a diferentes altitudes, la mínima altitud de las balizas fue 5073msnm, y el máximo a 5187msnm y según (Molina. E. *et al*, 2016), en el glaciar Suyuparina, Cordillera de Vilcanota, Perú, se instalaron 7 balizas, encontrándose 5 balizas que fueron monitoreadas, debido al icecliffs (acantilado de hielo) y desplazamiento, los que tienen un efecto predominante en la ablación.

Tabla 3. Medidas de dispersión de las balizas, en el Glaciar Queñuani, Cordillera Carabaya, realizado de Setiembre 2016- Setiembre 2017.

	BAL 2	BAL 3	BAL 4	BAL 5
N	4	4	4	4
Mínima	19	15	20	19
Máxima	170	165	156	140
Suma	377	334	282	294
Media	94.25	83.5	70.5	73.5
Error estándar	37.19	36.11	31.53	31.59
Varianza	5534.25	5217	3977	3992.33
Desviación estándar	74.39	72.22	63.063	63.18
Mediana	94	77	53	67.5
percentil 25	25	19	21.5	19.25
percentil 75	163.75	154.5	137	133.75

4.1.1.1. Análisis de varianza

Para conocer la variación en la zona de ablación, se aplicó la prueba estadística de Análisis de Varianza (ANDEVA), en el cual nos muestra la $F_c = 0.09887$; $GL = 3$, que indica que no existe significancia al 0,05%. Por lo tanto, el registro de datos y el ANDEVA nos demuestra que la ablación en el Glaciar Queñuani, Cordillera de Carabaya es similar en todos los puntos de muestreo, lo que indica que los registros obtenidos no tuvieron variación en el tiempo ni en el espacio.

4.1.1.2. El clúster análisis

Para conocer en cuantos grupos se pueden dividir, y de que meses dependen las ablaciones, se realizó el análisis de clúster, luego se van agrupando de modo que los primeros en hacerlo son los más similares y al final, todos los subgrupos se unen en un único clúster.

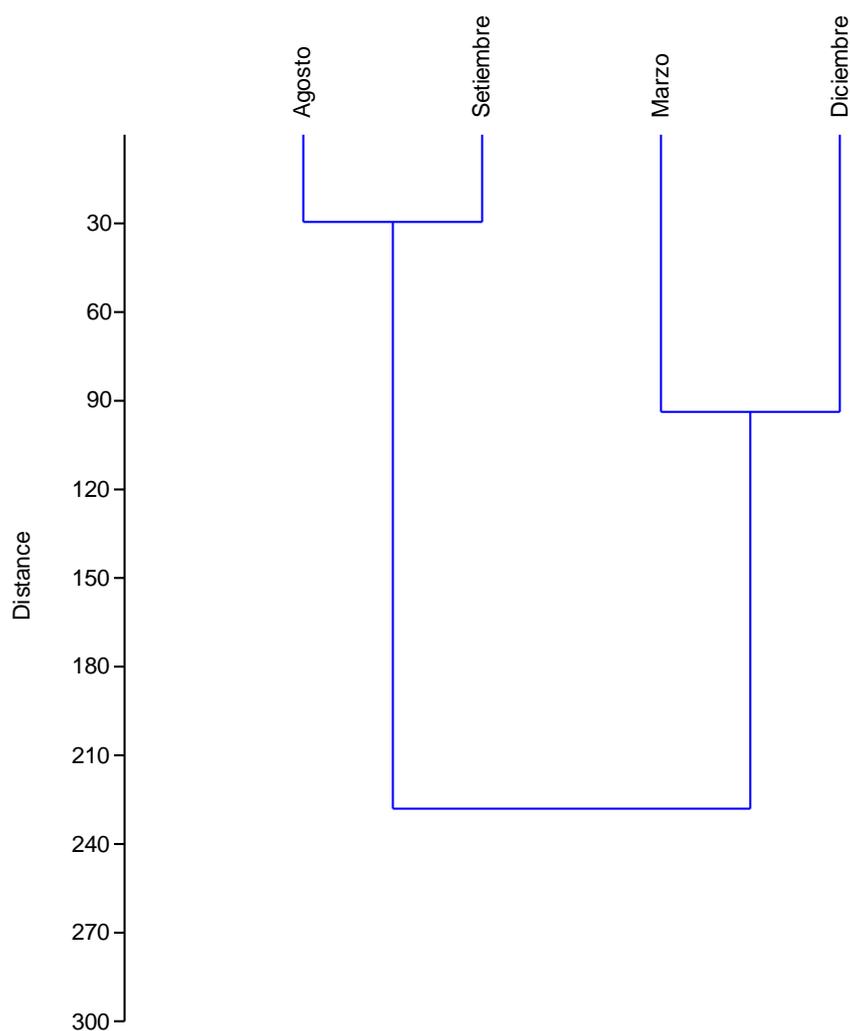


Figura 9. Dendrograma de la zona de ablación, del Glaciar Queñuani, Cordillera Carabaya, realizado de setiembre 2016 a setiembre 2017.

El análisis de clúster indica que dependen del mes de agosto donde se mostró una débil ablación, y en los meses de diciembre a marzo las ablaciones fueron similares, pero según (Molina.E. *et al*, 2016), en periodos de mayo- julio, julio a setiembre y setiembre a noviembre, encontraron gran dispersión en la zona de ablación, y se registró una alta ablación.

4.1.2.1 MEDIDAS DE DISPERSIÓN DE LOS POZOS INSTALADAS EN EL GLACIAR QUEÑUANI.

Las medidas mínimas estuvieron de un rango de 1cm a 7cm; siendo los puntos (P1) y (P3) el que registró valores mínimos, mientras que los máximos estuvieron en un rango de 54cm y 63cm, siendo los puntos (P2) y (P3) los datos registrados más altos.

En el cuartil 3(percentil 75) se registraron los datos más elevados, entre los meses de marzo y agosto con 63.75cm (P1). Y en el cuartil 1(25percentil) se dieron los datos registrados más bajos entre los meses de setiembre a diciembre con 11.5cm (P2).

Tabla 4. Medidas de dispersión en la zona de acumulación, Glaciar Queñuani, Cordillera Carabaya, setiembre 2016 a setiembre 2017.

	POZO 1	POZO 2	POZO 3
N	4	4	4
Mínima	1	2	7
Máxima	66	54	63
Suma	170	141	180
Media	42.5	35.25	45
Error estándar	14.42	11.455	12.80
Varianza	832.33	524.91	656
Desviación estándar	28.85	22.91	25.61
Mediana	51.5	42.5	55
percentil 25	12.25	11.5	19
percentil 75	63.75	51.75	61

Para hallar la variación en la zona de acumulación en el año hidrológico 2016/ 2017, se perforaron 3 pozos de acumulación, ubicadas a diferentes altitudes, mínima altitud 5184msnm, y el máximo a 5193msnm y según (fig. C, anexo) (Molina.E. *et al*, 2016), en el glaciar Suyuparina, Cordillera de Vilcanota, Perú, midieron las capas de una grieta, y los espesores son similares.

4.1.2.2. Análisis de varianza

Para conocer la ganancia o pérdida de la masa glaciar en la zona de acumulación se aplicó la prueba estadística de análisis de varianza (ANVA), donde nos muestra $F_c = 0.1529$; $GL = 2$; el cual indica que no existe significancia al 0.05%; lo que indica que no hubo

diferencias entre los meses, debido a que ocurrió similar ablación con respecto a las pozas de acumulación.

4.1.2.3. Clúster análisis

Para conocer en cuantos grupos se pueden dividir, y de que meses depende la acumulación de masa glaciaria, en los meses de marzo, agosto, setiembre nos muestran una alta acumulación, y el mes de diciembre se mostró una débil acumulación.

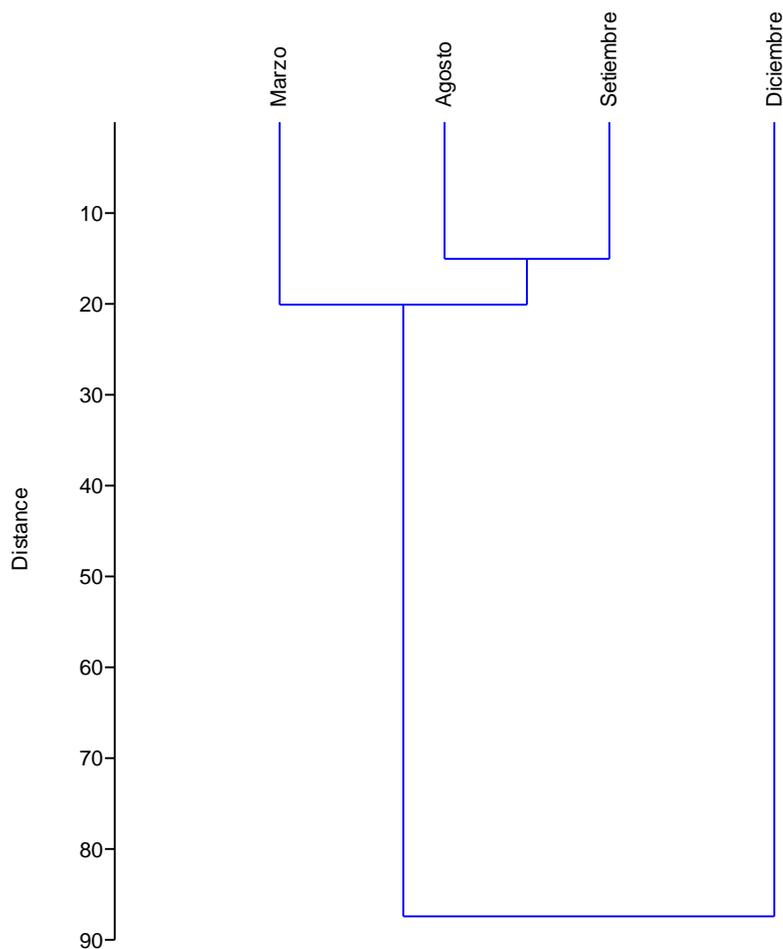


Figura 10. Dendrograma de la zona de acumulación en el Glaciar Queñuani, en la Cordillera Carabaya, realizado en setiembre 2016 a setiembre 2017.

Luego se van agrupando de modo que los primeros en hacerlo son los más similares y al final, todos los subgrupos se unen en un único clúster.

4.2. BALANCE DE MASA GLACIOLÓGICO

4.2.1. Balance de masa para la zona de ablación en el glaciar Queñuani

La variabilidad del balance de masa según las altitudes, para el año hidrológico 2016-2017; nos indica que a mayor altitud ocurre menor ablación, a una altitud de 5181 con un promedio de -2494 mm eq.a, y a menor altitud 5105 con un promedio de -2663 mm eq.a., (Tabla 5).

Tabla 5. Balance de masa para la zona de ablación en el Glaciar Queñuani, Cordilera de Carabaya. Setiembre 2016- setiembre- 2017.

Balizas	Altitud (msnm)	Balance de masa (mm eq. a).
1	5105	-2663
2	5123	-2432
3	5178	-1942
4	5181	-2494

En la Zona de ablación se encuentra un fuerte desbalance, eso ocurre en las diferentes altitudes del glaciar, en el glaciar Zongo (Bolivia) (Leonardini *et al.*, 2012), indica que el balance de masa es casi nulo (promedio= 3mm eq.a), de setiembre a diciembre se registran valores de balances de masa más bajos (promedio = - 109 mm eq.a) debido a un incremento en la radiación solar y a una disminución del albedo en la superficie.

4.2.2. Balance de masa para la zona de acumulación

El procedimiento consiste en identificar la capa basal que es la capa a partir de la cual se acumula la precipitación sólida correspondiente a un año hidrológico.

El balance de masa anual observado durante un año hidrológico, periodo entre 2016- 2017 es en gran medida que depende de la ablación de los meses de setiembre a diciembre con una varianza 54.5% de ablación anual.

Tabla 6. Balance de masa para la zona de acumulación, según sus altitudes, Glaciar Queñuani, Cordillera Carabaya. Periodo setiembre 2016 a setiembre 2017.

Pozos	Altitud (msnm)	Balance de masa (mm eq. a)
1	5205	585
2	5215	484
3	5230	624

La variabilidad del balance de masa según las altitudes, para el año hidrológico 2016-2017; nos indica que a mayor altitud hay mayor acumulación a 5230 con una acumulación de 624 mm eq.a.

4.2.3. BALANCE DE MASA DEL GLACIAR QUEÑUANI EN LA CORDILLERA DE CARABAYA EN ÉPOCA DE PRECIPITACIÓN.

Para hallar el balance de masa en mm eq.a, del Glaciar Queñuani, durante un año hidrológico en relación a la época de precipitación, se realizó mediante los diferentes rangos altitudinales, con su área.

Tabla 7. Balance de masa en época de precipitación en el Glaciar Queñuani, Cordillera Carabaya en setiembre 2016 a setiembre 2017.

Rango altitudinal	área (ha)	s/S (2016-2017)	bn(mm eq.a)	Balance ponderado (bn *s/S) (mm eq.a)
5240-5220	0.1431	0.0660	2480	16.4
5220-5200	0.3394	0.1580	2330	36.9
5200-5180	0.8768	0.4090	-2231	-912.5
5180-5160	0.2832	0.1320	-2072	-273.5
5160-5140	0.1000	0.0460	-2151.5	-99
5140-5120	0.2469	0.1150	-2512	-288
5120-5100	0.1490	0.0690	-2787	-178.4
5100-5080	0.0010	0.0001	-2649.5	-0.03
Sumatoria	2.1394	1		-1698.13

En la zona tropical las estaciones son imperceptibles por lo que al año lo dividimos en tres épocas, en concordancia con o sugerido por (Monheim, 1995).

El balance de masa para el glaciar Queñuani, Cordillera de Carabaya en época de lluvias: (diciembre, enero, febrero y marzo), se obtuvo un balance de masa negativo $bn = -1698.13$ mm eq.a, el cual nos indica que está en un fuerte desbalance. Las precipitaciones en el mes setiembre fue de características variables, la temperatura promedio en Puno (17.0°C). Macusani (-11.0°C) (SENAMHI, 2016). Con balance de masa más baja, debido al aumento progresivo de precipitaciones se mostró una débil ablación. Sin embargo en el glaciar Zongo (Bolivia) (Leonardini *et al.*, 2012), indica que el balance de masa es casi nulo (promedio = 3mm eq.a) debido a un incremento del albedo, de setiembre a diciembre se registran valores de balances de masa más bajos (promedio = -109 mm eq.a) debido a un incremento en la radiación solar y a una disminución del albedo en la superficie.

En el glaciar Zongo, Cordillera Real (Bolivia) (Leonardini, 2010), el balance de masa anual observado en el periodo 1993-2008 es en gran medida dependiente de la ablación de los meses de octubre a febrero. Estos meses explican el 91% de la varianza del balance de masa anual. Este resultado coincide al 95% estimado por (Francou *et al.* 2003) para el Glaciar Chacaltaya en la Cordillera de los Andes (Bolivia) en los meses de octubre a abril (Leonardini *et al.*, 2012).

Balance de masa para el glaciar Queñuani, Cordillera Carabaya en época de transición (abril, setiembre, noviembre) se obtuvo $bn = +66.7$, el cual indica que hubo acumulación en época de transición.

Tabla 8. Balance de masa, época de transición en el Glaciar Queñuani, en la Cordillera de Carabaya entre setiembre 2016 a setiembre 2017.

Rango altitudinal	área (ha)	s/S (2016-2017)	bn (mm eq.a)	Balance ponderado (bn *s/S) (mm eq.a)
5240-5220	0.1431	0.066	220	14.5
5220-5200	0.3394	0.1580	222	35.1
5200-5180	0.8768	0.4090	-215	-87.3
5180-5160	0.2832	0.1320	292	38.5
5160-5140	0.1000	0.0460	273.5	12.6
5140-5120	0.2469	0.1150	255	29.3
5120-5100	0.1490	0.0690	351	24
5100-5080	0.0010	0.0001	303	0.03
Sumatoria	2.1394	1		66.7

4.2.4. BALANCE DE MASA DEL GLACIAR QUEÑUANI EN LA CORDILLERA DE CARABAYA EN ÉPOCAS DE ESTIAJE.

Para obtener el balance de masa del glaciar Queñuani en épocas de estiaje, se realizó análisis de los datos para la época, haciendo un balance entre los rangos altitudinales, con respecto al área del glaciar.

Tabla 9. Balance de masa, época de estiaje para el Glaciar Queñuani, Cordillera de Carabaya, realizado de setiembre 2016 a setiembre 2017.

Rango altitudinal	área (ha)	s/S (2016-2017)	bn(mm eq.a)	Balance ponderado (bn *s/S) (mm eq.a)
5240-5220	0.1431	0.0660	252	16.6
5220-5200	0.3394	0.1580	222	35.1
5200-5180	0.8768	0.4090	-136	-55.6
5180-5160	0.2832	0.1320	-162	-21.4
5160-5140	0.1000	0.0460	-337	-15.5
5140-5120	0.2469	0.1150	-175	-20
5120-5100	0.1490	0.0690	-339	-23
5100-5080	0.0010	0.0001	-257	-0.03
Sumatoria	2.1394	1		-83.8

Balance de masa para la época seca según (Monheim, 1995): abril, mayo, junio, julio y agosto, nos indica que está en desbalance $bn = -83.8$ mm eq. debido a las precipitaciones sobre los rangos normales, ligera a moderada intensidad con déficit de lluvia para esta zona, no se reportaron lluvias significativas, menor a 1.0mm en todo el mes (SENAMHI, 2016).

4.2.5. BALANCE NETO ESPECÍFICO

Balance neto

Finalmente, para calcular el balance de masa para todo el glaciar dividimos en 8 rangos altitudinales j (cada 20m) y se pondera cada rango por área relativa respectiva (balance de masa específico, Bn).

Tabla 10. El balance neto según el rango altitudinal, del Glaciar Queñuani, Cordillera Carabaya, realizado en setiembre 2016 a setiembre 2017.

Rango altitudinal	área (ha)	s/S (2016-2017)	bn (mm eq.a)	Balance ponderado (bn *s/S) (mm eq.a)
5240-5220	0.1431	0.0660	624	41.2
5220-5200	0.3394	0.1580	534.5	84.5
5200-5180	0.8768	0.4090	-2494	-1020
5180-5160	0.2832	0.1320	-1942	-256
5160-5140	0.1000	0.0460	-2187	-100.6
5140-5120	0.2469	0.1150	-2432	-279.6
5120-5100	0.1490	0.0690	-2663	-183.7
5100-5080	0.0010	0.0001	-2547	-0.3
Sumatoria	2.1394	1	-13106.5	-1714.5

Para este año hidrológico se obtuvo un balance de masa negativo $bn = -1714.5$ mm eq.a, el cual nos indica que está en un fuerte desbalance, el glaciar Incachiriasca de la cordillera Vilcabamba, en la región Cusco, se encuentra también en un fuerte desbalance $bn = -1486$ mm eq.a (Nieto, 2014). Y en el glaciar Zongo, cordillera Real en Bolivia, encuentra un balance positivo de $bn = 257$ mm eq.a. (Leonardini, 2010). Los cambios en el balance de masa de los glaciares en los Andes, son impulsados por cambios en la temperatura y la precipitación. Sin embargo, los glaciares del lado oriental de los Andes tropicales reciben grandes cantidades de precipitación y por lo tanto son especialmente sensibles a la variabilidad de la temperatura en el Atlántico tropical. Y (Gurgiser, 2013), en el glaciar Shallap, Cordillera Blanca (región Ancash) obtuvo balance de masa específico negativa (-320 mm eq. a) en el primer año y positivo ($+510$ mm eq. a) en el segundo año.

El glaciar que se muestra en la (figura 11), es un glaciar muy importante, debido a que es fuente de agua dulce que sostiene a las familias de la Comunidad de Chingo, en el

Distrito de Coasa, Carabaya, si se sigue la tendencia que se observa, según la fotografía diciembre 2016, se puede afirmar que todo el glaciar se encuentra en ablación, porque falta una zona amplia de acumulación en la parte alta. Y esto nos indica que va desaparecer muy rápido.



Figura 11. Glaciar Queñuani, Cordillera Carabaya en ablación, periodo diciembre 2016.

V. CONCLUSIONES

En el periodo de precipitación, los valores del balance de masa registran un valor de -1698.13 mm eq.a, balance de masa más baja.

En el periodo de transición (abril, setiembre, noviembre) presenta un promedio positivo de +66.7 mm eq.a.

La época de estiaje (mes de abril al mes de agosto), se registra un valor de - 83.8 mm eq.a, apreciándose una débil ablación.

El balance de masa neto específico para todo el periodo de año hidrológico 2016- 2017, es negativo $b_n = -1714.5 \text{ mm eq.a}$, el cual indica que el Glaciar Queñuani, Cordillera Carabaya está en fuerte desbalance.

VI. RECOMENDACIONES

Los glaciares tropicales son muy importantes, debido a que son principal fuente de vida para la humanidad, para ello deben ser estudiadas, investigadas en la manera de poderlas conservar, se recomienda:

- Ejecutar estudios multidisciplinarios y temporales (anuales y quinquenales).
- Realizar estudios más detallados de medición y análisis de la precipitación y factores importantes que influyen en el balance de masa.
- Instalar estaciones meteorológicas cercanas a la cordillera de Carabaya para poder comparar datos climatológicos
- Adquisición de fotos satelitales para tener un monitoreo actualizado de los procesos de desglaciación.

VII. REFERENCIAS

- Aguilón A., Barrales H., Galván M. (2011). Ambientes glaciares. Ciencias de la Tierra. UNAM- Facultad de Ciencias. 29p.
- Autoridad Nacional del agua (ANA), (2014). Inventario Nacional de glaciares y lagunas. Inventario de glaciares del Perú. Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos- Huaraz. 56p.
- Autoridad Nacional del agua (ANA), (2014). Inventario de glaciares del Perú (2da actualización). Autoridad nacional del agua. Dirección de conservación y planeamiento de recursos hídrico. Unidad de glaciología y recursos hídricos. 56p.
- Benavides O. & León E., (2007). Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. IDEAM- METEO008- 2007. Sub Dirección de Meteorología. 102p.
- Callupe, C. (2012). Geología, petrografía y geoquímica de los volcánicos cenozoicos de la Cordillera del Huanzo- Sur del Perú. UNI. Lima- Perú. 121p.
- Comunidad Andina CAN- LA. (2013). Glaciares andinos: la necesidad de una agenda transversal Latinoamérica. 28p.
- Comunidad Andina CAN- SG, PNUMA, IRD (2007). El fin de las cumbres nevadas- glaciares y cambio climático 150 en la Comunidad Andina. 104p.
- CAN, (2008). El Cambio Climático no tiene fronteras. Impacto del cambio climático en la comunidad andina. Secretaría general de la comunidad andina. Lima -Perú 40p.
- Castro, E. (1998). Parque Nacional de Cutivireni. Cordillera de Vilcabamba- Perú. Boletín de Sociedad Geográfica de Lima. Volumen N° 111. Lima- Perú. 22p.
- Ceballos, J. & Tobón, E. (2007). Glaciares colombianos: evolución reciente y estado actual. Boletín de Geología, Universidad Industrial de Santander. Vol. 29, núm. 2, Bucaramanga- Colombia. 143-151 p.
- CONAM, (2002). Estrategia Nacional de Cambio Climático. Comisión Nacional de Cambio climático. Version N° 8. Perú. 51p.

- COP20., MINAM, (2014). Perú, Pais de montaña, los desafíos frente al cambio climatico. Primera edición, 134p.
- Francou, B., Rabatel, A., Soruco, A., Sicart, J.E., Silvestre, E.E., Ginot, P., Cáceres, B., Condom, T., Villacís, M., Ceballos, J.L., Lehmann, B., Anthelme, F., Dangles, O., Gomez, J., Favier, V., Maisincho, L., Jomelli, V., Vuille, M., Wagnon, P., Lejeune, Y., Ramallo, C., & Mendoza, J. (2013). Glaciares de los Andes Tropicales víctimas del Cambio Climático. 100p
- GEOESTUDIOS LTDA., (2008). Manual de glaciología. Apuntes de Clase. Ministerio de Obras públicas. Direccion de aguas. Volumen II. Santiago- Chile. 341p.
- GREENPEACE, 2004. Cambio climático: Futuro negro para los glaciares. 34p.
- Guardamino, S. (2014). Analisis de la evolución de las lagunas de alta montaña nena la Cordillera de Vilcabamba (Cusco y Apurimac) entre los años 1991- 2014, mediante métodos de sensoramiento remoto y SIG. Facultad de letras y Ciencias Humanas. Tesis PUCP. Lima- Perú. 95p.
- Gurgiser W., Marzeion B., Nicholson L., Ortner M., and Kaser G (2013). Modeling energy and mass balance of Shallap Glacier, Peru. Published in The Cryosphere. 16p.
- Hanshaw, M. N; Bookhagen, B. (2014). Glacial areas, lake areas, and snow lines from 1975 to 2012: status of the Cordillera Vilcanota, including the Quelccaya Ice Cap, northern central Andes, Perú. The Cryosphere 8. 18p.
- Hoffmann, D. (2008). Consecuencias del retroceso glaciar en la Cordillera Boliviana. Pirineos, 163 (77–84p).
- Huggel, C; Salzmann, N; Rohrer, M; Silverio, W; Mark, B G; Burns, P; Portocarrero, C. (2013). Glacier changes and climate trends derived from multiple sources in the data scarce Cordillera Vilcanota region, southern Peruvian Andes. The Cryosphere 7 (103–118). 17p.
- INAIGEM, (2016). Glaciares en extinción. Diagnóstico de la situación actual en el glaciar Condoray- Cordillera Chonta. Departamento Huancavelica. Informe técnico N° 21. Huaraz. 36p.

- IPCC, (2002). Cambio Climático y biodiversidad. Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio climático. Documento técnico V. 93p.
- IPCC, (2007). Cambio climático 2007. Informe de síntesis . Contribución de los grupos I, II, y III al cuarto informe de Evaluación del Grupo intergubernamental e expertos del cambio climático. Primera impresión. Ginebra- Suiza. 104p.
- Leonardini, (2010). Análisis mensual de los balances de masa glaciológico e hidrológico del Glaciar Zongo (Bolivia). Tesis de grado. Universidad Mayor de San Andres. La Paz- Bolivia. 136p.
- Leonardini. G, Sicart. J, Rabatel. A, Soruco. A, Ginot. P, Ramirez. E, (2012). Análisis del balance de masa mensual y anual del Glaciar Zongo (Bolivia). Revista Boliviana de Física 21, La Paz- Bolivia.6-11p.
- Mark, B., Stansell, N., Zeballos, G. (2017). The last deglaciation of Peru and Bolivia. Cuadernos de Investigación Geográfica Vol. 43. Issue 2, p591-628. 38p.
- MINAM, INAIGEM. (2016). Glaciares en extinción. Diagnóstico de la situación actual en la Cordillera la Raya (Cusco- Puno). Informe técnico N° 23. Huaraz- Perú. 36p.
- Molina. E, Sikos. F, Chaparro. N, Samata. J, Rado. M, y *et al.*, (2016). Iniciación de un monitoreo de balance de masa en el glaciar Suyuparina, en la Cordillera de Vilcanota, Perú. Revista Cambio Climático en los Andes tropicales: Vol. 2, número 1. Cusco- Peru.(03- 19)p.
- Monheim. F. (1956). Contribución a la climatología e hidrología de la Cuenca del Titicaca. Puno- Perú. 232p.
- Morales, B., García, J., Aramayo, A., (2012). Cambios climáticos globales investigaciones glaciológicas en la Cordillera de Huallanca y Cordillera Blanca. Glaciares de Chaupijanca y Pastoruri. Museo de Las Montañas Andinas. Lima- Perú. 92 p.
- MINAM, (2010). El Perú y el cambio climático. Segunda comunicación nacional del Perú a la convención del Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático 2010. Primera edición. Lima - Perú. 204p.

- MINAM. (2012). Informe Nacional del Estado del Ambiente 2009- 2011. (S. Gráfica, Ed.) (1ra edicion. 295p.
- Nieto, J.C. (2014). Monitoreo del glaciar Incachiriasca. SERNANP. Lima- Perú. 29p.
- Pariona. R. K. (2015). Cambio climático y efectos en el Nevado Huaytapallana. UNMSM, EAP de Física. Lima- Perú. 56p.
- Pasapera, G.J. (2012). Realidad actual de los glaciares tropicales usando técnicas de teledetección. Maestría en aplicaciones espaciales de alerta y respuesta temprana a emergencias. 29p.
- Portocarrero, C. (1995). Balances de glaciares y clima en Bolivia y Peru: impacto de los eventos ENSO. Bull. Inst. fr. études andines. 10p.
- Quirós, C. (2013). Impacto del cambio climático en los glaciares de las montañas Chollquepucro y Pariaqaqa (Perú). Geografía y ordenación del territorio. Madrid. 51p.
- Robles, M. R. (2006). Explotación de recursos en la Cordillera Huayhuash: la minería y el turismo. Universidad Nacional de San Marcos (UNMSM). Lima- Perú. 34p.
- Rodriguez, C. P. (2009). Deglaciación de la cordillera Blanca- Perú y su relación con el efecto invernadero. Revista del desarrollo sostenible. 2-10p.
- Sanchez, V., & Mejia, R. R. (2007). El Cambio en el Perú. Lima- Perú. 8p
- Schauwecker, S., Rohrer, M., Acuña, D., Cochachin, A., Dávila, L., Frey, H., Giráldez, C., Gómez, J., Huggel, C., Jacques-Coper, M., Loarte, E., Salzmán, N., Vuille, M., (2014). Climate trends and glacier retreat in the Cordillera Blanca, Perú, revisited. In Global and Planetary Change. Lima, Perú. 119:85-97p
- SEMARNAT, (2009). Cambio climático. Ciencia, evidencia y acciones. Secretaria de Medio ambiente y Recursos naturales. Mexico. 93p.

- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología- SENAMHI. (2005). Escenarios Climáticos Futuros y Disponibilidad del Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Santa. F. Editorial CONAM, Primera ed, Lima- Perú. 32p.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología- SENAMHI. (2016). Boletín hidrometeorológico (setiembre 2016) Dirección Zonal Puno. 10p.
- Sevink, J. (2009). La Cordillera Blanca, un paisaje explicado. Materiales de lectura en geografía, clima y riesgo en ambientes de alta montaña. Edición española. Primera edición. 100p.
- Stansell, D., Rodbell, T., Licciardi, M., Sedlak, M., Schweinsberg, D., Huss, G., Delgado, M., Susan, H. (2015). Late Glacial and Holocene glacier fluctuations at Nevado Huaguruncho in the Eastern Cordillera of the Peruvian Andes. *Geology*, published online. 747(1-5) p.
- Tarbuck, J. & Lutgens, K. (2005). *Ciencias de la Tierra. Una introducción a la geología física*. 8va edición. Madrid. 712 (505- 535) p.
- UNESCO, (2014). *Climate change impacts on mountain regions of the world. Los impactos del cambio climático en las regiones montañosas del mundo*. Edition/Edición: David McDonald, Víctor Guardia. 105p.
- Vargas, P. (2009). *El Cambio Climático y Sus Efectos en el Perú*, Banco Central de Reserva del Perú. Serie de Documentos de Trabajo 1–59p.

ANEXOS



Fig. 12. Glaciar Queñuani, Cordillera Carabaya, en el año 2016.



Fig. 13. Ubicación de la zona de ablación en el Glaciar Queñuani, Cordillera Carabaya, en setiembre 2016.



Fig. 14. Las balizas listas para ser introducidas en la Zona de ablación, Glaciar Queñuani, Cordillera Carabaya, setiembre 2016- setiembre 2017.



Fig.15. Medición y toma de muestra de las balizas, Glaciar Queñuani, Cordillera Carabaya, diciembre 2016- setiembre 2017.



Fig. 16. Ubicación para la excavación del pozo de acumulación, Glaciar Queñuani, Cordillera Carabaya, diciembre 2016- setiembre 2017.



Fig. 17. Medición de la nieve acumulada, Glaciar Queñuani, Cordillera Carabaya (setiembre 2016- setiembre 2017)



Fig. 18. Medición de la acumulación mostrando la capa basal, Glaciar Queñuani, Cordillera Carabaya (setiembre 2016- setiembre 2017).



Fig. 19. Midiendo el descenso del glaciar Queñuani, Cordillera Carabaya (setiembre 2016- setiembre 2017).



Fig. 20. Descensos monitoreados, parte alta del Glaciar Queñuani, Cordillera Carabaya (setiembre 2016- setiembre 2017).



Fig. 21. Lado frontal del glaciar Queñuani, Cordillera (setiembre 2016- setiembre 2017)



Fig. 22. La formación del pequeño lago en la parte ata del glaciar, en un año hidrológico (Setiembre 2016- setiembre 2017)

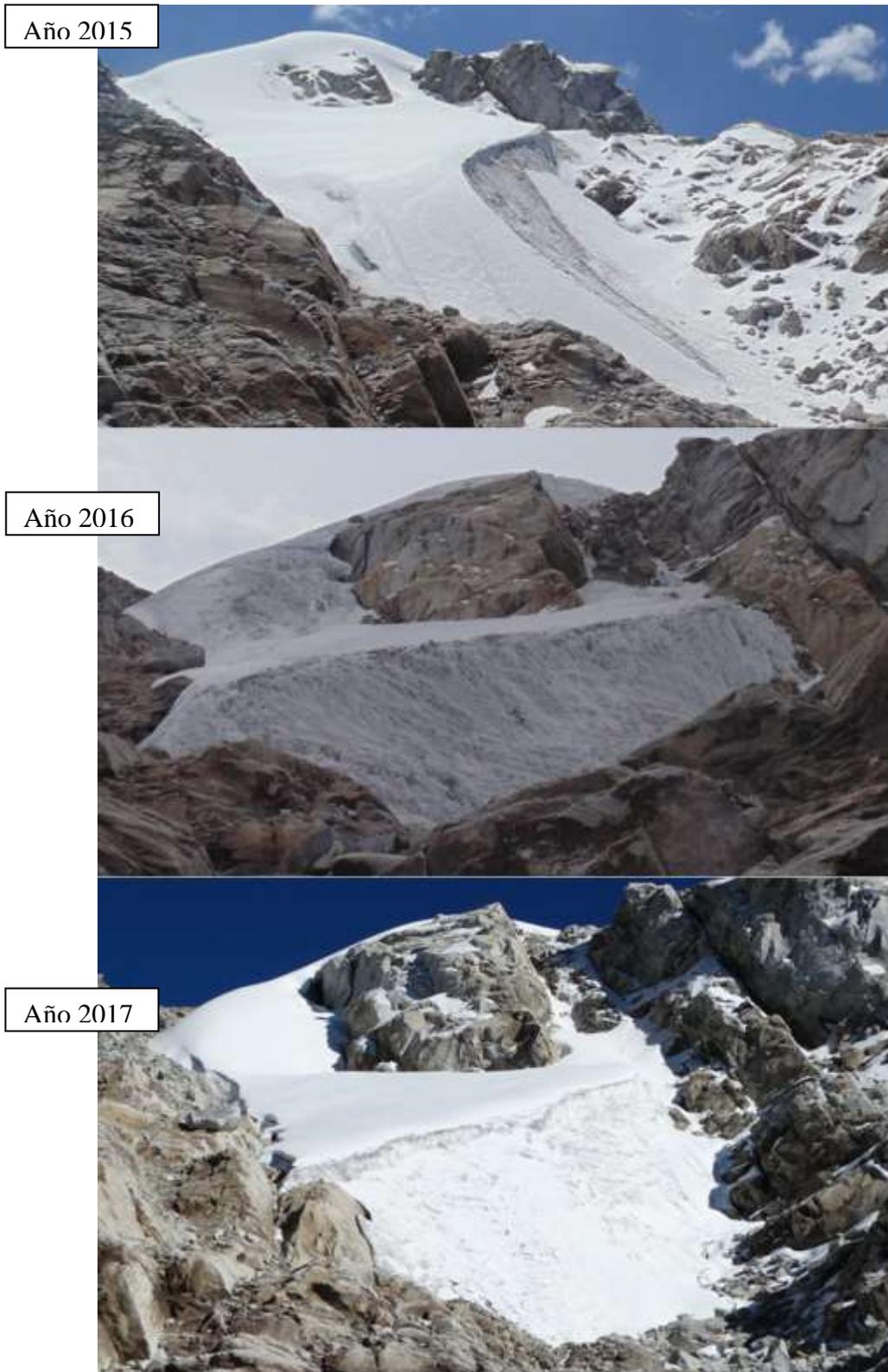


Fig. 23. Evolución del frente glaciar Queñuani, Cordillera Carabaya (setiembre 2016- setiembre 2017).

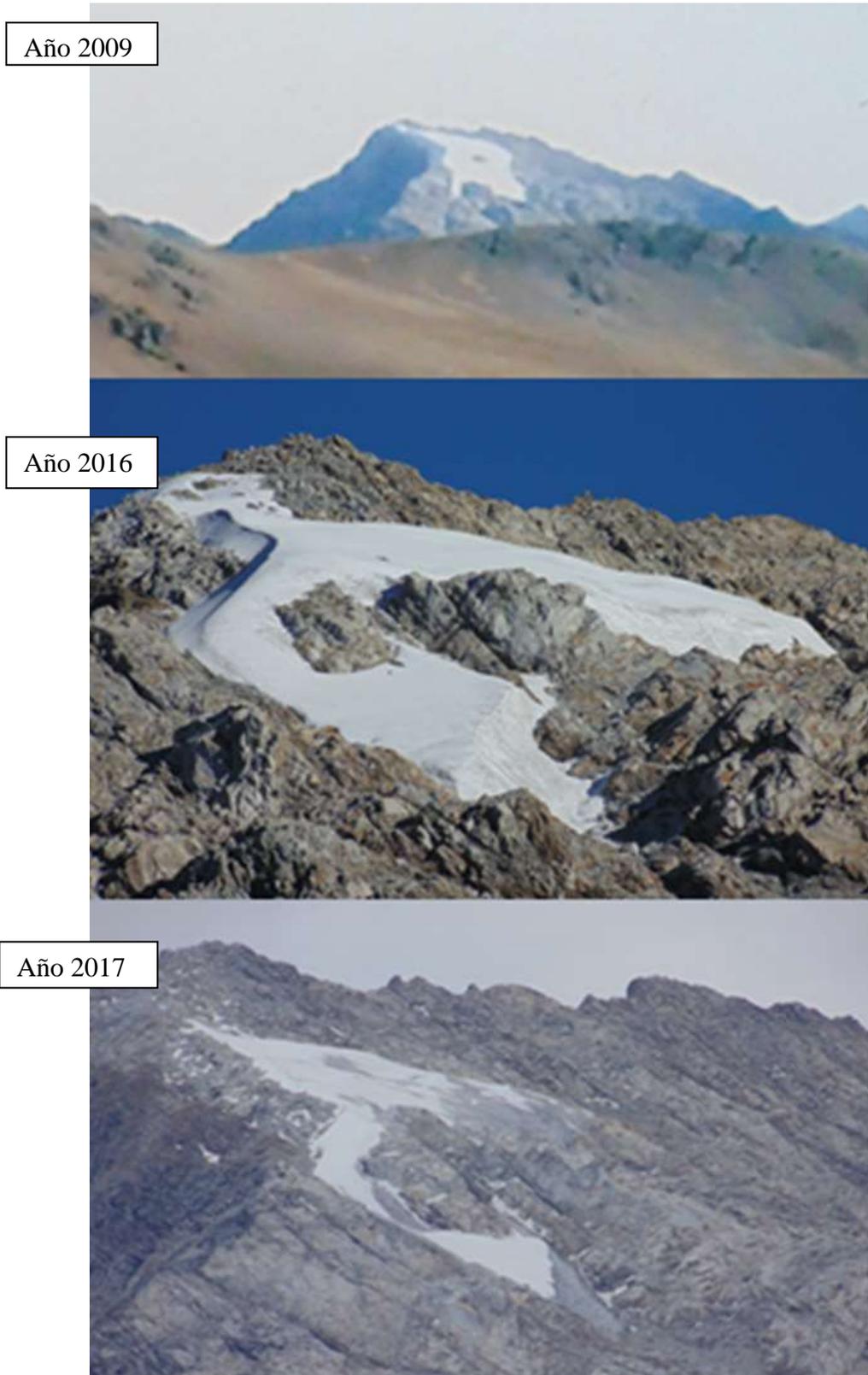


Fig. 24. Evolución de glaciar Queñuani de la Cordillera de Carabaya, año 1989 a 2017.



Fig. 25. Evolución de otro glaciar de la Cordillera de Carabaya, año 1989 a 2017.

Tabla 11. Datos muestreados para la zona de ablación, glaciar Queñuani, Cordillera de Carabaya (setiembre 2016- setiembre 2017).

Balizas	Altitud - msnm	Set. 2016 (cm)	Dic. 2016 (cm)	Nieve	Marzo 2017 (cm)	Nieve	Ag 2017 (cm)	Nieve	Set 2017 (cm)	Nieve
1	5047	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	5073	-	170	0	145	12	43	40	19	45
3	5135	-	165	0	123	20	31	26	15	30
4	5180	-	156	0	80	13	26	18	20	28
5	5187	-	140	0	115	16	20	11	19	11

Tabla 12. Para la zona de acumulación, glaciar Queñuani, Cordillera de Carabaya (setiembre 2016- setiembre 2017).

Pozos	Altitud	MUESTREO 2	MUESTREO 3	MUESTREO 4
		(diciembre 2016) (cm)	(marzo 2017) (cm)	(agosto 2017) (cm)
1	5184msnm	66	46	57
2	5172 msnm	45	40	54
3	5193 msnm	55	55	63

Tabla 13. Datos recolectados para luego ser procesados del glaciar Queñuani, Cordillera de Carabaya (setiembre 2016- setiembre 2017)

N° de pozo	Longitud (cm)	Peso neto (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g cm ³)	Agua (mm)
1	32	843.88	2220.73	0.38	122
2	25	676.63	1734.95	0.39	98
3	36	924.38	2498.32	0.37	133
4	7	184.59	485.78	0.38	27
5	2	55.52	138.79	0.40	8
6	1	26.37	69.39	0.38	38
7	55	1412.24	3816.87	0.37	204
8	40	1082.61	2775.91	0.39	156
9	46	1308.84	3192.29	0.41	189
10	43	1163.80	2984.10	0.39	168
11	34	896.62	2359.52	0.38	129
12	37	1027.09	2567.72	0.40	148

“Año del diálogo y reconciliación Nacional”

CONSTANCIA DE EJECUCIÓN

EL QUE SUSCRIBE: DIRECTOR DE TESIS BLGO. HERMINIO RENE ALFARO
TAPIA:

HACE CONSTAR:

Que, los señores ANGEL QUISPE HUAHUASONCCO identificado con DNI N° 47664350 y MAGNA MOLLINEDO MACHACA identificado con DNI N° 47100564, bachilleres en Ciencias Biológicas, han ejecutado la recolección de datos durante un año hidrológico 2016 a 2017, para la ejecución de tesis de título: “**BALANCE DE MASA DEL GLACIAR QUEÑUANI DE LA CORDILLERA DE CARABAYA, PUNO- PERÚ**”, realizando el monitoreo cada tres meses en el glaciar Queñuani del Distrito de Coasa, provincia de Carabaya, departamento Puno-Perú, el trabajo de investigación que conlleva a optar el título profesional de licenciado Biología especialidad de ecología en la Universidad Nacional del Altiplano – Puno

Se expide la presente constancia a solicitud escrita de los interesados para los fines que estime por conveniente.

Puno, 13 de junio de 2018



Blgo. H. RENE ALFARO TAPIA
C.B.P. 904