

DETERMINACIÓN DEL RETROCESO GLACIAR EN LA MICROCUENCA DE LLANGANUCO, A TRAVÉS DEL ANÁLISIS MULTITEMPORAL EN EL PERIODO 1987-2007

Daniel F. Colonia Ortiz¹, Judith E. Torres Castillo¹

¹Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Facultad de Ciencias del Ambiente, Av. Centenario N° 200, Huaraz, Ancash-Perú

dfco18@hotmail.com, jetce77@hotmail.com,

KEYWORDS: Remote sensing, multi-temporal analysis, glacier retreat, climate change, glaciers, water resources.

ABSTRACT

This study determined the glacier retreat in the watershed of Llanganuco with the application of remote sensing and multi-temporal analysis. The study analyzed the spatial behavior, evolution and trend of the glacier surface due to climate variability, in that context the estimated surfaces in the watershed are: 27.94, 26.42 and 24.07 km² in the years 1987, 1996 and 2007 respectively. It also identified 19 glaciers with different exchange rates that determine the evolution of the glacier surface. Consequently, most notoriety and magnitude of glacier retreat was determined in Broggi glacier, which disappeared in year 2005. Additionally, future scenarios conducted glacier surface for the 19 glaciers in the watershed of Llanganuco, considering the average exchange rates for the period of study, whose results show that the glacier 2 and glacier 12 would disappear in year 2037 to present higher rates of change (-2.87% and -3.0%). The importance of the study was to determine the evolution of glaciers, because they fulfill two roles, indicators of climate variability and hydrological regulators in dry season. The glaciers in the Peruvian Andes are undergoing an accelerated glacier retreat because of climate change, this is evidenced by the negative temperature variations (increases) and precipitation (decreases) in the study area. These phenomena and others have caused the decrease of the glacier surface under study, the impact of which would directly affect the availability of water resources in dry season.

I. INTRODUCCIÓN

El Perú es uno de los pocos países en el mundo que cuenta con sistemas de montañas glaciares tropicales. Aproximadamente el 99% de los glaciares tropicales del mundo se encuentran distribuidos en los Andes Sudamericanos y el 71% de ellos se localizan sobre las Cordilleras del Perú (SGCAN, PNUMA y AECI, 2007). Por lo tanto, es necesario estudiar los glaciares por ser fuentes importantes de abastecimiento del recurso hídrico en el Perú. Además, la variación del clima influye sobre la dinámica de los glaciares, los cuales disminuyen su superficie glaciaria por los procesos de ablación.

El estudio determinó el retroceso de la superficie glaciaria en la microcuenca de Llanganuco, con el uso de imágenes satelitales Landsat 5 TM y la aplicación del análisis multitemporal que permitió extraer información acerca de la evolución de los glaciares, para un periodo de 20 años (1987 a 2007). La investigación se enfoca en el análisis de la superficie glaciaria y las variables climáticas (temperatura y precipitación), cuya variabilidad en el tiempo es consecuencia del cambio climático.

La microcuenca de Llanganuco está situada en la subcuenca de Ranrahirca perteneciente a la cuenca del río Santa, políticamente se ubica en la provincia de Yungay, departamento de Ancash. Perteneciente a la Cordillera Blanca ubicada en el ramal de los Andes del norte del territorio peruano (Hidrandina S.A., 1989). El área de estudio comprende una superficie aproximada de 104.47 km² y un perímetro de 54.60 km, situado al NE de la ciudad de Yungay a una distancia aproximada de 25 Kilómetros.

Geográficamente se sitúa entre los paralelos 8°59'24" y 9°08'11" de latitud Sur y los meridianos 77°41'46" y 77°34'21" de longitud Oeste (Figura 1).

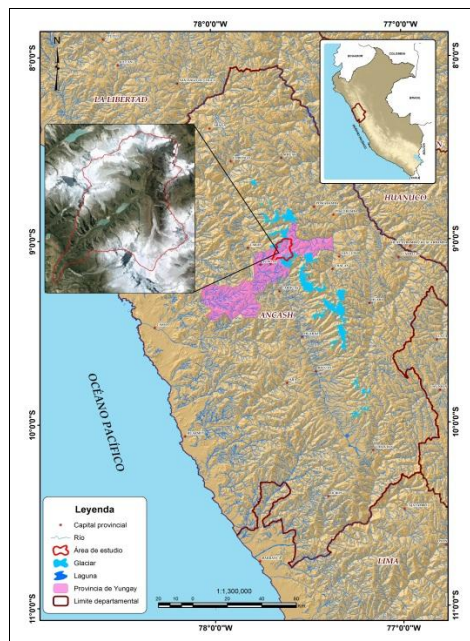


Figura 1. Área de estudio.

II. METODOLOGÍA

2.1. Corrección de imágenes de satélite Landsat 5 TM

Corrección geométrica, radicó en la distribución homogénea de puntos de control (69 puntos, RMS=1.3), según la cartografía base peruana del Ministerio de Educación (MINEDU) a escala 1:100 000 y un modelo digital de elevación (30 m. de pixel), con proyección cilíndrica (Transversal Mercator), sistema de coordenadas UTM, zona 18 Sur y Datum WGS84.

Corrección Radiométrica, consistió en calibrar las imágenes (niveles de radiancia y reflectancia) con sus respectivos archivos de cabecera según APN- SIB, 2005, obteniendo de las imágenes la reflectancia aparente según la siguiente fórmula (Gyanesh, 2009):

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi L_{\lambda} \cdot d^2}{ESUN_{\lambda} \cdot \cos \theta_s} \quad (1)$$

Donde: ρ_{λ} = Reflectancia planetaria al tope de la atmósfera terrestre (TOA).
 L_{λ} = Radiación espectral recibida por el sensor ($W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$).
 d^2 = Es un factor que tiene en cuenta la variación de la distancia Tierra-Sol
 $ESUN_{\lambda}$ = Irradiación solar espectral al tope de la atmósfera ($W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$).
 θ_s = Angulo cenital solar (radianes).

Se realizó la búsqueda y adquisición de Imágenes Landsat 5 TM en el periodo de 1987-2007. Las imágenes fueron obtenidas entre los meses de mayo a agosto, porque en esas fechas se considera que la ablación de un glaciar es mayor y los cambios son significativos.

Características	Landsat 5 TM		
	Imagen 1	Imagen 2	Imagen 3
Fecha	31/05/1987	11/08/1996	22/05/2007
Código de imagen	LT500806619 870531	LT500806619 960811	LT500806620 070522
Resolución (m)	30	30	30
Path / Row	8/66	8/66	8/66
Proyección	UTM	UTM	UTM
Formato	Geotif	Geotif	Geotif
Fuente	USGS	USGS	USGS

Cuadro 1. Características de las imágenes satelitales, obtenidas de la United States Geological Survey (USGS).

2.2. Cálculo del Índice de Nieve/Hielo

La cobertura glaciar se obtuvo según la clasificación no supervisada de coberturas (nieve/hielo), la cual empleó las bandas de mayor y menor respuesta espectral (banda 2=espectro visible y 5= infrarrojo medio), a través del índice espectral de nieve/hielo (NDSI), cuya fórmula es la siguiente:

$$NDSI = \frac{TM2 - TM5}{TM2 + TM5} \quad (2)$$

El valor del umbral para la determinación de la superficie glaciar fue obtenido del proyecto MODIS (Moderate Resolution Imaging

Spectroradiometer) cifrado en $NDSI \geq 0,4 \mu m$ (Andrew y Riggs, 1998).

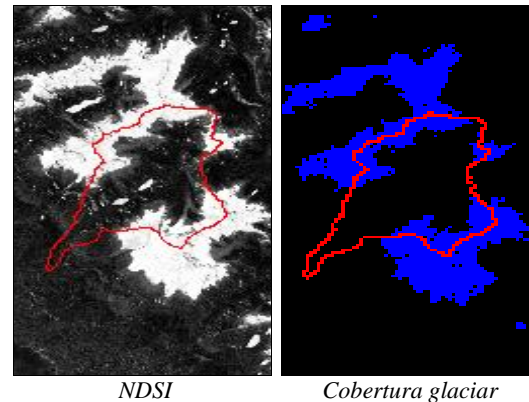


Figura 2. Obtención de la superficie glaciar en la microcuenca.

Para una mejor obtención de la cobertura glaciar se aplicó una clasificación en función a un árbol de decisión, con la finalidad de depurar las zonas que tengan una respuesta espectral semejante a la del glaciar y estén en zonas bajas de la microcuenca de Llanganuco, la cual contempla los siguientes criterios:

- El umbral del índice de nieve/hielo debe ser mayor a $0.4 \mu m$.
- La altura donde se encuentran los frentes glaciares es a partir de los 4500 m.s.n.m, según el modelo digital de elevación (MDE)

Por otro lado, se definió las áreas glaciares como unidad glaciar en función a la dirección del flujo glaciar y la divisoria de aguas. Además, se definió el nombre de los glaciares, según la toponimia del primer inventario de glaciares del Perú del año 1989, sin embargo se encontró glaciares sin nombre. Esto permitió que en el estudio se nombrara a los glaciares usando la palabra “**Glaciar**” más una numeración por ejemplo: “**Glaciar 01**”. El número se da en sentido horario, iniciando en la desembocadura de la microcuenca de Llanganuco.

2.3. Análisis multitemporal de cambio de la cobertura glaciar.

Para el análisis multitemporal se calculó la superficie (Km^2) para cada glaciar en el periodo (1987,1996 y 2007) de estudio, correspondiente a los mapas de cobertura obtenida. A estos datos se les aplicó la siguiente fórmula (Bocco et.al, 2001).

$$N = N_0 (1 + r)^t \quad (3)$$

Donde: N_0 = Superficie de la cobertura glaciar en el tiempo “0”
 N = Superficie de cobertura en el tiempo 1
 r = Tasa de cambio anual.
 t = Diferencia del tiempo en años.

De la ecuación 3 se despeja “r” y se multiplica por 100 para obtener la tasa de cambio en porcentaje:

$$r = \left[\left(\frac{N}{N_0} \right)^{1/t} - 1 \right] 100 \quad (4)$$

2.4. Análisis de coeficiente de correlación y determinación entre el cambio de la cobertura glaciar y las variables climáticas (temperatura y precipitación)

El método de correlación, se utilizó para determinar la “relación” entre las variables climáticas (temperatura y precipitación) y la cobertura glaciar (área), por lo tanto con este método lo que se busca es determinar si existe o no una relación directamente entre las variables.

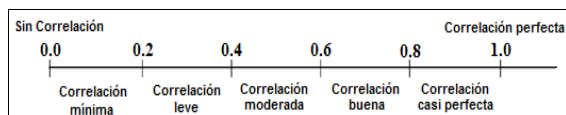


Gráfico 1. Escala de correlación lineal de Pearson (r), válida para tendencia positiva y negativa.

El valor del coeficiente “r” de Pearson, al elevarse al cuadrado (r^2), conseguiremos el coeficiente de determinación, la cual muestra el porcentaje de variabilidad de los valores (datos) y así explica la relación entre las dos variables. (Vila, 2001). Los valores obtenidos se calificaron en forma cualitativa según el gráfico 1.

2.5. Escenario futuro de la superficie glaciar.

Se estimó la superficie glaciar retrocedida para un periodo de 30 años, aplicando la interpolación aritmética, según la tendencia del área calculada de los glaciares.

La superficie glaciar estimada permitió calcular la cantidad de glaciar que probablemente se perderá para el año 2037 según el siguiente modelo matemático (Alva, 2005):

$$P_x = P_0 + \frac{(P_1 - P_0)}{N} \cdot T \quad (5)$$

Donde: P_x = Superficie glaciar en Km^2 que se quiere conocer en el año x.

P_0 = Superficie glaciar en Km^2 para el primer año.

P_1 = Superficie glaciar en Km^2 para el último año.

N = Número de años entre P_0 y P_1 .

T = Número de años entre el primer año y el año que se quiere conocer, es decir, entre P_0 y P_1 .

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Estimación de la superficie glaciar

Se identificó e individualizó (unidades definidas) 19 glaciares según la superficie de los glaciares del primer inventario de glaciares del Perú, año 1989, hecho por Hidrandina S.A. En este inventario se identificó 7 glaciares con nombre y 12 glaciares sin nombre. Sin embargo, se asignó un nombre a los 12 glaciares según su ubicación en la microcuenca para su respectiva identificación.

En la microcuenca de Llanganuco se estimó la superficie glaciares de 27.94, 26.42 y 24.07 Km^2 en los años de análisis (Tabla 1).

Estas superficies muestran un evidente retroceso glaciar, las cuales presentan marcadas pérdidas de superficie como es el caso del glaciar Broggi que para el año 1996 perdió el 70% de superficie y para el año 2007 desapareció.

En el periodo 1987-1996, 6 glaciares que equivalen al 31 % del total superan el 0.1 km^2 de superficie perdida, siendo el glaciar Pisco el que mayor superficie perdió (Tabla 1). En el periodo 1996-2007, 3 glaciares (Glaciar 17, Glaciar 8 y Glaciar 4) que tenían menos del 0.1 km^2 de superficie perdida en el periodo anterior, pasaron a ser glaciares que superarán el 0.1 km^2 .

Por otro lado, los glaciares con mayor superficie glaciar son: Kinzl, Cook, y Chacararaju, por lo tanto, son indudablemente la mayor fuente de recurso hídrico en la microcuenca de Llanganuco durante la época seca.

Nombre del Glaciar	1987		1996		2007	
	Área (km^2)	(%)	Área (km^2)	(%)	Área (km^2)	(%)
Glaciar 1	0.042	0.151	0.034	0.130	0.026	0.108
Glaciar 2	0.105	0.376	0.082	0.309	0.059	0.243
Glaciar 3	0.604	2.161	0.548	2.075	0.470	1.952
Glaciar 4	1.333	4.772	1.271	4.813	1.166	4.843
Glaciar 5	0.145	0.520	0.128	0.486	0.104	0.433
Cook	3.557	12.732	3.408	12.901	3.185	13.231
Pisco	2.125	7.607	1.921	7.272	1.685	7.000
Glaciar 8	1.831	6.552	1.745	6.605	1.593	6.619
Chacararaju	3.145	11.255	2.969	11.24	2.729	11.337
Broggi	0.168	0.602	0.049	0.184	0.000	0.000
Glaciar 11	0.368	1.317	0.326	1.234	0.262	1.090
Glaciar 12	0.343	1.228	0.277	1.048	0.184	0.765
Yanapaccha	1.391	4.980	1.265	4.790	1.097	4.557
Chopicalqui	1.989	7.121	1.928	7.299	1.712	7.111
Kinzl	6.919	24.763	6.744	25.53	6.400	26.586
Glaciar 16	0.769	2.753	0.725	2.746	0.641	2.663
Glaciar 17	2.346	8.395	2.285	8.649	2.122	8.815
Glaciar 18	0.641	2.293	0.605	2.292	0.55	2.283
Glaciar 19	0.118	0.422	0.105	0.399	0.087	0.361
Total	27.94	100	26.42	100	24.07	100

Tabla 1. Superficie glaciar y porcentaje equivalente.

3.2. Estimación de la velocidad del retroceso glaciar para el periodo 1987-2007

Una vez obtenida la superficie glaciar para cada año de análisis, se calculó las tasas de cambio de cada glaciar. Esto mostró superficies con mucho dinamismo. En consecuencia el comportamiento de los 19 glaciares es similar en toda la microcuenca, pero totalmente diferente en relación a sus características de ubicación. Asimismo, algunos glaciares presentan cambios más acelerados que otros. Sin embargo, todos los glaciares siguen una tendencia negativa durante el periodo de estudio.

Los glaciares que han sufrido mayor cambio en su superficie son: Broggi (desapareció), Glaciar 12 y Glaciar 02 para el periodo de 1987 al 2007. Esto significó una reducción de la superficie glaciar en un 100 %, 46% y 44% respectivamente.

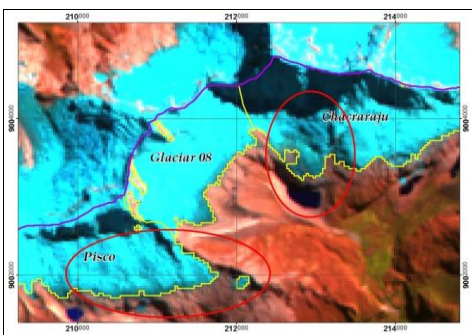
El retroceso glaciar en el área de estudio según el periodo de 1987-2007 (20 años) es del 14 % (Tabla 2), cuyo valor difiere con los calculados en la Sierra Nevada del Cocuy (Santiago, *et.al*, 2004) con 31.22% de retroceso glaciar para el periodo de 1986-2003 (17 años) y la Cordillera Blanca en la ciudad de Huaraz – Perú (Alva, 2005) con 25.63% para el periodo de 1989-2005 (16 años). Esto podría deberse a que los procesos dinámicos de los glaciares (acumulación y ablación) en la microcuenca de Llanganuco mantendrían una característica particular. Además las metodologías aplicadas en los otros estudios son diferentes, pero la tendencia del retroceso glaciar es similar en los estudios, ya que los glaciares son sensibles a la variación del clima.

Nombre del glaciar	1987	TC	1996	TC	2007	Superficie actual referente al año 1987	TC anual promedio (1987-2007)
	Área		Área		Área		
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	%
Glaciar 1	0.042	-2.34	0.034	-2.44	0.026	62	-2.39
Glaciar 2	0.105	-2.77	0.082	-2.96	0.059	56	-2.87
Glaciar 3	0.604	-1.07	0.548	-1.39	0.470	78	-1.23
Glaciar 4	1.333	-0.53	1.271	-0.78	1.166	87	-0.66
Glaciar 5	0.145	-1.37	0.128	-1.86	0.104	72	-1.62
Cook	3.557	-0.48	3.408	-0.61	3.185	90	-0.54
Pisco	2.125	-1.12	1.921	-1.18	1.685	79	-1.15
Glaciar 8	1.831	-0.53	1.745	-0.82	1.593	87	-0.68
Chacararaju	3.145	-0.64	2.969	-0.76	2.729	87	-0.70
Broggi	0.168	-12.87	0.049	-31.07	0	0	-21.97
Glaciar 11	0.368	-1.34	0.326	-1.95	0.262	71	-1.64
Glaciar 12	0.343	-2.36	0.277	-3.63	0.184	54	-3
Yanapacha	1.391	-1.05	1.265	-1.29	1.097	79	-1.17
Chopicalqui	1.989	-0.35	1.928	-1.08	1.712	86	-0.71
Kinzi	6.919	-0.28	6.744	-0.48	6.400	92	-0.38
Glaciar 16	0.769	-0.65	0.725	-1.12	0.641	83	-0.88
Glaciar 17	2.346	-0.29	2.285	-0.67	2.122	90	-0.48
Glaciar 18	0.641	-0.63	0.605	-0.87	0.550	86	-0.75
Glaciar 19	0.118	-1.24	0.105	-1.74	0.087	74	-1.49
Total	27.94	-0.621	26.4	-0.841	24.07	86	-0.73

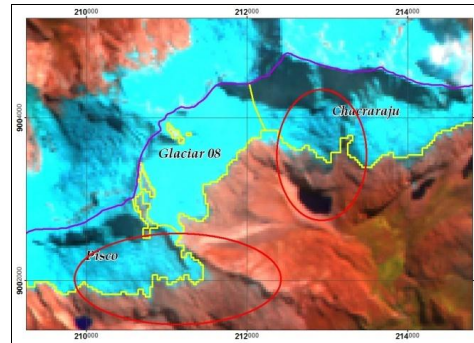
Tabla 2. Tasa de cambio (TC) de la superficie glaciar en el periodo de estudio (1987, 1996 y 2007).

La tasa de cambio promedio anual obtenido en el periodo 1987-2007 a razón de -0.73 km²/año, confirma la innegable retracción generalizado de los glaciares en la microcuenca de Llanganuco para las dos décadas de estudio.

Para ejemplificar el retroceso glaciar, en los años de estudio, se muestra en la figura 3, la evolución de los glaciares Pisco y Chacararaju a través de las imágenes satelitales Landsat 5 TM.



a)



b)

Figura 3. Reducción marcada de la superficie glaciar, en las imágenes satelitales Landsat 5 Tm; © Derechos de Autor de las imágenes Landsat 5 Tm a) año 1987 y b) año 2007.

3.3. Estimación del grado de influencia de la temperatura y la precipitación en el retroceso glaciar.

Durante el periodo de estudio (20 años) se obtuvo los datos de la superficie glaciar anual y los valores representativos de las variables climáticas anuales en la microcuenca de Llanganuco.

La temperatura media anual como variable climática muestra una tendencia de incremento en la microcuenca de Llanganuco. Sin embargo, esta variable, con la superficie glaciar muestra una baja asociación, definida como “correlación mínima”. Por otro lado, la tendencia de la precipitación acumulada anual disminuye en la microcuenca. Esta variable con la superficie glaciar muestra un grado de asociación mayor que la temperatura media anual, definida como “correlación leve”. Estos valores muy reducidos afirman que existe correlación entre la superficie glaciar y las variables climáticas (tabla 3).

Año	Área glaciar total	Temperatura media anual	Precipitación acumulada anual
	km ²	°C	mm
1987	27.94	1.54	563.6
1988	27.77	0.78	683.8
1989	27.59	-0.44	913.3
1990	27.42	0.33	594.5
1991	27.25	0.44	779.6
1992	27.08	0.07	479.1
1993	26.91	-0.33	949.5
1994	26.75	-0.18	701.5
1995	26.58	0.59	672.5
1996	26.42	0.06	705.9
1997	26.19	0.55	241.7
1998	25.97	1.84	661.1
1999	25.75	-0.63	503.6
2000	25.54	-0.47	914
2001	25.32	-0.02	763
2002	25.11	0.73	370
2003	24.9	0.46	483.2
2004	24.69	0.18	579.6
2005	24.48	1.02	461.7
2006	24.28	0.45	684.8
2007	24.07	0.5	579.8

Tabla 3: Registro de datos de cada variable por año (20 años).

Categoría	Correlación de Pearson	
	Temperatura media anual	Precipitación acumulada anual
Superficie glaciar	r = - 0.02	r = 0.28

Tabla 4. Correlación de la superficie glaciar con las variables climáticas.

La correlación de Pearson (tabla 4) ha permitido afirmar que existe un nivel de asociación entre la disminución de la superficie glaciar y la variabilidad de la temperatura y la precipitación. Es decir, la superficie glaciar disminuye por el incremento de la temperatura (tendencia) a razón de 0.0006 °C y la disminución de la precipitación (tendencia) a razón de -8.2628 mm según la tabla 3, para los 20 años de estudio.

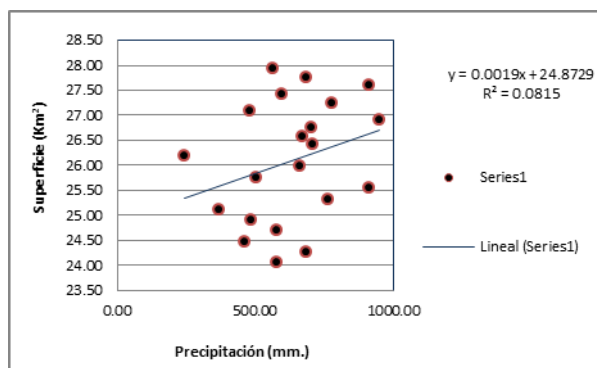
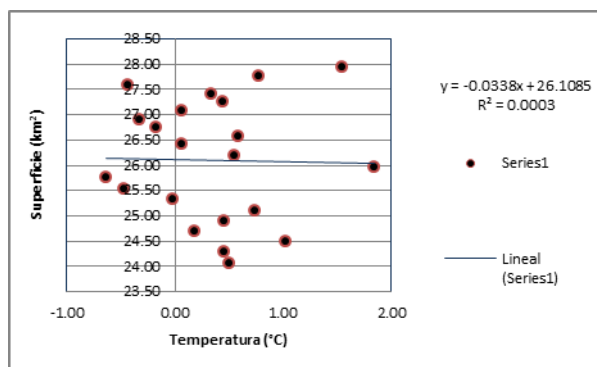


Gráfico 2. Coeficiente de determinación.

La temperatura media anual explica la variabilidad a razón del 0.03% con respecto a la superficie glaciar en el periodo de estudio (20 años). Asimismo, la precipitación acumulada anual tiene una variabilidad del 8.15 % con la superficie glaciar. Los valores de los coeficientes de determinación (gráfico 2) indican, que no sólo las variables climáticas mencionadas influenciarían en el retroceso glaciar, sino que existen otras variables ambientales que podrían explicar la dinámica de la superficie glaciar.

3.4. Escenario futuro del retroceso glaciar para 30 años (año 2037).

Para realizar un escenario futuro, se usó las superficies estimadas en el periodo de estudio (20 años), considerando al año 1987 como inicial y al año 2007 como final. Sin embargo, el glaciar

Broggi no entra en la proyección, porque desapareció en el año 2005 (IGL-UGRH-ANA, 2010).

El escenario futuro se determinó asumiendo que el retroceso glaciar (superficie perdida) para los glaciares en la microcuenca de Llanganuco tiene la misma condición y mantiene su tendencia negativa. Esto permitirá estimar la superficie retrocedida de los glaciares a 30 años (2037) a partir del año 2007, por lo tanto, se aplicó el modelo matemático de interpolación aritmética.

Teniendo en cuenta que la tendencia y la tasa de cambio de los glaciares son generalizadas (la misma tasa de cambio), según la tasa de cambio de la superficie glaciar total, los posibles glaciares que desaparecerían para el año 2037 serían el glaciar 2 y el glaciar 12, por presentar mayores tasas de cambio en el periodo de estudio, cuyos valores son -2.87% y -3.00% respectivamente (tabla 2). Estas tasas representan el porcentaje de retroceso glaciar de año en año.

La superficie glaciar total en la microcuenca de Llanganuco para el año 2037 será 18.27 Km², por consiguiente la superficie glaciar se reduciría en un 35% con referencia al año 1987 (tabla 5). Cabe mencionar que la proyección podría variar por influencia de otras variables ambientales como también por las características particulares de cada glaciar, durante los 30 años de proyección.

Nombre del glaciar	Área estimada			Área proyectada
	1987	1996	2007	2037
	Km ²	Km ²	Km ²	Km ²
Glaciar 1	0.042	0.034	0.026	0.002
Glaciar 2	0.105	0.082	0.059	0
Glaciar 3	0.604	0.548	0.470	0.269
Glaciar 4	1.333	1.271	1.166	0.915
Glaciar 5	0.145	0.128	0.104	0.043
Cook	3.557	3.408	3.185	2.626
Pisco	2.125	1.921	1.685	1.024
Glaciar 8	1.831	1.745	1.593	1.237
Chacararaju	3.145	2.969	2.729	2.106
Broggi	0.168	0.049	0	0
Glaciar 11	0.368	0.326	0.262	0.104
Glaciar 12	0.343	0.277	0.184	0
Yanapaccha	1.391	1.265	1.097	0.655
Chopicalqui	1.989	1.928	1.712	1.295
Kinzl	6.919	6.744	6.400	5.621
Glaciar 16	0.769	0.725	0.641	0.449
Glaciar 17	2.346	2.285	2.122	1.787
Glaciar 18	0.641	0.605	0.550	0.413
Glaciar 19	0.118	0.105	0.087	0.040
Total	27.94	26.42	24.07	18.27

Tabla 5. Escenario futuro de la superficie glaciar.

IV. CONCLUSIONES

Se estimó la superficie glaciar total en la microcuenca de Llanganuco a razón de 27.94, 26.42 y 24.07 Km² en el periodo de estudio. En ese sentido se determinó los índices de retroceso glaciar para los periodos 1987-1996 y 1996-2007. En cada periodo se estimó la superficie total reducida a razón de 1.523 Km² en 9 años y 2.345 Km² en 11 años.

La velocidad del retroceso glaciar (índice de retroceso glaciar) para los 19 glaciares en la microcuenca de Llanganuco indica que

cada glaciar posee su propia dinámica y magnitud de cambio. Los glaciares con mayor tasa de cambio son: el Glaciar Broggi con -21.97%, el glaciar 12 con -3% y el glaciar 2 con -2.87%. De igual modo los glaciares con menor tasa de cambio son: el glaciar Cook con -0.54%, el glaciar 17 con -0.48% y el glaciar Kinzl con 0.38%.

Las variables climáticas influyen en el retroceso glaciar de la microcuenca de Llanganuco. Estas influencias se confirmaron con la correlación estadística de Pearson (r) para ambas variables climáticas en los 20 años de análisis. Es decir, La correlación de la temperatura media anual y la superficie glaciar alcanzó a ser de -0.02 (correlación mínima). Por otra parte, la correlación de la precipitación acumulada anual y la superficie glaciar es de 0.28 (correlación leve).

La superficie de los glaciares en la microcuenca de Llanganuco fue proyectada para el 2037, obteniendo una superficie total de 18.27 Km², la cual equivale a un 65% de superficie glaciar con respecto al año 1987. Esto demuestra que el escenario futuro del retroceso glaciar para 30 años a partir del año 2007, perdería una superficie glaciar de 5.8 Km². Asimismo los probables glaciares que desaparecerían son el glaciar 2 y el glaciar 12, ya que presentan las mayores tasas de cambio (-2.87% y -3.00%) en el periodo de estudio.

AGREDECIMIENTO

A la Oficina General de Investigación y Cooperación Técnica-de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM) Huaraz - Ancash - Perú por el financiamiento, a Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos - Huaraz (UGRH), al Ministerio de Agricultura por brindar información documentaria y registros de datos Hidrometeorológicos y a la NASA por la disponibilidad gratuita de las imágenes de satélite Landsat que ayudó a aplicar las técnicas de la teledetección espacial. Finalmente, a la oficina del Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SERNANP) por permitirnos el ingreso al Parque Nacional Huascarán (microcuenca de Llanganuco).

REFERENCIAS

Referencias de revistas

Andrew G. K., Hall, D. K. y Riggs, G. A, 1998, Global snow cover monitoring using MODIS, Ponencia en el 27º Simposio Internacional de Teledetección del Medio Ambiente de Tromsø, págs. 363-366.

Referencias de Libros

Alva Huayaney Miguel, 2005, “Aplicación de la teledetección para el análisis multitemporal de la regresión glaciar en la Cordillera Blanca, provincia de Huaraz, distritos Huaraz e Independencia, periodos: 1989 –1998 – 2005”, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Fac.CCSS, EAP de Geografía, Lima, Perú, 11 Págs.

Área de Inventario de Glaciares y Lagunas (IGL)-Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos (UGRH)- Autoridad Nacional del Agua (ANA), 2010, informe de lagunas Cordillera Blanca, Huaraz, 12 págs.

Bocco Gerardo; Masera Omar y Mendoza Manuel. 2001. La dinámica del cambio de uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. Boletín del Instituto de Geografía. UNAM. N°. 44. Págs. 18 -38.

Gyanesh Chander, Markham Brian L. y Helder Dennis L. , 2009, Remote sensing of environment: summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors, [S.L.], Elsevier, 11 págs.

Hidrandina S.A., Unidad de Glaciología e Hidrología, 1989, “Inventario de glaciares del Perú”, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYTEC), 105 Págs.

Santiago Yonny, Soria Maria, Posada Elena y Guillen Joesi. 2004. “Estudio multitemporal del retroceso glaciar a través de imágenes de sensores remotos y SIG en la sierra Nevada del Cocuy, Cordillera Oriental de Colombia, periodo 1960 - 2003”. Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Santafé de Bogotá. Colombia.

Secretaría General de la Comunidad Andina (SGCAN), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI), 2007, El fin de las cumbres nevadas? Glaciares y Cambio Climático en la Comunidad Andina, edición Libélula Comunicación, Ambiente y Desarrollo S.A.C., Lima, 104 págs.

Referencias de Webs

Administración de Parques Nacionales (APN), 2005, Sistema de Información de Biodiversidad (SIB): Protocolo para el preprocesamiento de imágenes satelitales Landsat para aplicaciones de la Administración de Parques Nacionales, Buenos Aires, Argentina, 22 págs.

http://www.sib.gov.ar/archivos/Protocolo_img_Landsat.pdf (accedido el 13 de agosto del 2010)

Ministerio de Educación (MINEDU), Información de instituciones educativas, estadística y cartografía de la educación. www.minedu.gob.pe (accedido el 01 de julio del 2010)

United States Geological Survey.

<http://glovis.usgs.gov> (accedido el 20 de agosto del 2010)

Vila Alicia, Sedano Máximo, López Ana, Ángel A. Juan, 2001, Correlación lineal y análisis de regresión, Proyecto e-Math, Financiado por la Secretaría de Estado de Educación y Universidades (MECD) ,21 págs.

<http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/RegresionLineal.pdf> (accedido el 24 de octubre del 2010)