

# SUBLIMACIÓN DE GLACIARES DE MENOR ALTURA EN LA CORDILLERA DE VILCABAMBA (CUSCO-PERÚ)

## SUBLIMATION OF LOWER-ALTITUDE GLACIERS IN THE VILCABAMBA MOUNTAIN RANGE (CUSCO-PERU)

Feliciano Escobedo Silva<sup>1</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-5740-1935>

<sup>1</sup>Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac., fescobe@unamba.edu.pe., Apurímac, Perú

**Resumen** - La presente investigación sobre retroceso glaciar de los Nevados Oq'obamba y Moyoq (Lado Este de la cordillera de Vilcabamba) y sus implicancias en la disponibilidad hídrica de las cuencas de los ríos Lechería y Colorado (Limatambo) en el periodo de 2000 al 2015, ha permitido detectar que los glaciares de los nevados referidos no solo retroceden, se fragmentan, encapsulan, encogen y subliman ya no se derriten; por lo tanto, visiblemente no aportan ningún torrente hídrico a sus cuencas receptoras. El objetivo principal de la Investigación fue la determinación de la relación de las desglaciaciones con la disponibilidad hídrica de las cuencas directas receptoras que fueron monitoreadas en la estación hidrométrica del Puente Kunyaq durante el periodo 2000 al 20015. Ambas variables fueron sometidas al análisis de correlación, obteniéndose el coeficiente de correlación de Pearson  $r_{xy}=0.467$ , deduciéndose que no existe una relación significativa entre el retroceso glaciar y la disponibilidad hídrica, los resultados de la Investigación indican que a mayor Incremento de la temperatura ambiental la Línea de equilibrio altitudinal (ELA), se está elevando a altitudes superiores a 5030 msnm calculados para el año 2012 y consigo la fragmentación, encapsulamiento, sublimación y desaparición de los glaciares en la cordillera de Vilcabamba.

**Palabras clave:** disponibilidad hídrica, calibración de caudales, retroceso glaciar y sublimación de glaciares.

**Abstract** - This research on the glacial retreat of the Oq'obamba and Moyoq snow-capped mountains (East side of the Vilcabamba mountain range) and its implications for the water availability of the Lechería and Colorado (Limatambo) river basins during the period from 2000 to 2015, has revealed that the glaciers of the aforementioned snow-capped mountains not only retreat, but also fragment, encapsulate, shrink, and sublimate; they no longer melt. Therefore, they visibly do not contribute any water flow to their receiving basins. The main objective of the research was to determine the relationship between glacial retreat and water availability in the direct receiving basins monitored at the Puente Kunyaq hydrometric station during the period 2000 to 2015. Both variables were subjected to correlation analysis, obtaining a Pearson correlation coefficient of  $r_{xy}=0.467$ , deducing that there is no significant relationship between glacial retreat and water availability. The results of the research indicate that with a greater increase in ambient temperature, the Altitudinal Equilibrium Line (ELA) is rising to altitudes above 5030 meters above sea level, calculated for the year 2012, and with it the fragmentation, encapsulation, sublimation, and disappearance of glaciers in the Vilcabamba mountain range.

**Keywords:** water availability, flow calibration, glacial retreat and glacier sublimation.

### 1. INTRODUCCIÓN

**L**a motivación del presente estudio es entender el fenómeno del retroceso glaciar y su relación con la disponibilidad hídrica.

En cuanto al estado de arte, el presente estudio puntuiza el análisis de glaciares de menor altura ya que la mayoría de las investigaciones tratan sobre los nevados más representativos de las cadenas montañosas, los glaciares de menor altura son los más susceptibles y constituyen los mejores indicadores

del cambio climático identificándose 2341 (87.38%) (Superficies menores o iguales a 1 km<sup>2</sup>, y 338 glaciares mayores a 1 km<sup>2</sup>. (Autoridad Nacional del Agua (ANA), 2007).

El forzamiento radiativo por el incremento de la temperatura ambiental que está generando la sublimación directa los glaciares (Suarez W., y otros, 2015). Estos cambios dramáticos en los glaciares de menor altura son una antesala a escala fractal de lo que sucederá con los glaciares de mayor altura, tal como está sucediendo con el Nevado Salkantay, cuyo ELA (Línea de equilibrio

altitudinal) se incrementa en forma ascendente cada año (Monitoreo glaciar Inkachiriasq'a, (2014)).

A nivel mundial, la disminución de las extensiones de nieve y de hielo de la Criosfera concuerda también con el calentamiento global. Datos satelitales obtenidos desde 1978 indican que el promedio anual de la extensión de los hielos marinos árticos ha disminuido en un 2,7 (Entre 2,1 y 3,3)% por decenio. En resumen, los glaciares de montaña y la cubierta de nieve han disminuido en ambos hemisferios. (Cambio climático 2007 Informe de Síntesis)

En el continente americano desde Alaska, Parque Nacional de los Glaciares en EE. UU, Volcanes Mexicanos, glaciares tropicales Andinos desde Venezuela hasta Bolivia y los glaciares patagónicos comprendidos entre Chile y Argentina en Sudamérica también están en un franco proceso de retroceso. (Word Glaciers Monitoring Service, 2008)

En el Perú se encuentra el 71% de los glaciares tropicales del mundo distribuidos en 19 cordilleras, En el periodo 1962/1970 se contabilizó 3044 glaciares que cubrían 2041.82 km<sup>2</sup>, en el año 2009 se contabilizó 2679 glaciares disminuyendo su área a 1298.59 Km<sup>2</sup> (Pérdida del 42% en 40 años).

La cordillera de Vilcabamba, contaba con 355 glaciares comprendidos en una extensión de 169.15 km<sup>2</sup> sin embargo, en el año 2014 se redujo dramáticamente y una extensión de 15.53 Km<sup>2</sup> habiendo perdido 22.21 Km<sup>2</sup> equivalente al 58.85%. (Autoridad Nacional del Agua (ANA), 2007)

Los Nevados Oq'obamba y Moyoq constituyan, la reserva hidrológica ya que sus deshielos alimentaban a los ríos Lechería y Colorado en el distrito de Limatambo (Lado Sur) y del Riachuelo Silque en Ollantaytambo (Lado Norte), debido a que estos nevados se encuentran a altitudes muy próximas a la ELA (Altitud de la línea de equilibrio) determinadas en el glaciar Inkachiriasq'a (Nevado Salkantay) en 5030 msnm el año 2012. (Monitoreo glaciar Inkachiriasq'a, (2014)).

El retroceso glaciar iniciado en los finales de Pequeña Edad del Hielo (PEH) en la cordillera de Vilcabamba (Licciardi et al, 2009) fue gradual intensificándose en la década del 1970 al 2007 (Martin de la Calle, 2014)

Todos creemos por sentido común que a mayor retroceso mayor aporte hídrico (Baraer, y otros, 2012); Sin embargo, los resultados del presente proyecto de investigación indican que en la actualidad los glaciares ya no se derriten ni aportan agua a las cuencas receptoras, donde los caudales de los torrentes glaciares han dejado de discurrir, en similitud a lo que está ocurriendo en el glaciar Julcal Chile (Ayala, Pellicciotti, & Burlando, 2017).

Como medida de solución a este fenómeno se propone iniciar políticas de adecuación al inevitable cambio climático y hacer conocer a la comunidad internacional sobre el retroceso acelerado de los glaciares en la cordillera de Vilcabamba en la región cusco-Perú.

## 2. Área de estudio

Específicamente los Nevados Oq'obamba (5050 msnm) y Nevado Moyoq (5150 msnm), ocupan el extremo Este de la cordillera de Vilcabamba, de la cadena oriental Andina comprendidos entre latitud: 13° 33'47.17"-13° 2L28.4" Sur y longitud 72°34'30.71"-72°32'43.88"Oeste.

En el área se han verificado la existencia de lagunas de origen glaciar, algunas con potencialidades de convertirse en Glofs (Flujos por el desborde violento de una laguna glaciar) con incremento de volumen de agua que evidencian el fuerte retroceso glaciar en las últimas décadas (Guardamino & Drenkhan, 2016).

## 3. Metodología

Se planteó como objetivo el análisis por correlación de la data de la designación (Variable independiente) y los caudales derivados (Variable dependiente) en el periodo 2000-2015, de cuyo resultado se obtendría el valor de estadímetro que permitiría la interpretación de resultados.

### 3.1 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE NORMALIZADO DE DIFERENCIA DE NIEVE (NDSI)

Para la obtención del NDSI, se realizó la descarga de las imágenes satelitales Landsat de

la United States Geological Survey (USGS) mediante la: [www.usgs.gov](http://www.usgs.gov) en el periodo 2000 al 2015, se consideró las imágenes satelitales de los meses de mayo y julio, debido a la nula aparición en los referidos meses (Hall, Riggs, Foster, & Kumar, 2010).

El proceso se inició con la descarga de las imágenes de los satélites Landsat, obtenidos con sensores MSS, TM y OLI de acuerdo a su disponibilidad tecnológica (2000-2015) y que tienen la capacidad de distinguir altas reflectancias de los glaciares comparadas con las zonas circundantes no nevadas, vegetación y agua, siendo el objetivo principal determinar la reflectancia homogénea circundantes no nevadas, vegetación y agua, siendo el objetivo principal determinar la reflectancia homogénea (Hielo/Nieve) y con gran contraste en relación a los elementos vacíos suelo-roca.

Se aplicó el proceso de la clasificación no supervisada de imágenes satelitales mediante las correcciones: Geométrica, Radiométrica y la atmosférica. Asimismo se georreferenció y se puso en formato Geo-TIFF con coordenadas geográficas Latitud/Longitud con resolución espacial de 30 metros y en Datum WGS84.

Se consideró como cubierta nival cualquier celda que sea superior a un valor de 0,4 \$mu m\$, este valor se considera como una orientación, puesto que el valor del "NDSI" depende del ángulo de elevación solar y las condiciones atmosféricas. (Dozier, 1989)

Para el análisis multitemporal se calculó la superficie (*km2*) para toda la superficie cubierta por glaciares y nevadas de los cuatro glaciares en el periodo y cumpliendo las recomendaciones de Dozier, utilizó la fórmula conocida:

$$NDSI = \frac{(B2-B5)}{(B2+B5)}$$

(1) Con lo que se obtuvo resultados y calculo la tasa se retroceso glacial y la tendencia del retroceso glacial.

### 3.2 TENDENCIA DEL RETROCESO Y LAS PRECIPITACIONES NIVALES

La tendencia de secuencia de las precipitaciones nivales a los glaciares y cumbres temporales de nieve es negativa, indica que cada año está disminuyendo \$0.05 text{ } km^2\$. Esta re-alimentación es insuficiente para alcanzar un

estado de equilibrio que permita la acumulación por lo que se encuentra en permanente estado de ablación (Vuilleum, Bradley, Francou, Kaser, & Mark, 2007).

TABLA 1

### AREAS DE LA CUBERTURA DEL GLACIAR Y PRECIPITACIONES NIVALES DE PRECIOS EN EL PERIODO 2000-2015

Año	Sensor	Area (Km2)		Tasa
		Neta	Variación	
2000-2001	4 TM	1.398	-	-
2001-2002	4 TM	5.148	-3.750	268.240
2002-2003	5 TM	0.390	4.760	-92.420
2003-2004	5 TM	2.609	-2.220	568.970
2004-2005	5 TM	0.088	2.520	-96.630
2005-2006	8 TM	5.857	-5.770	6,555.680
2006-2007	5 TM	0.025	5.830	-99.570
2007-2008	5 TM	0.124	-0.100	396.000
2008-2009	5 TM	0.901	-0.780	626.610
2009-2010	5 TM	0.288	0.610	-68.040
2010-2011	5 TM	3.465	-3.180	1,103.130
2011-2012	5 TM	8.465	-5.000	144.300
2012-2013	8 OLÍ	0.041	8.420	-99.520
2013-2014	8 OLÍ	0.915	-0.870	2,131.710
2014-2015	8 OLÍ	0.028	0.890	-96.940

TABLA 2

### TENDENCIAS DEL RETROCESO GLACIAR

AÑOS(X)	ÁREA(Y)	X	Y	XY	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>
2000-2001	1.40	1	1.40	1.40	1	1.95
2001-2002	5.15	2	5.15	10.30	4	26.50
2002-2003	0.39	3	0.39	1.17	9	0.15
2003-2004	2.61	4	2.61	10.44	16	6.81
2004-2005	0.09	5	0.09	0.44	25	0.01
2005-2006	5.86	6	5.86	35.14	36	34.30
2006-2007	0.03	7	0.03	0.18	49	0.00
2007-2008	0.12	8	0.12	0.99	64	0.02
2008-2009	0.90	9	0.90	8.11	81	0.81
2009-2010	0.29	10	0.29	2.88	100	0.08
2010-2011	3.47	11	3.47	38.12	121	12.01
2011-2012	8.47	12	8.47	101.58	144	71.66
2012-2013	0.04	13	0.04	0.53	169	0.00
2013-2014	0.92	14	0.92	12.81	196	0.84
2014-2015	0.03	15	0.03	0.42	225	0.00
TOTAL		120	29.74	224.50	1240	155.14

En el cual los parámetros obtenidos fueron

$$a = \frac{\sum y \sum x^2 - \sum x \sum xy}{N \sum x^2 - (\sum x)^2} = 2.37 \quad b = \frac{\sum y \sum x^2 - \sum x \sum xy}{N \sum x^2 - (\sum x)^2} = -0.05$$

Siendo la curva resultante  $Y = 2.37 - 0.05 X$ ,

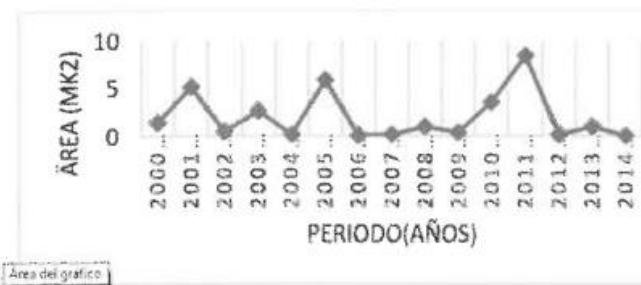


Figura 1. Variaciones del retroceso glaciar periodo 2000-2015

El análisis de la tendencia del retroceso tanto en los cuatro glaciares analizados y de las precipitaciones nivales en las áreas dentro de las cuencas consideradas indican una tendencia negativa de menos  $0.05 \text{ Km}^2/\text{año}$ . Esta tendencia permite pronosticar que los nevados Oq'obamba y Moyoq perderán toda su cobertura glaciar en el año 20302.

La variación de las áreas de retroceso y la frecuencia de nevadas en las áreas pos retroceso en el periodo 2000-20015 se observa que el Índice Oceánico El Niño (ONI) ((Senamhi), 2014), que es uno de los más utilizados (Veetil, y otros, 2016) que donde se distinguen los fenómenos del Niño-Oscilación (ENOS) y la "Niña", se ha verificado la existencia de cierta coincidencia del proceso de las precipitaciones nivales que han retroalimentado a los glaciares de los nevados Oq'obamba y Moyoq, con los fenómenos del "Niño" y la "Niña":

- Indican que durante los años de predominio del "Niño" disminuye las precipitaciones nivales y se incrementa cuando ocurre la "Niña".
- De lo cual se desprende que durante la "Niña" se recargan los glaciares y cumbres temporales de Nieve y durante el "Niño" disminuyen (Perry, y otros, 2016).

Debido a que los glaciares analizados están a alturas inferiores al ELA (Vuille M., Bradley, Francou, Kaser, & Mark, 2007) , presentan un comportamiento caótico y su retroalimentación se da únicamente durante las nevadas esporádicas y con mayor incidencia durante la presencia del fenómeno de la "Niña"

### 3.3 CÁLCULO DE LA SUPERFICIE GLACIAR EXITEN AL AÑO 2015

Como se puede evidenciar mediante imágenes satelitales del Google Earth los glaciares de nevados Oq'obamba y Moyoq se han reducido dramáticamente y continúan fragmentándose.



Figura 2. Nevado Oq'obamba (Color verde fosforescente) y Nevado Moyoq (Color rojo). Fuente: Google Earth.

Se verificó durante la visita de campo el nevado Oq'obamba (5050 msnm) la fragmentación en cuatro cuerpos encapsulados. Los dos ubicados en el lado izquierdo (Lado Oeste) se están subdividiendo en fragmentos cada vez menores. Se ha roto el equilibrio entre la acumulación y la ablación. Los dos cuerpos del lado derecho (Lado este) permanecen aún anclados a las concavidades topográficas del terreno. Están ubicados en el flanco sur de la cumbre contrario a los rayos solares en horas de la tarde. Las escasas retroalimentaciones de las precipitaciones nivales no son suficientes para recuperar su equilibrio



Figura 3. Glaciar Yawarmaki en el Nevado Oq'obamba.

Sin embargo, todos estos cuerpos no aportan ningún flujo superficial visible. Sus cauces directos donde años atrás eran visibles permanecen secos. Podrían estar aportando mediante flujos subsuperficiales, lo cual requiere mayores investigaciones.



Figura 4. Quebrada Yawarmaki sin flujo alguno.

El término quechua "Yawarmaki" significa mano de sangre en referencia a que antiguamente los deshielos transportaban por la quebrada del mismo nombre sedimentos férricos oxidados de color rojo y en la actualidad permanecen secos.

Otro detalle a informar es que a medida el retroceso glaciar avanza también se observa el prosperamiento de plantas, gramíneas, musgos y líquenes.



Figura 5. Avance de vegetación en las zonas tras el retroceso glaciar en el nevado Oq'obamba.

TABLA 3

ÁREA Y PERÍMETROS DE LOS FRAGMENTOS DE GLACIARES DE LOS NEVADOS OQ'OBAMBA Y MOYOQ AL AÑO 2015.

Nevado Moyoq			Nevado Oq'obamba			Total (Km <sup>2</sup> )
Fracción	Perímetro (Km)	Área (Km <sup>2</sup> )	Fracción	Perímetro (Km)	Área (Km <sup>2</sup> )	
1	3.4	0.39	1	1.16	0.064	0.61
2	1.35	0.2	2	0.96	0.044	
3	0.26	0.003	3	0.33	0.008	
	4.14		4	0.68	0.021	
<b>Sub Total</b>		<b>0.49</b>	<b>Sub Total</b>		<b>0.12</b>	<b>0.61</b>

A la fecha diciembre del 2015 los nevados Oq'obamba y Moyoq se han reducido a 0.61 Km<sup>2</sup> de los cuales el glaciar Llamawasi, ha perdido su

superficie glaciar mucho antes del inicio de la investigación y según las imágenes satelitales del Google Earth histórico el glaciar Q'elwaq'ocha ha perdido su superficie glaciar en el año 2006.

### 3.4 DETERMINACIÓN DE LA ECUACIÓN DE CALIBRACIÓN DE CURVA

Siendo la ecuación de calibración de Curva, la representación gráfica de las variaciones de las descargas (Q) en la sección transversal de un río en función de las lecturas de mira (H) que se produce teóricamente en un régimen permanente (Colindres, 2016), se ha considerado el registro de las descargas diarias durante los 15 años en el periodo 2000-2015, anotadas en la estación hidrométrica del puente Kunyaq, mediante un Limnímetro, dado que es muy difícil lograr una medición directa y continua del caudal de un río.

Las mediciones del limnímetro se realizan tres veces por día y se contrastó con campañas de aforos periódicos para lo cual se utilizan equipos de última tecnología como Q-Liner y procesamiento en campo mediante software QTT. ((Senamhi), 2014).

La Ecuación de calibración de curva obtenida en la estación hidrométrica del puente Kunyaq, para el río Apurímac es:

$$Y = 41.647 * H^{1.7652}$$

Donde: Y=Caudal del río Apurímac (m<sup>3</sup>/s) y H=Altura del limnímetro, en una sección determinada (m).

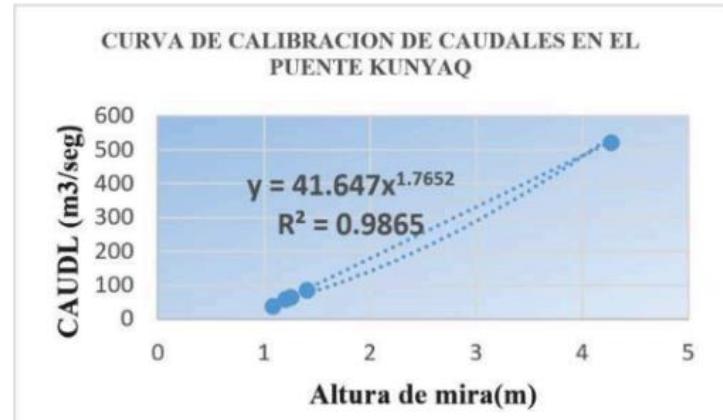


Figura 6. Curva de calibración obtenido de las campañas de aforo en la estación hidrométrica del puente Kunyaq.

Una vez determinado el caudal en el puente Kunyaq se pudo calcular, los caudales en el Alto Apurímac, río Bermejo también previa

discriminación del río Blanco que colecta las aguas provenientes del nevado Salkantay y alrededores; Con la misma lógica se pudo establecer los caudales de los ríos Colorado y Lechería aplicándose la Ley de extrapolación de áreas y caudales.

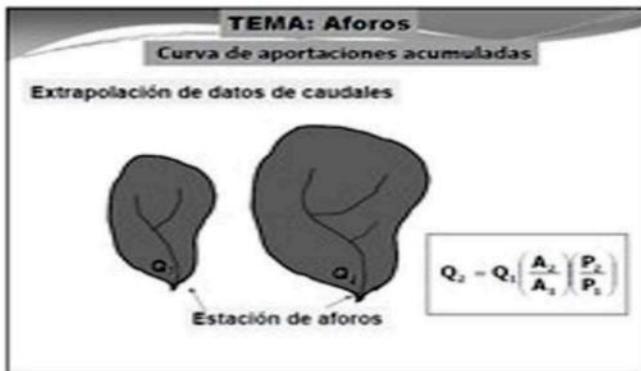


Figura 7. Extrapolación de caudales y áreas.

Una vez precisado los caudales en los ríos Colorado y Lechería se calculó los caudales de las microcuencas directamente colectoras de los glaciares Oq'obamba y Moyoq: Llamawasi, Yawarmaki, Q'elwaq'ocha y Ch'akill. (Ver tabla N°05).



Figura 8. Estación hidrométrica del puente Kunyaq en el Río Apurímac (Km 100 Carretera Cusco-Abancay)

Las campañas de aforos son ejecutadas por personal técnico especializado del servicio nacional de meteorología e Hidrología de Perú, zonal Cusco.



Figura 9. Aforo con Q-linner en la estación hidrométrica del puente Kunyaq

TABLA 5

CALCULO DE CAUDALES DE LOS RIACHUELOS LLAMAWASI, YAWARMAKI, Q'ELWAQ'OCHEA Y CH'AKIL

Periodo (Años)	Caudales en las Cuencas evaluadas (m <sup>3</sup> /seg)			
	Llamawasi	Yawarmaki	Q'elwaq'ocha	Ch'akil
2000-2001	0.1246	0.0698	0.1389	0.0434
2001-2002	0.092	0.0515	0.1025	0.032
2002-2003	0.1246	0.0698	0.1389	0.0434
2003-2004	0.0938	0.0526	0.1046	0.0327
2004-2005	0.0696	0.039	0.0776	0.0243
2005-2006	0.1212	0.0679	0.1352	0.0422
2006-2007	0.1113	0.0538	0.1241	0.0388
2007-2008	0.087	0.0487	0.097	0.0303
2008-2009	0.0853	0.0478	0.0951	0.0297
2009-2010	0.1177	0.0659	0.1312	0.041
2010-2011	0.1167	0.0654	0.1301	0.0407
2011-2012	0.1572	0.0881	0.1753	0.0548
2012-2013	0.1267	0.071	0.1412	0.0441
2013-2014	0.0916	0.0514	0.1022	0.0319
2014-2015	0.11	0.0617	0.1227	0.0383

TABLA 6

RESULTADOS FINALES DE LA VARIABLES INDEPENDIENTE Y DEPENDIENTE

Años	Área(km <sup>2</sup> )	Caudal(m <sup>3</sup> /seg)
2000-2001	1.398	2.548
2001-2002	5.148	1.881
2002-2003	0.39	2.548
2003-2004	2.609	1.919
2004-2005	0.088	1.424
2005-2006	5.857	2.479
2006-2007	0.025	2.276
2007-2008	0.124	1.779
2008-2009	0.901	1.744
2009-2010	0.288	2.406
2010-2011	3.465	2.387
2011-2012	8.465	3.216
2012-2013	0.041	2.59
2013-2014	0.915	1.874
2014-2015	0.028	2.251

### 3.5 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CORRELACIÓN DE LAS VARIABLES INDEPENDIENTE Y DEPENDIENTE

El análisis de correlación de la “r de Pearson” mediante el software statgraphics entre las variables arrojó un valor  $r=0.467$ , lo que indica que no existe una relación significativa entre el retroceso de los glaciares y la disponibilidad hídrica.

Sin embargo, se puede analizar que dicho valor es bajo debido a la Sublimación de los glaciares; los caudales de los ríos están relacionado estrechamente con el aporte hídrico de los deshielos de los glaciares.

### 3.6 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El valor de  $r=0.467$  indica que no existe una relación significativa en entre el retroceso glaciar y la disponibilidad hídrica. Este hecho confirmaría las evidencias observadas en el campo, el cero aporte directo a las cuencas receptoras y se plantea la hipótesis de la sublimación glaciar presente en esta parte de la Cordillera de Vilcabamba.

### SUBLIMACIÓN DE GLACIARES EN LA CORDILLERA DE VILCABAMBA

Si la sublimación es la transformación directa del hielo del estado sólido al gaseoso, proceso en la requiere una cantidad de energía equivalente a 2834 Joules por kg, es decir más de 8.50 veces más que la fusión. Entonces indica que las condiciones de temperatura ambiental se han incrementado considerablemente en la cordillera de Vilcabamba, la pérdida de la superficie glaciar ha implicado que no se está reflejando la luz solar y este hecho hace que se acumule la energía en las rocas, generando un incremento de calor a nivel local y esta energía sería la causa de la sublimación asociado a otras causas materia de investigación.

Este fenómeno no es exclusivo en la cordillera de Vilcabamba, la sublimación de glaciares ha sido reportado en el glaciar Juncal (Chile) donde se ha reportado que hasta el 50% de los glaciares se están evaporando (Ayala, Feijóo-Coria, & Burlando, 2017). Refieren que la concepción preliminar de la sublimación glaciar debido a los efectos de la baja humedad en ambientes monzónicos áridos ha quedado desfasado ya que las últimas investigaciones realizadas indican que la elevación del glaciar

juega un factor preponderante, debido a que las condiciones frías, secas y de exposición al viento que se incrementan con la altura (msnm) se asocian a elevadas a las tasas de sublimación.

### 4. Conclusiones

1. El retroceso glaciar que han sufrido los glaciares: Llamawasi, Yawarmaki (Nevado Oq'obamba), Q'elwaq'ocha, Ch'akill'asa (Nevado Moyoc) es de 24.75 Km<sup>2</sup> que corresponde al 98.21% de su superficie glaciar.
2. La correlación entre variables de áreas y los caudales, cuyo resultado es  $r=0.467$ , concluye que no existe relación significativa entre el retroceso glaciar de Llamawasi, Yawarmaki, Q'elwaq'ocha y Ch'akill'asa y la disponibilidad hídrica de los ríos Lechería y Colorado durante el periodo de análisis 2000-2015.
3. El proceso del retroceso glaciar en los nevados Oq'obamba y Moyoc se está acrecentando por la sublimación glaciar evidenciado por las evidencias encontradas y reportadas.

### AGRADECIMIENTOS

Expreso mi mayor gratitud a las siguientes instituciones y personas, Universidad Nacional San Antonio Abad Del Cusco (Unsaac). Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac (Unamba). Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (Senamhi) Cusco. Servicio Nacional de Áreas naturales protegidas por el estado (Sernanp) Cusco. Autoridad Nacional del Agua Zona XI, Pampas Apurímac. Ing. Juan Carlos Jimenez Nina. Biólogo Américo Cabrera Alarcón. Estudiantes de la Escuela académico profesional de ingeniería de Minas de la Unamba que me acompañaron en el viaje al glaciar Ch'akill'asa: Franco Ubalde A, Rosmel Catalán M, Bernabé Valenzuela Nelson Onzueta V, Egoavil Gallardo C, Edu Arias R, Vladimir C. Escobedo M. Elizeeth Tevés H. Al estudiante William Ccanañuire P, por su apoyo técnico a la comunidad campesina de Sondorf por permitir la realización de la investigación en su territorio. Las gracias eternas a mi amigo y consocio comunal Sr. Demetrio Gallegos Tevés, por su disposición y los caballos facilitados para el viaje al nevado Oq'obamba.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] F. Pellicciotti & P. Burlando (2017). "Mely and surface sublimation across a glacier in a dry environment: distributed energy-balance modelling of JuncalK North Glacier, Chile". *Journal of Glaciology*. doi: 10.1017/jog.2017.56.
- [2] M. Baraer, B. Mark, J. McKenzie, T. Comdom, J. Bury, K. Huh, C. Portocarrero, J. Gomez y S. Rathay, (2012). "Glaciaer Recesión and water resources in Peru's Cordillera Blanca. *Journal of Glaciology*. Vol. 58, No. 207, 2012. doi: 10-3189/2012JoG11J166.
- [3] N. Campos (2012). "Glacier evolutionin the South West slope of Nevado Coropuna (Cordillera de Ampato, Perú)". Madrid España: Universidad Complutense de Madrid.
- [4] W. Colindres (2016). "Curvas de calibración de caudales de las estaciones hidrológicas de la cuenca cotó a la cuenca madre vieja, correspondiente a la vertiente del pacífico para el periodo 2010-2013". Tegucigalpa: Universidad San Carlos.
- [5] J. Dozier (1989). "Spectral Signature of Alpine Snow Covers from Landsat Thematic mapper". *Remote sensing of environment*. Volúmen 28, Annual June 1989, Pages 9-22.
- [6] L. Guardamino & F. Drenkhan (2016.). "Evolución y potencial amenaza de lagunas glaciares en la cordillera de Vilcabamba (Cusco y Apurímac, Perú) entre 1991 y 2014". Univerty of Zurich.
- [7] D. Hall, G. Riggs, J. Foster, & S. Kumar (2010). "Development and evaluation of a cloud-gap-filled MODIS daily snow-cover product". *DigitalCommons@University of Nebraska - Lincoln. Remote sensing of environment*.
- [8] G. Kaser, J. Irmgard, C. Georges, J. Gomez & W. Tamayo.