

ESTUDIO DE LA DINAMICA SUPERFICIAL DE GLACIARES EN LA CORDILLERA HUAYTAPALLANA POR SENSORAMIENTO REMOTO: PERIODO 1976 - 2006 HUANCAYO – PERÚ

Ricardo Zubieta y Pablo Lagos

Instituto Geofísico del Perú. Email. *ricardo.zubieta@igp.gob.pe, plagose@gmail.com*

RESUMEN

El objetivo de este estudio es analizar el comportamiento espacial del sistema de glaciares de circo que presenta la cordillera Huaytapallana. Se ha empleado imágenes tomadas por el Satélite Landsat sensores MSS, TM, ETM. Pertenecientes al mes de junio, mes en que el grado de perpetuidad de la masa glaciar es mayor, caracterizado por bajas temperaturas y ausencia de precipitaciones. La metodología empleada es la clasificación del NDSI (Normalized-Difference Snow Index), propuesto por el proyecto MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer). En base a ello, se ha observado un acelerado proceso de ablación glaciar, alcanzando su mayor pérdida en el año 2006 de hasta un 57.4% en toda su superficie. Asimismo la dinámica espacial del retiro glaciar en la cordillera Huaytapallana, depende en gran parte de la orientación de masas glaciares, por ello hay una marcada diferencia en la distribución del retroceso en diversos circos y frentes.

INTRODUCCIÓN

Los glaciares tropicales son excelentes indicadores de la evolución del clima por su extrema sensibilidad a las variaciones de los parámetros meteorológicos como las temperaturas, la radiación y las precipitaciones, etc. (Pouyaud et al. 1995). Los glaciares del Perú incrementan su masa durante los meses de verano; disminuyendo rápidamente por fusión., debido al incremento de la temperatura estacional hasta la llegada de meses más fríos. Al igual que en la Cordillera Blanca en Ancash, que en materia de superficie glaciar, al 2003 posee $\pm 535 \text{ Km}^2$, lo cual significa que entre 1970 y el 2003 se ha producido una reducción del 26 %, (Taksi et al. 2008). La cordillera Huaytapallana también se ha visto mermada en su cobertura, presentando un acelerado retroceso, modificando el régimen hídrico de lagunas y ríos. Asimismo tiene una gran importancia para la cuenca del Mantaro, por su aporte a la seguridad alimentaria del valle del Mantaro al sistema hidroenergético de la subcuencas de los ríos Shullcas y Pariahuanca.

Cordillera Huaytapallana

Se encuentra ubicada en la cordillera oriental de los andes centrales del Perú, conformada por los nevados Pacaco, Tello, Putcacocha, Anchigrande, Chuspi, Talves, Puihuan, Huaytapallana, Ventanilla y Cochabambas. Forma parte del límite de las cuencas hidrográficas de los ríos Mantaro y Perené. Por su morfología es un sistema de glaciares de circo, no posee una gran cuenca de alimentación, presentando masas pequeñas en todos sus frentes en forma de anfiteatro, sus paredes son escarpadas y muy empinadas. Aporta al régimen hídrico de las subcuencas de los ríos Shullcas, Pariahuanca, Achamayo (drenan sus aguas al río Mantaro) y Tulumayo (drena hacia el río Perené). De otro lado ha presentado actividad geodinámica, ocasionando daños que afectaron a la población, entre los más importantes los eventos del 1 de octubre de 1969 asociado a un sismo en la falla del Huaytapallana y 28 de diciembre de 1990, el cual ocasionó un aluvión en la subcuenca del río Shullcas que dejó más de 3000 damnificados en la ciudad de Huancayo y anexos. Las masas de hielo ubicadas en los circos y frentes glaciares en la naciente del río Shullcas son glaciares colgados, altamente agrietados el cual presentan deslizamientos y su pendiente media en el borde de su zona de acumulación supera el 70%, mientras que las masas glaciares en los frentes que drenan al río Pariahuanca, es del 40%. Esa diferencia explica la mayor distribución de cobertura glaciar en el Pariahuanca, comparado con la del Shullcas.

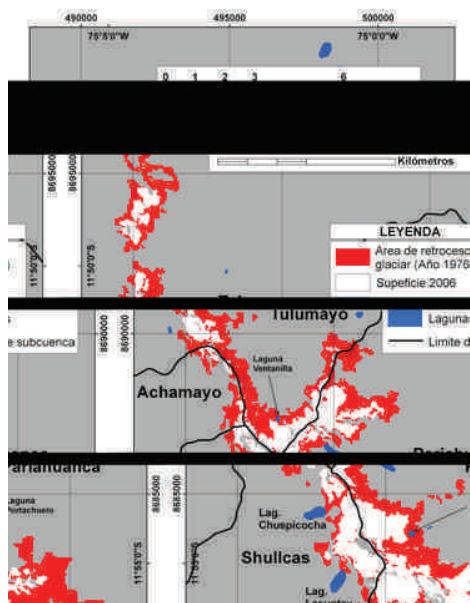
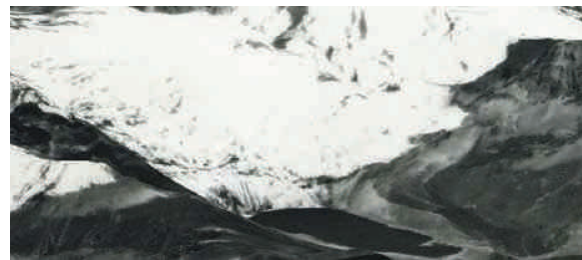


Figura 1. Comportamiento de glaciares 1976-2006



1983



2009

Figura 2. Laguna Lasuntay.

La cordillera Huaytapallana cuenta con la presencia típica de lagunas, cuya alimentación se debe a la fusión de masa glaciar, siendo retenidas por un diques morrénicos. Entre las principales tenemos a las lagunas Chuspicocha y Lasuntay. El represamiento natural del Chuspicocha y Lasuntay es el principal aporte directo de descargas en los meses de estiaje al río Shullcas y la laguna Cochagrande al río Pariahuanca respectivamente. Por otro lado la cordillera Huaytapallana ($11^{\circ}52'S$) en un mes de junio característico, esta expuesta aproximadamente a una incidencia solar en superficie de 170 W/m^2 . En el caso de la Cordillera Blanca en Ancash ($09^{\circ}10'S$) esta expuesta a 190 W/m^2 (distribución de insolación, Hartmann 1994). Ambas magnitudes altas; pero típicas de zonas tropicales.

METODOLOGÍA

Debido a la necesidad de comparar más de una imagen de satélite en distintas fechas y años, fue necesaria una serie de composiciones, cálculos y correcciones a las imágenes. Para el análisis de mapas y composición de bandas se empleó herramientas de sistemas de información geográfica SIG en entorno raster, en el software Arcgis. Se empleó las extensiones: spatial analyst para las correcciones radiométricas, cálculos de reflectancia, NDSI y la extensión 3d analyst para la generación de un modelo de elevación digital. La escala a trabajar fue 1-50,000 con resolución espacial a 30 metros.

Recopilación de imágenes satelitales: Las imágenes de satélite Landsat 1976, 1985, 1991, 1996, 1997, 1998, 2000, 2002, 2005, 2006, pertenecientes al mes de junio fueron seleccionadas, debido que en este mes el grado de perpetuidad de la masa glaciar es mayor, caracterizado por bajas temperaturas y ausencia de precipitaciones.

Corrección geométrica y radiométrica: Se realizó el ajuste de las propiedades geométricas de las imágenes para corregir, la escala, rotación y otras distorsiones espaciales de tal manera que esté de acuerdo con el sistema de coordenadas de la cartografía nacional WGS84 Z18S. Así como la calibración radiométrica, mediante la conversión de los niveles digitales ND obtenidos por el satélite a valores de radiancia.

Cálculo de reflectancia: Las imágenes que son tomadas por satélites de observación, se encuentran contaminadas por la luz solar, nubes, así como atenuación por efectos atmosféricos (Ormeño 2004). Para

corregir estos aspectos se realizó la conversión de radiancia a reflectancia, mediante la metodología propuesta por Chander et al.2009.

Cálculo de NDSI (Normalized-Difference Snow Index) el NDSI ajusta el límite de cobertura glaciar permitiendo diferenciarla de la roca. Para ello se emplea las reflectancias resultantes de las bandas espectrales 2 (rango del espectro visible 0.52-0.60 μm) y 5 (rango del infrarrojo medio 1.55-1.75 μm) de Landsat. La reflectancia de la nieve/hielo aumenta conforme disminuye la longitud de onda, especialmente por debajo de 0,8-1,2 μm. Además posee muy baja reflectancia para longitudes de onda superiores a 1,5 μm. Esta considerable y característica diferencia en su respuesta es la que es aprovechada para distinguir aquellas zonas de la imagen que están cubiertas por nieve/hielo de aquellas otras que no lo están (Maestro I. et al 2004).

$$NDSI = \frac{TM2 - TM5}{TM2 + TM5}$$

El valor umbral mínimo, tomado a partir del cual se considera la transición de nieve a hielo ha sido empleado para el proyecto MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) cifrado en 0,4 (Andrew et al., 1998).

Mediante el cálculo del NDSI, se comprobó que el umbral mínimo de 0,4 propuesto, es el más adecuado. Pues los NDSI resultantes de cobertura glaciar para la cordillera Huaytapallana fluctúan entre 0,4 y 0,9, presentando ligeros errores perimetales sujetos a corrección por causa de las zonas de umbría (sombra).

Clasificación Supervisada y DEM Debido a errores perimetales registrados a causa de las zonas de umbría, que superaban el valor umbral de 0,4. Se requirió una corrección supervisada no tomando en cuenta su reflectancia en la clasificación raster y la eliminación de dichas zonas.

Para el análisis vertical se generó un modelo de elevación digital DEM, mediante imágenes estereoscópicas ASTER del año 2004, el modelo tiene una resolución espacial de 30m con un error medio vertical aproximado de 24m, obtenido mediante puntos de control GPS tomados en la zona de estudio. En base a ello se pudo estimar el rango de variación en altitud de la cobertura glaciar mediante análisis en 3d y superposición de mapas. Así también la dinámica superficial de algunos circos glaciares en el periodo 1976-2006 mediante perfiles longitudinales.

RESULTADOS

De acuerdo a las imágenes analizadas y el análisis en el modelo de elevación digital, la cordillera Huaytapallana registra:

Año	Area 2d(Km ²)	Area superficial (Km ²)
1976	35.6	40.2
2006	14.5	17.1

$$P_f = \frac{S}{T \cdot L} \dots\dots\dots \text{Eq. (1)}$$

Tabla 1: Superficie glaciar periodo 1976-2006

De otro lado con el objetivo de estimar el ritmo de fluctuaciones en las zonas de mayor impacto ubicado en los frentes glaciares de la naciente del río Tulumayo, definimos el parámetro de fluctuación (Pf)(1), como el cociente entre la superficie neta (S) que ha fluctuado en un cierto periodo y el producto entre el número de años de dicho periodo (T) y la longitud del frente glaciar al inicio de cada periodo (L).

Los valores obtenidos (unidades metros /año)

Tabla 2

	1976-1991	1991-2006
Pf	5.6	18.7

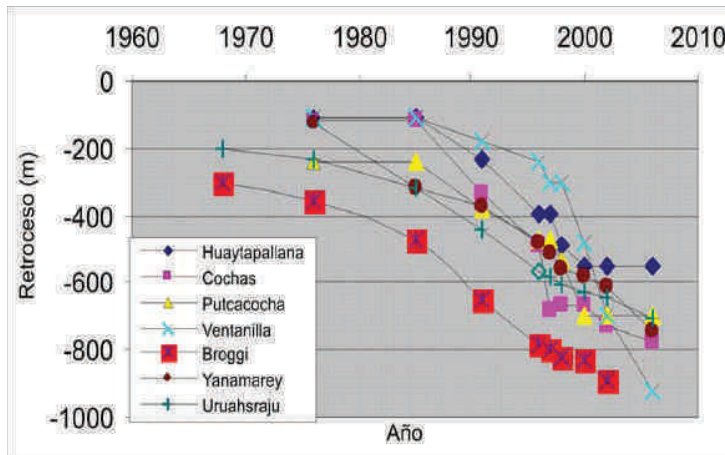


Figura 3. Evolución de los principales circos y frentes naciente del río Tulumayo.

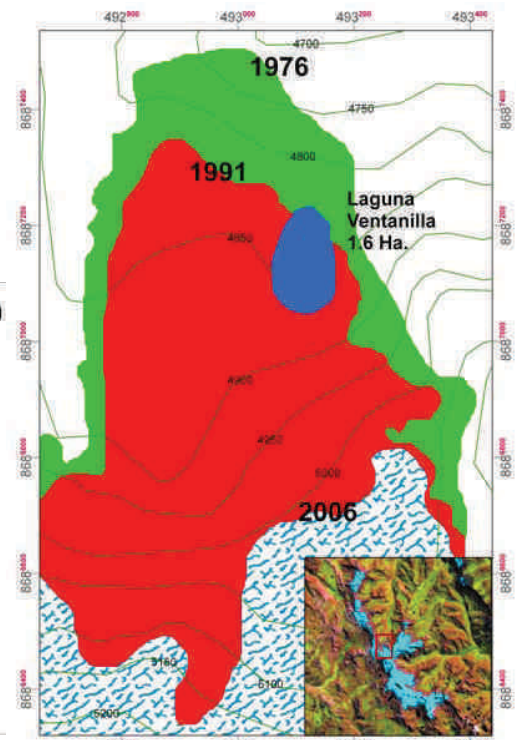


Figura 4. Retroceso en el frente glaciar glaciares.

La dinámica glaciar de los circos difiere, debido a que se encuentran sobre pendientes de moderadas a altas, dificultando la capacidad de almacenamiento de nieve. Por ejemplo el retiro glaciar registrado, con un margen de error horizontal provisto del satélite de ± 30 m en el frente glaciar del río Tulumayo (Nevado Ventanilla) presenta 919 m en dirección N30°W, seguida por la subcuenca del Pariahuanca (Nev. Cochas) con 778 m (Laguna Portachuelo) en dirección S60°E. El Achamayo (Nev. Putcacocha) con 694 m en dirección N65°E y Shullcas 548 m (Laguna Lasuntay) en dirección Sur. Este comportamiento es similar a lo ocurrido en la Cordillera Blanca, con algunos nevados como Broggi, Yanamarey, Uruashraju. (Portocarrero 2008). De estos datos obtenidos se observa la misma tendencia en glaciares de ambas cordilleras: el marcado retroceso que se acelera en la década de los 80 y 90, así como la estimación de la línea de equilibrio el cual registra un retroceso aproximado de 158 m. en el nevado Huaytapallana en el periodo 1976 - 2006. En una época en que el calentamiento global hace previsible la desaparición de numerosos glaciares tropicales (Thompson et al; 1993). La tendencia de la cobertura glaciar en la cordillera Huaytapallana resulta negativa, con ello una posible desaparición de la cobertura glaciar en las próximas décadas.

De acuerdo al modelo de elevación digital DEM y superposición de imágenes se estableció el comportamiento de los circos y pequeñas lenguas glaciares que aun persisten en el tiempo para 1976 - 2006 y cuya dinámica obedece no solo a los factores climáticos; sino también a la orientación de las masas glaciares, como se puede observar en la figura 5 en la cual el rango de variación es distinto en cada vertiente.

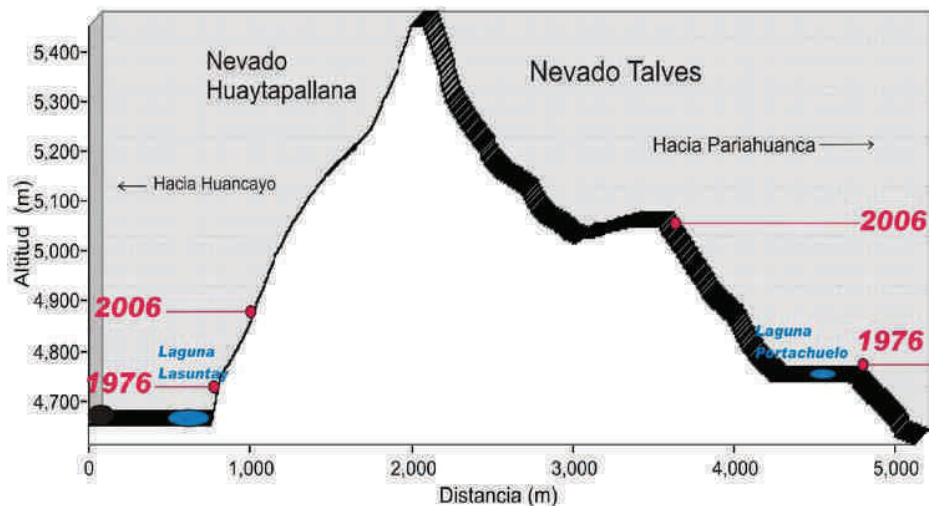


Figura 5. Comportamiento de los nevados Huaytapallana - Talves (Dirección N40°E)

Debido al retiro glaciar, se ha dado la formación de las lagunas Ventanilla y Portachuelo, en las nacientes de los ríos Tulumayo y Pariahuanca con una extensión de 1,6 y 2,9 hectáreas respectivamente. Para ello la visualización paulatina de estas lagunas se da a partir de junio 1991, con una visualización casi total debido a la ausencia de nieve a partir de junio del año 2000.

CONCLUSIONES

Los glaciares de circo de la cordillera Huaytapallana se encuentran en un proceso acelerado de ablación, esto ha implicado una reducción entre junio 1976 a junio 2006 de 40.2 a 17.1 km², representando una pérdida del 57.4% de acuerdo al análisis superficial del modelo de elevación digital e imágenes de satélite.

El ritmo de retroceso en el frente glaciar de mayor impacto aumentó notoriamente de 5.6 m/año en el periodo 1976-1991 a 18.7 m/año en el periodo 1991-2006.

La dinámica espacial del retiro glaciar en toda la cordillera Huaytapallana, depende principalmente de la orientación de sus masas glaciares depositadas, así como su morfología. Por ello la marcada diferencia en la distribución del retroceso en circos y frentes correspondientes a las nacientes Shullcas, Tulumayo, Pariahuanca.

La línea de equilibrio (ELA) estimada en el nevado Huaytapallana registra un retiro aproximado de 158 metros.

REFERENCIAS

Thompson L.G., Mosley - Thompson E., Davis M., Lin P.N., Yao T. & Dyurgerov M. (1993) "Recent warming": Ice core evidence from tropical ice cores with emphasis on central Asia. *Global and Planetary Change*, 7 : 145-156.

Pouyaud B., Francou B., & Ribstein P., (1995) Un réseau d'observation des glaciers Dans les Andes tropicales. *Bulletin de l'Institut Français d'Etudes Andines*, 24(3): 707-714. *Bulletin thématique: "Eaux. Glaciers et changements climatiques dans les Andes Tropicales"* (Ribstein, P. & Francou, B., ed.). Seminario internacional, 13-16 de junio 1995, La Paz (Bolivia)

Andrew G. K., Hall, D. K. y Riggs, G. A. (1998): "Global snow cover monitoring using MODIS", Ponencia en el 27° Simposio Internacional de Teledetección del Medio Ambiente de Tromsø. 8-12 de junio, pp. 363-366.

- Chueca J. ; Julián , A. ; Saz, y Peña, J.L. (2002) “ Comparación de la situación de los glaciares del Pirineo español entre el final de la Pequeña Edad de Hielo y la Actualidad” Boletín Glaciológico Aragonés, 3 13-41
- Gyanesh Chander, Brian L. Markham, Dennis L. Helder (2009) Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors – Remote Sensing of Environment 113 (2009)
- Hartmann Dennis (1994): Global Physical Climatology - International Geophysics Series p.27-31
- Instituto Geofísico del Perú, (2005): Atlas Climático de precipitación temperatura del aire en la cuenca del Río Mantaro. Fondo Editorial del CONAM.
- Maestro Cano, I. Recio Recio, J. (2004): “Análisis comparativo de distintos métodos de estimación de la superficie glaciar en el Pirineo axial aragonés a partir de imágenes Landsat”, GeoFocus nº 4, p. 79-92.
- Ormeño Villajoz (2004) Teledetección Fundamental Madrid – España
- Portocarrero Cesar (2008) Comunicación Personal
- Tacsi A., Zapata Marco., Arnaud Yves., “Inventario de Glaciares y Lagunas Altoandinas de la Cordillera Blanca” (Ancash - Peru) VII Encuentro Internacional de Investigadores del Grupo de Trabajo de Nieves y Hielos de America Latina Del Phi-Unesco Manizales, Colombia, 26 Al 30 De Agosto De 2008.