

Evolución de los glaciares de los nevados Collquepucre, Llongote, Pariacaca y Ticcla en la cuenca del río Cañete

RECIBIDO: 04/09/2017
APROBADO: 04/12/2017

Miguel Alva Huayaney
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
< malvah@unmsm.edu.pe >

Robert Ramos Alonzo
Universidad Católica Sedes Sapientiae
< rramosa@ucss.edu.pe >

RESUMEN

En la cuenca del río Cañete, se observa un proceso de retroceso glaciar constante desde hace más de 37 años. Basado en fotografías aéreas para los años 1962 y 1970, y utilizando imágenes Landsat del periodo 1990-2015, se ha podido establecer que la superficie glaciar de los nevados Collquepucre, Llongote, Pariacaca y Ticcla ha disminuido en proporción de 2 a 7 km², por cada 5 años; situación que guarda relación con la dinámica de los glaciares tropicales en donde diversas fuentes indican que son los ecosistemas más frágiles ante el cambio climático.

PALABRAS CLAVE: nevado; glaciares; volumen glaciar; retroceso glaciar; cambio climático.

Evolution of the Collquepucre, Llongote, Pariacaca and Ticcla glaciers in the Cañete river basin

ABSTRACT

In the Cañete River Basin, a glacial retreat has been observed for more than 37 years. Based on aerial photographs for the years 1962 and 1970, and using Landsat images from the 1990 - 2015 period, the glacier surface of the Collquepucre, Llongote, Pariacaca and Ticcla snowfalls has decreased by 2 to 7 km², for every 5 years; a situation that is related to the dynamics of tropical glaciers where various sources indicate that they are the most fragile ecosystems in the face of climate change.

KEYWORDS: Glacier-covered area; Glacier ice volume; Glacier's higher of line equilibrium; Glacier's accumulation area.

1. Introducción

Aproximadamente el 99% de los glaciares tropicales del mundo se encuentran distribuidos en los Andes de Sudamérica, de los cuales el 71% se localizan sobre las cordilleras del Perú (G. Kaser y H. Georges, 1997). En los glaciares de la cuenca alta del río Cañete, como se aprecia en la actualidad, solo existen once nevados de los dieciséis existentes hace 37 años (fotografías aéreas 1962), con lo cual se confirma un acelerado proceso de desglaciación en la zona; teniéndose para el caso de los nevados Huaynacutuni, Shicra, Tunsho, Tapo y Escalera un proceso completo de desglaciación (100%).

En la zona de la cuenca del río Cañete se encuentran tanto glaciares como glaciaretos, si bien se les tiende a considerar indistintamente como «glaciares». Vale la pena hacer la distinción conceptual entre los dos tipos dadas las importantes diferencias en sus características, dimensiones y propiedades dinámicas. Un glaciar es «toda masa de hielo perenne, formada por acumulación de nieve, cualesquiera sean sus dimensiones y formas, el que fluye lentamente por deformación, deslizamiento basal y deslizamiento de sedimentos subglaciales». Lliboutry (1956, citado por IGP 2009). Una de las principales propiedades que definen a un glaciar como tal es precisamente la evidencia de flujo de hielo en el presente o bien en el pasado (Cogley et al., 2011). Por su parte, un glaciarete es un glaciar muy pequeño, que perdura por al menos dos años consecutivos, típicamente menos de 0.25 km² (25 ha) de superficie, que no exhibe evidencia marcada de flujo en superficie (Cogley et al., 2011).

En general, la disminución del área glaciar en la cuenca alta del río Cañete en un promedio de tiempo de 37 años es de 85.20%,

cifra por supuesto muy elevada. Por consiguiente, se estima que de seguir este fenómeno de desglaciación, en un periodo muy cercano, 10 a 15 años, la superficie glaciar será mínima.

Otro aspecto de resaltar es la importancia de la cuenca alta, denominada en el presente estudio como subcuenca Tanta, debido a que en esta se ubica el 94% del área glaciar, posibilitando la existencia de catorce lagunas, consideradas dentro de la cuenca como las más importantes; ambas fuentes originan el nacimiento del río Cañete.

Con el objetivo de obtener una estimación de la desglaciación de los nevados de la cuenca del río Cañete, se realizó un análisis de regresión lineal simple con los parámetros de año y área de la cobertura glaciar, para lo cual se usaron programas de tratamiento de imágenes satelitales Erdas y Sistemas de Información Geográfica ArcGIS. La correlación es buena con un R²=0.93 resultaron estadísticamente significativas.

2. Área de estudio

Los nevados que comprenden la presente investigación se ubican en las partes más altas de la cuenca del río Cañete, esta cuenca forma parte de las provincias de Cañete y Yauyos, pertenecientes ambas al departa-

FIGURA 1: UBICACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO CAÑETE



Fuente: Google Earth (2017), límite de cuencas ANA.



mento de Lima. Geográficamente, se encuentra entre los paralelos 11°58'00" y 13°09'00" de Latitud Sur y los meridianos 75° 31'00" y 76° 31'00" de Longitud Oeste.

La cuenca del río Cañete tiene una extensión aproximada de 6192 km², de los cuales el 78,4% (4856 km²) corresponde a la cuenca húmeda. El río Cañete nace en la laguna Ticllacocho, ubicada al pie de las cordilleras de Ticlla y Pichahuarco, en la divisoria de cuencas con el río Mala. Sus recursos hídricos provienen de los aportes de la lluvia, así como los derivados de lagunas y deshielo de los nevados, ubicados estos principalmente en el extremo norte de la cuenca y sobre los 4500 m.

3. Objetivo

3.1 General

Determinar la dinámica del área glaciar de los nevados Collquepucre, Llongote, Pariacaca y Ticlla usando imágenes satelitales del periodo 1990 al 2015.

3.2 Específicos

- Determinar el volumen de los nevados Collquepucre, Llongote, Pariacaca y Ticlla usando la fórmula empírica de Bahr y Klein Isacks.
- Determinar la Línea de Equilibrio Glaciar en función de la temperatura y de la precipitación media anual.
- Determinar el Área de Acumulación Glaciar.

4. Metodología

Se ha considerado la siguiente metodología.

- Descargar imágenes satelitales Landsat 5 ETM+ y Landsat 8 OLI a partir del servidor ESDI de Estados Unidos (<http://glcfapp.glc.f.umd.edu:8080/esdi/>).
- Se realizó el tratamiento de la imagen satelital con ayuda del programa Erdas Imagine para integrar las bandas espectrales en un solo archivo.
- Se halló el Índice de Nieve de Diferencia Normalizada (NDSI) con las bandas 2 (verde) y la banda 5 (infrarrojo medio). (<https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20100031195.pdf>).

- Se trazó Cálculo de la Línea de Equilibrio Glaciar (ELA).
- Se determinó el área glaciar y los respectivos volúmenes de los nevados Collquepucre, Llongote, Pariacaca y Ticlla.

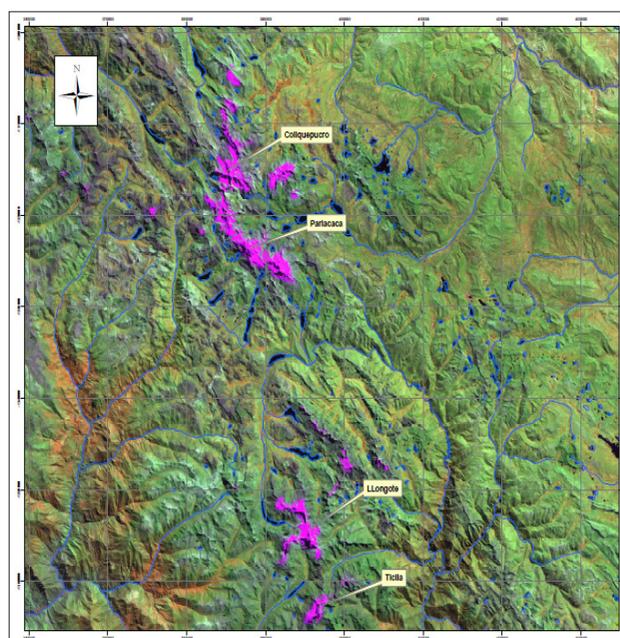
5. Resultados

5.1 Determinación del área de los glaciares

Las áreas de los nevados fueron obtenidas mediante el uso de un método de clasificación no supervisada, a partir de imágenes LANDSAT 5 TM LANDSAT 8 OLI, con lo que a partir de ellos se ha realizado la combinación de las bandas para poder diferenciar el glaciar respecto a otros elementos del relieve.

A partir de las imágenes correspondientes a los años 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 y 2015, se calcularon las áreas de los nevados Ticlla, Llongote (al sur del área de estudio) y los nevados Pariacaca y Collquepucre (al norte), de este modo se obtuvieron los siguientes datos.

FIGURA 2: UBICACIÓN DE LOS NEVADOS



Fuente: Elaboración propia.

En 1990 el área de los nevados analizados fue de 68.9 km², para el año 1995 presentó un área de 62.1 km², en tanto que para el año 2000 su área fue de 57.34 km², en el 2005 el área fue de 54.75 km², en el 2010 el área era de 52.98 km² y en el 2015 el área fue de

FIGURA 3: NEVADOS EN EL SECTOR NORTE, QUE SIRVEN DE LÍMITE DE CUENCA DEL RÍO CAÑETE



Fuente: Google Earth

FIGURA 4: NEVADOS EN EL SECTOR SUR, QUE SIRVEN DE LÍMITE DE CUENCA DEL RÍO CAÑETE



Fuente: Google Earth

47.74 km²; en este periodo (1990-2015) los nevados presentaron una pérdida del 30% de su área respecto año cero (1990). El detalle de lo descrito se presenta en el Cuadro 1.

CUADRO 1: ÁREA DE LOS NEVADOS COLLQUEPUCRE, LLONGOTE, PARIACACA Y TICCLA, SEGÚN AÑOS

Años	Área (Km ²)	Pérdida (km ²)	Pérdida (%)
1990	68.90		
1995	62.10	6.80	9.9
2000	57.34	11.56	16.8
2005	54.75	14.15	20.5
2010	52.98	15.92	23.1
2015	47.74	21.16	30.7
Pérdida total		21.16	30.7

Fuente: Elaboración propia

5.2 Cálculo de la desaparición de los nevados

Para determinar el año aproximado en que podrían desaparecer los nevados, se sigue el método de la regresión lineal simple. Primero se definen las variables X (área) e Y (año), una de ellas depende directamente de la otra; así la disminución del área de los nevados es dependiente de los años. Dada la dependencia de una variable respecto a otra se considera la aplicación de una función lineal el que se define como: $Y = a + Xb$ (ecuación de la línea recta), donde «b» es la pendiente (inclinación) y «a» es el intercepto, es decir, el valor donde la recta corta o intercepta al eje Y.

Fórmula para hallar el valor b:

$$B = \frac{\sum XY - n\bar{X}\bar{Y}}{\sum X^2 - n\bar{X}^2}$$

Fórmula para determinar a:

$$a = \bar{Y} - b\bar{X}$$

Donde:

\bar{X} = Promedio de los valores de X

\bar{Y} = Promedio de los valores de Y

$\sum Y^2$ = Sumatoria de los cuadrados de los valores de Y

$\sum X^2$ = Sumatoria de los cuadrados de los valores de X

$\sum XY$ = Sumatoria entre los productos entre X e Y

Con esta consideración se procedió a calcular el área 0, es decir, el año en que podrían desaparecer los nevados Ticia, Llongote, Pariacaca, Collquepucro (análisis conjunto).

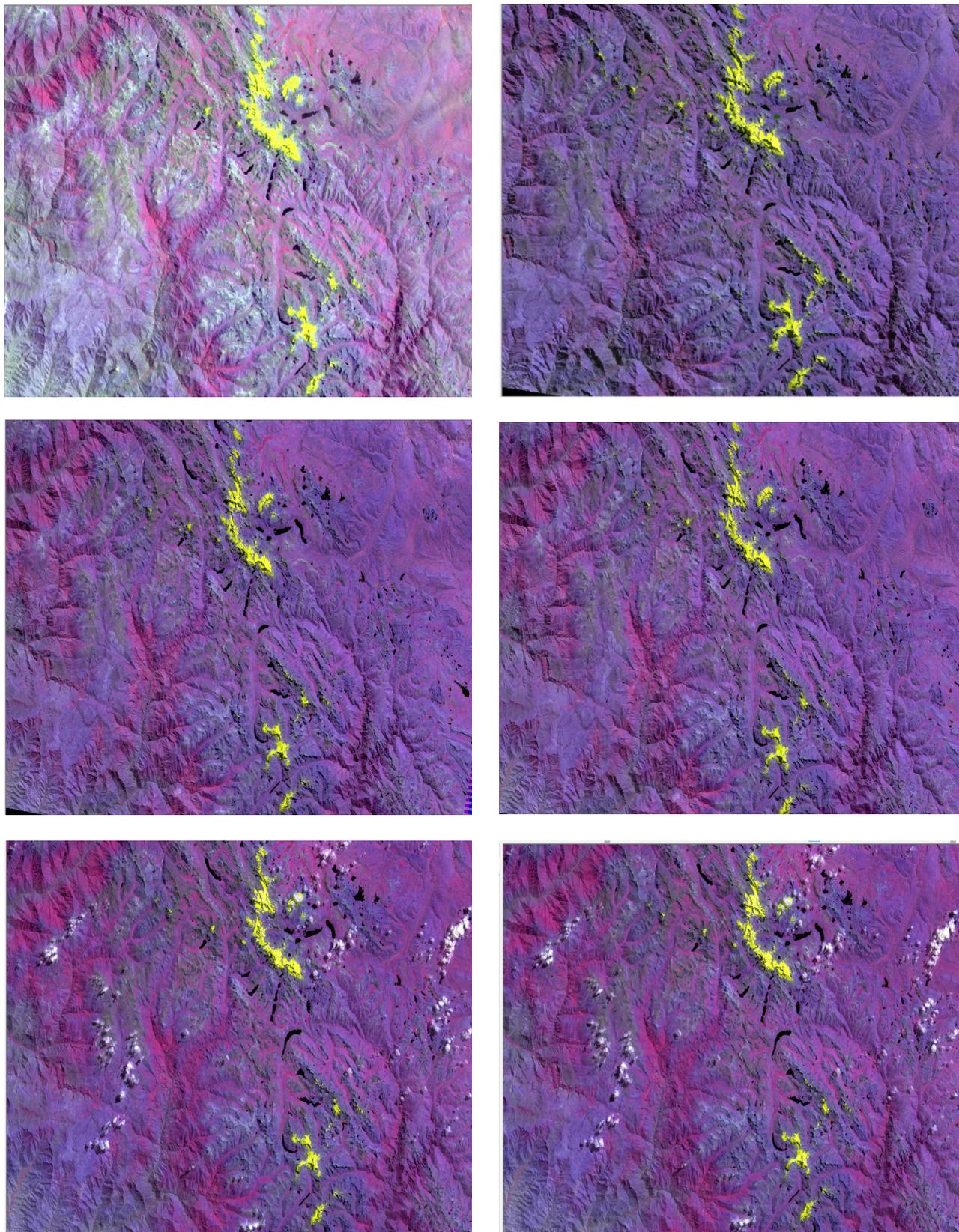
CUADRO 2: CÁLCULO DE R

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.966
Coefficiente de determinación R ²	0.934
R ² ajustado	0.912
Error típico	1.903

Fuente: Elaboración propia

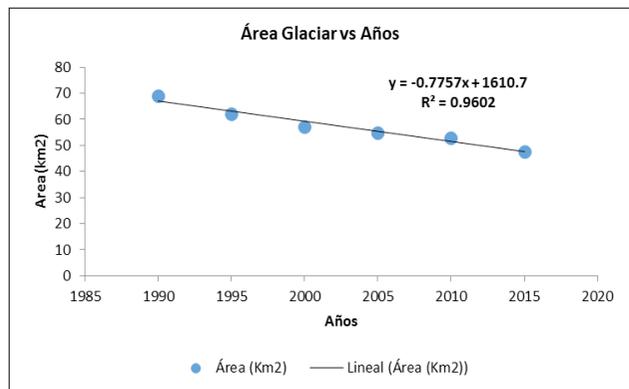


FIGURA 5: FIGURAS COMPARATIVAS DEL RETROCESO GLACIAR EN LA CUENCA DEL RÍO CAÑETE



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 6: RECTA DE REGRESIÓN LINEAL, APLICADO PARA DETERMINAR EL AÑO EN QUE DESAPARECERÍA LOS NEVADOS



Fuente: Elaboración propia

El resultado del r está por encima de 0.9, esto indica que hay una buena correlación entre los datos de ingreso (disminución de las áreas de los nevados respecto a los años).

CUADRO 3: CÁLCULOS ESTADÍSTICOS

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	1627	240.7	6.758	0.007	860.8	2393	860.8	2393
Variable X 1	-0.78	0.12	-6.51	0.007	-1.17	-0.4	-1.17	-0.4

Fuente: Elaboración propia

El cambio climático manifestado en una distorsión de las características climáticas en diferentes partes del mundo está generando graves consecuencias en los recursos hídricos, estos cambios son básicamente el incremento gradual de la temperatura, el que se está incrementando dramáticamente en estos últimos años. Así los nevados se constituyen en los más sensibles a los cambios ante el incremento de la temperatura.

Para el análisis del retroceso glaciar se han considerado imágenes desde 1990 hasta el 2015, con un rango de análisis de 5 años, estableciéndose que entre 1990 y 1995 el glaciar ha perdido un área de 6.8km², entre 1995 y 2000 un área de 4.76 km², entre el 2000 y 2005 un área de 2.59 km², entre el 2005 y 2010 un área de 1.77 km², y entre el 2010 y 2015 un área de 5.24 km². Bajo esta consideración se estima que el glaciar ira perdiendo cada vez su área glaciar hasta que en la década del 2070 podría desaparecer por completo.

CUADRO 4: CALCULO DEL ÁREA DE LOS NEVADOS EN QUE SU ÁREA SEA 0 KM²

Años	Área (km²)
1990	68.90
1995	62.10
2000	57.34
2005	54.75
2010	52.98
2015	47.74
2076*	0.00

(*): Año aproximado donde podrían desaparecer los nevados

Fuente: Elaboración propia.

5.3 Cálculo del volumen del glaciar

Para calcular el volumen glaciar se sigue la metodología utilizada de Bahr et ál. (1996, 1997) y Klein Isacks (1999).

Fórmula propuesta

$$V = cA^b$$

Donde *A* es el área del glaciar en km²; *V* volumen de hielo en km³; *c* un parámetro lineal (*c*=0.048) y *b* un factor exponencial (*b*=1.36).

Siguiendo este procedimiento se ha realizado una aproximación del volumen total de los nevados estudiados. Así en 1990 superaba los 15 km³, disminuyendo 2.0 km³ para el año 1995, mientras que en ese año se estima que el volumen estaba en 13.18 km³. Este volumen disminuyó hasta 11.82 km³ (pérdida total de 3.36 km³), en el año 2000 el volumen se encontraba en 11.82 km³ y para el 2005 el volumen se encontraba en 11.1 km³ (con una pérdida de 4.08 km³, en el 2010 el volumen fue de 10.62 km³, lo que significó una pérdida de 4.56 km³ finalmente para el 2015 el volumen era de 9.22 km³ (pérdida de 5.96 km³). como es de evidenciar es claro la pérdida del

volumen glaciar respecto a años los anteriores, por lo que la pérdida del volumen glaciar desde 1990 hasta el 2015 fue del 30%.

CUADRO 5: VOLUMEN Y PÉRDIDA DE VOLUMEN DE LOS NEVADOS ESTUDIADOS

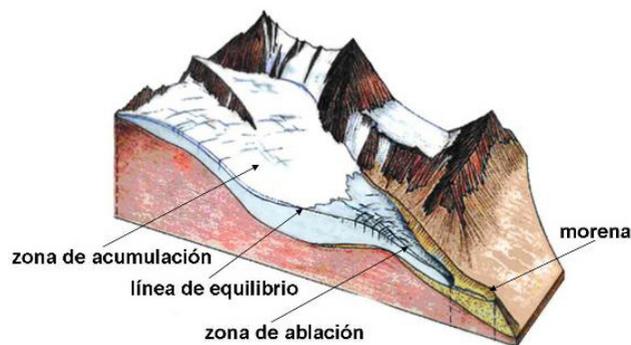
Año	Cálculo	Volumen (km ³)	Pérdida (km ³)	Pérdida (%)
1990	0.048*(68.90) ^{1.36}	15.18		
1995	0.048*(62.10) ^{1.36}	13.18	2	13.2
2000	0.048*(57.34) ^{1.36}	11.82	3.36	22.1
2005	0.048*(54.75) ^{1.36}	11.1	4.08	26.9
2010	0.048*(52.98) ^{1.36}	10.62	4.56	30.0
2015	0.048*(47.74) ^{1.36}	9.22	5.96	39.3
Pérdida total			5.96	39.3

Fuente: Elaboración propia

5.4 Cálculo de la línea de equilibrio glaciar

La Línea de Equilibrio Glaciar (ELA) es la línea que separa la zona de acumulación de la zona de ablación en la superficie del glaciar. En la Línea de Equilibrio Glaciar la acumulación es igual a la ablación, o sea que el balance de masa anual sobre esta línea es cero. La porción del glaciar ubicada por encima de esta línea tendrá al final del año un balance de masa positivo (zona de «acumulación»), mientras que la parte del glaciar ubicada por debajo de la ELA tendrá un balance de masa negativo (zona de «ablación»).

FIGURA 6: ZONAS DE UN GLACIAR



Fuente: Suárez, 2012

Para calcular la ELA se siguió el método indirecto, el cual se fundamenta en la cantidad anual de precipitación y la temperatura promedio anual. La ventaja de este método es que permite relacionar el clima con el comportamiento glaciar. Para calcular la ELA, se siguieron dos métodos:

1. La ecuación de Greene et al. (2002) establecida para las zonas tropicales:

$$ELA = 537 + 1,01FH - 0,51PA$$

Donde FH es la altura de la isoterma 0° y PA la precipitación anual en mm.

2. La ecuación de Condom (2002) y Condom et al. (2007) establecida para una zona intermedia de los Andes que va desde 10° de latitud norte hasta 55° de latitud sur.

$$ELA = 3427 - 1148 (\log_{10} (PA)) + FH$$

Con

$$FH = TA / 0,065 + AI_{estación}$$

Donde TA es la temperatura promedio anual en grados centígrados y AI es la altitud de la estación de medición, el coeficiente de 0,065 es el gradiente altitudinal de temperatura.

Para calcular la ELA, fue necesario datos de entrada como temperatura y precipitación. Para estos parámetros se consideró los datos de las estaciones Yauricocha, Corihuarmi, Huichicocha, Cosmos y Telapacha ubicadas en los departamentos de Lima, Junín y Huancavelica, estos se ubican a una altitud entre 4 500 a 4 700 msnm. Bajo esta consideración se procedió a calcular la temperatura en donde la isoterma será 0°C para cada año dado que el gradiente de temperatura es de 0.65°C por cada 100 metros que se asciende en altitud. En el caso de la precipitación se ha hecho solo una aproximación referencial ya que es un parámetro más variable y dada la escases de la información a la fecha no se puede llegar a conclusiones al 100% valederas.

Como una fuente alternativa se ha incorporado información del Tropical Rainfall Measuring Mission - TRMM (<https://pmm.nasa.gov/trmm>). La información analizada se muestra en Cuadro 6.

De los dos métodos evaluados, se consideró al segundo método (zonas intermedias en los Andes) puesto que el área evaluada se ubica a una latitud aproximada 12° sur, además este método es el que presenta un mayor grado de relación y ubicación de la ELA.

Como se observa, la Línea de Equilibrio Glaciar se ubica cada vez a altitudes mayores, así en 1990 se ubicaba a una altitud de 5 134 msnm, para el año 1995 se ubicó a 5 170 msnm, en el 2000 la ELA estaba a 5 206 msnm, mientras que en el 2005 se ubicó a una

CUADRO 6: UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES CONSIDERAS

Estación	Departamento	Coordenadas		Altitud msnm	Parámetro	registro	Fuente
		Lat.	Long.				
Cosmos	Junín	12°09'	75°34'	4575	Precipitación Temperatura	1982 - 1989	SENAMHI
Yauricocha	Lima	12°19'	75°43'	4675		1990 - 2009	
Telepacha	Huancavelica	12°45'	75°18'	4400		1973 -1982	
Corihuarmi	Junín	12°34'	75°34'	4636		2006 - 2009 2007 - 2009	
Huichicocha	Junín	12°23'	75°31'	4700		1965 - 2005	

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 7: PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL – ESTACIÓN YAURICOCHA

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1987	315.3	180.7	89.8	39.1	12	20.5	70.6	13.2	10.7	27.8	63.7	143.8	987.2
1988	209.1	129.3	214.4	163.9	21.3	10.3	0	10.7	33.8	60.6	81.4	175.3	1110
1989	196.8	176.7	212	49.3	17.7	27.6	8.5	49.7	61.4	86.2	38.4	41.8	966.1
1990	148.9	90.9	107.3	68.6	51.1	32.7	4.5	19.4	54.7	121	124.2	183.4	1007
1991	117.9	172.4	171.1	138	6.5	41.8	8.4	9.7	20.2	118.3	48.9	87.5	940.7
1992	129.3	107.6	128.3	42.1	5.8	12.6	7.5	15.9	7.3	113.8	46.8	51.7	668.7
1993	164.5	183.3	183	177.9	26.8	2.1	18.7	18.1	30.7	120.7	185.3	159.9	1271
1994	228.2	210.7	225.6	163.6	40	8.3	7.4	17.4	54	44	36.9	91.1	1127
1995	148.2	101.8	191.8	68.7	9.8	2.8	7.8	1.9	40.3	65.2	78.4	131.1	847.8
1996	178.3	162.2	102.2	96.1	14.3	1.8	3.3	22.8	40.6	44.1	39.2	133.5	838.4
1997	157.9	183.8	66.8	30.4	8.2	4	1	57.5	38.7	88.6	108.6	182.8	928.3
1998	249.8	176.1	177	65.3	0.7	12.9	2	7.1	15.9	80.9	88.9	99.8	976.4
1999	113.7	233.4	156.1	143.8	47.3	2.6	8.8	5.4	24.7	82.5	62.4	172	1053
2000	191.7	194.9	227.6	63.1	53.8	2.7	19.2	29.1	23.9	131.7	65.4	188.2	1191
2001	208.1	123	242.7		30	4.1	21.4	10.2	47.1	71.4	109.7	46.5	914.2
2002	82.7	211.7	240.5	73.5	36.9	6.1	32.8	16.8	57.4	98.3	148	134	1139
2003	183.2	193.9	197.3	111.8	30.6	0	8.6	12.2		139.2	65.9	163.8	1107
2004	34.9	172.7	150	76.1	6.7	10.2	7.2	14.7	90.7	114.4	77.3	184	938.9
2005	229.7	121	247.6	90	3.6	4.7	1.1	49	39.3	102.1	121.6	133	1143
2007	247.6	138.2	225	102.1	31.1	5.1	0	0	30.1	84.7	50.8	120.3	1035
2008	162.7	236.6	60	47.2	10.3	2.7	0	18	44.9	89.9	43	131.7	847
2009	155.7	240	111.9	115.1	6.3	0	2.4	66.8	27.3	103.4	182.4	267.9	1279

Fuente: SENAMHI

altitud de 5277 msnm, en tanto que en el 2010 se ubicó a 5 310 msnm mientras que en el 2015 se ubicó a 5343.

5.5 Área de Acumulación Glaciar

El área de Acumulación Glaciar (ARR) se determinó a partir de los datos de la ELA y usando los programas computacionales del SIG. Una vez identificada la

altitud de la ELA, se obtuvo la proporción entre la superficie de la zona de acumulación y la superficie total del glaciar (en porcentaje), valor que se conoce como Área de Acumulación Glaciar.

Con ayuda de los programas Google Earth y el ArcGIS, se determinaron las lenguas glaciares de los nevados antes indicados, en conjunto se han identificado 8 glaciares que aportan sus aguas a la cuenca del río Cañete. Para su mejor comprensión los



CUADRO 8: TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (T°C) – ESTACIÓN YAURICOCHA

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1999	13.8	13.3	14.7	14.9	15.6	16.2	14.7	16.4	16.5	15.3	17.2	15.9	15.4
2000	14.8	14.4	13.9	13.7	15	15.5	15.2	14.8	16.9	15.4	18.5	16.1	15.4
2001	13.9	14.6	14.6	14.6	15.2	14.3	14.6	14.6	15.6	16.0	16.2	16.3	15.0
2002	16.9	15.3	15.0	15.4	15.3	15.2	13.9	14.5	14.8	15.6	14.9	15.8	15.2
2003	15.9	15.8	14.5	14.9	14.8	15.8	15.0	15.0	15.2	17.3	17.8	15.4	15.6
2004	17.2	15.0	15.4	16.2	17.0	13.9	14.3	13.6	14.0	15.1	16.3	14.3	15.2
2005	16.0	15.7	15.3	15.9	16.7	16.7	16.1	16.2	15.5	15.7	17.1	15.2	16.0
2006	14.8	14.8	14.5	15.3	16.0	14.6	15.0	15.1	16.2	15.8	14.9	15.7	15.2
2007	15.8	15.8	14.6	15.0	16.0	15.4	15.3	15.9	14.6	15.9	16.7	15.7	15.6
2008	14.3	14.1	14.1	15.4	15.9	15.8	15.7	16.1	16.1	15.7	16.5	16.0	15.5
2009	14.5	14.1	14.2	14.9	15.5	16.2	15.0	15.9	16.4	16.6	16.1	15.4	15.4
2010	15.3	15.5	15.6	16.5	17.1	16.1	17.6	16.8	16.5	16.4	16.6	15.1	16.3

Fuente: SENAMHI

CUADRO 9: ELA SEGÚN LOS MÉTODOS DE GREENE ET AL. (ZONAS TROPICALES) Y CONDOM ET AL. (ZONAS INTERMEDIAS DE LOS ANDES).

Año	Zonas Tropicales (msnm)	Zonas Intermedias de los andes (msnm)
1990	5 225	5 134
1995	5 265	5 170
2000	5 232	5 206
2005	5 307	5 277
2010	5 339	5 310
2015	5 384	5 343

Fuente: Elaboración propia

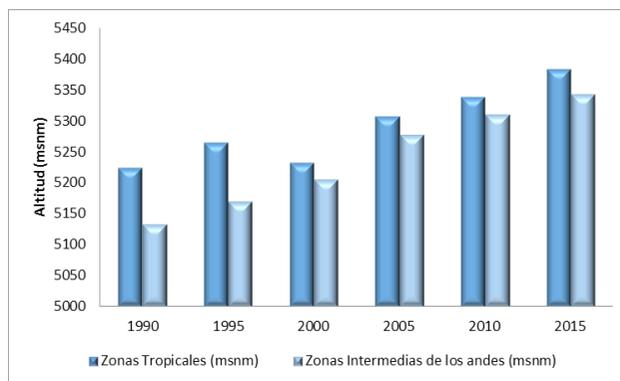
glaciares han sido identificados de la siguiente manera: AG-01, AG-02 hasta AG-08.

CUADRO 10: CÁLCULO DEL ÁREA RATIO ACUMULATION DE LOS GLACIARES

Año	AAR de los glaciares (%)							
	AG-01	AG-02	AG-03	AG-04	AG-05	AG-06	AG-07	AG-08
1990	62.0	45.0	55.0	50.0	41.0	39.0	38.0	48.0
1995	61.0	40.0	64.0	36.0	37.0	50.0	42.0	46.0
2000	59.0	54.0	64.0	36.0	37.0	50.0	42.0	45.0
2005	60.0	50.0	62.0	45.0	45.0	60.0	54.0	62.0
2010	66.0	56.0	65.0	56.0	54.0	62.0	56.0	65.0
2015	63.0	55.0	63.0	53.0	52.0	66.0	46.0	61.0

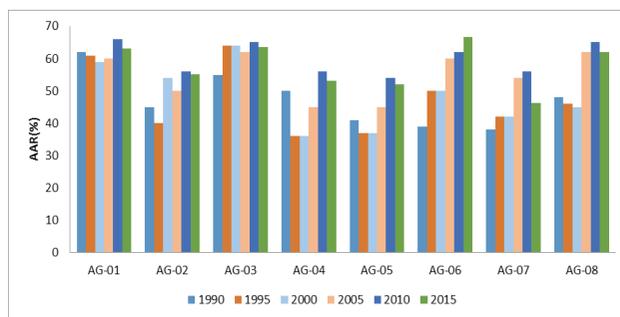
Fuente: Elaboración Propia

FIGURA 7: COMPARATIVO ENTRE LOS MÉTODOS PARA CALCULAR EL ELA



Fuente: Elaboración propia

Figura 8: EVOLUCIÓN DEL ÁREA DE ACUMULACIÓN DEL GLACIAR



Fuente: Elaboración propia.

El ARR de los glaciares oscila entre 40 a 66%, esto tal como se muestra en el Cuadro 10, la relación entre el área de la zona de acumulación y el área total es cada vez mayor en los años más recientes, esto

sería el resultado entre otros factores del incremento constante de la temperatura que se está dando en las últimas décadas y que tiene un efecto dramático sobre los ecosistemas andinos.

Conclusiones

El cambio climático manifestado en una distorsión de las características climáticas en diferentes partes del mundo está generando graves consecuencias en los recursos hídricos, estos cambios son básicamente el incremento gradual de la temperatura, el que se está acelerando rápidamente en estos últimos años. Así los nevados se constituyen en los más sensibles a los cambios ante el incremento de la temperatura.

En 1990 el área de los nevados analizados fue de 68.9 km², y para el año presente un área de 62.1 km², en tanto que para el año 2000 su área fue de 57.34 km², en el 2005 el área fue de 54.75 km², en el 2010 el área era de 52.98 km² y en el 2015 el área fue de 47.74 km²; en este periodo (1990-2015) los nevados presentaron una pérdida del 30% de su área respecto año cero (1990).

Del análisis del retroceso glaciar desde 1990 hasta el 2015 (intervalo de 5 años) se estima que los nevados Ticlia, Llongote, Pariacaca y Collquepucro podrían desaparecer en el 2076.

El volumen total de los nevados en 1990 superaba los 15m³, disminuyendo 2 m³. A partir de esta fecha ha

ido perdiendo su volumen en un rango de 0.4 a 2 m³. Hasta que en el 2015 presentó un volumen de 9.22 m³.

Como es de observar la Línea de Equilibrio Glaciar se ubica cada vez a altitudes mayores, así en 1990 se ubicaba a una altitud de 5134 msnm, para el año 1995 se ubicó a 5170 msnm, en el 2000 el ELA estaba a 5206 msnm, mientras que en el 2005 se ubicó a una altitud de 5277 msnm, en el 2010 se ubicó a 5310 msnm y finalmente en el 2015 se ubicó a 5343 msnm.

El área de acumulación glaciar sigue siendo importante, aunque estos se están reduciendo con el paso de los años, estas áreas oscilan entre 40 a 66%.

Referencias bibliográficas

- ANA (Autoridad Nacional del Agua). (2014). *Inventario de glaciares del Perú*. Lima: ANA.
- ARIZA, A. (2013). Productos LDCM – Landsat 8. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá.
- COGLEY, J. G. *et al.* (2011). Glossary of Glacier Mass Balance and Related Terms, UNESCO-IHP, Paris.
- IGP (Instituto Geofísico del Perú). (2009). *Evolución y fluctuaciones de los frentes glaciares del nevado Huaytapallana*. Lima.
- KASER, G. y GEORGES, C. (1997). «Changes of the equilibrium-line altitude in the tropical Cordillera Blanca, Peru, 1930-1950, and their spatial variations». *Annals of Glaciology*, 24: 344-349. Austria.