

Comparación de Técnicas para el Mapeo de Cobertura Glaciar con Imágenes LANDSAT y ASTER en la Cordillera Blanca, Ancash, Perú

Christian Vargas Gonzáles, Carmen Villon Reinoso, José Pasapera Gonzales

Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial - CONIDA
Luis Felipe Villaran 1069 - San Isidro Lima – Perú

Abstract. The study area is located at Ancash region - Peru, where target glaciers are part of the Cordillera Blanca, the highest tropical cordillera on the world. Two remote sensing mapping techniques were applied in order to map glacier areas using both Thematic Mapper (LANDSAT) and Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflectance (ASTER) images. LANDSAT images used for this study was calibrated to apparent reflectance while the ASTER image was used on radiance values as well as on apparent reflectance. The two methods applied were the red – infrared band ratio and NDSI which allowed us to discriminate glacier, lagoons and shadows areas. Results from both sensor images processing using these methods were compared; also image radiometric characteristics were taken into account. Resulting mapping areas were similar, however depending on the method, confusion between lagoons and shadows occurred when mapping glacier (ice/snow) areas.

Keywords: remote sensing, image processing, glacier, NDSI, Band Ratio. LANDSAT, ASTER.

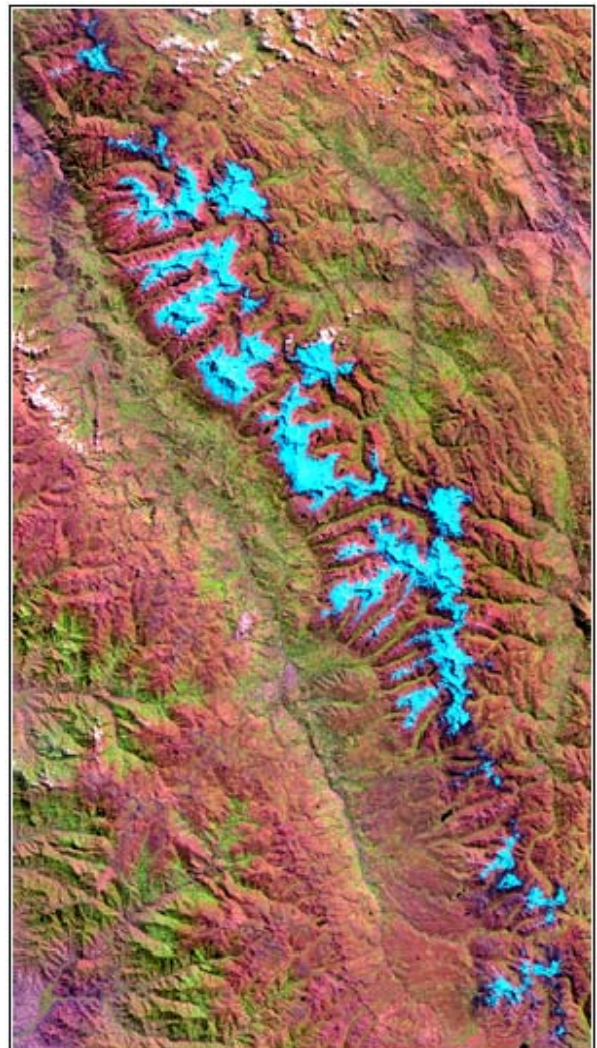
1. Introducción

Los glaciares son indicadores sensibles del calentamiento Global; debido a esto en la última década los investigadores del Calentamiento Global se han interesado en estudiarlos y analizarlos.

Una de las herramientas para estudiar la evolución de los glaciares es la Percepción Remota la cual a través del análisis multi-temporal de las imágenes de satélite, permite evaluar la evolución de los glaciares y obtener datos importantes para determinar la influencia del calentamiento global sobre ellos.

Las técnicas más usadas para la extracción del áreas de cobertura glaciar a partir de imágenes de satélite son las clasificaciones de los ratios e índices entre bandas, técnicas que son factibles de usar debido a las diferencias en la respuesta espectral que son registradas en una cobertura glaciar (Nieve y/o Hielo) la cual aumenta en el espectro visible con respecto al infrarrojo.

El presente trabajo hace un análisis de dos métodos de mapeo de cobertura glaciar, como son el método del ratio entre la banda roja y la banda infrarroja y el Índice Normalizado de Nieve (Normalized Difference Snow Index - NDSI), los mismos que han sido comparados para evaluar su efectividad.



2. Metodología del Trabajo

Las imágenes utilizadas corresponden al sensor THEMATIC MAPPER (LANDSAT) y del sensor Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER). Las áreas elegidas para llevar a cabo el análisis de la efectividad del ratio R/IR son las circundantes a los nevados: Artesonraju, Huandoy, Huascarán para la imagen LANDSAT – TM y Tunsho, Santa Rosa para la imagen ASTER.

Para el presente estudio se utilizaron las siguientes imágenes:

- a. **Imagen LANDSAT – TM**, (Path/row: 008/066) imagen multiespectral con 7 bandas espectrales cuyas características se muestran en la tabla 1, tomada el 24 de mayo del 2008.
- b. **Imagen ASTER**, imagen multiespectral de 14 bandas espectrales, las que se encuentran divididas en subsistemas el VNIR, el SWIR y el TIR, las mismas que poseen características particulares como se puede apreciar en la tabla 1. La fecha de toma de ésta fue el 11/07/2005 y se usó un producto L1B, producto que tiene los coeficientes de corrección radiométrica y geométrica aplicados a la imagen.

Tabla 1. Características de las imágenes LANDSAT – TM y ASTER

Sensor	Subsistema	Banda No.	Rango Espectral μm (micrometro)	Resolución Especial	Resolución Radiométrica
TM	VNIR	1	0.45-0.52 μm	30 m	8 bits
		2	0.53-0.60 μm		
		3	0.63-0.69 μm		
		4	0.76-0.90 μm		
	SWIR	5	1.55-1.75 μm	30 m	8 bits
		7	2.08-2.35 μm		
	TIR	6	10.4-12.5 μm	120 m	8 bits
ASTER	VNIR	1	0.52 - 0.60 μm	15 m	8 bits
		2	0.63 - 0.69 μm		
		3N	0.78 - 0.86 μm		
		3B	0.78 - 0.86 μm		
	SWIR	4	1.600 - 1.700 μm	30 m	8 bits
		5	2.145 - 2.185 μm		
		6	2.185 - 2.225 μm		
		7	2.235 - 2.285 μm		
		8	2.295 - 2.365 μm		
		9	2.360 - 2.430 μm		
	TIR	10	8.125 - 8.475 μm	90 m	12 bits
		11	8.475 - 8.825 μm		
		12	8.925 - 9.275 μm		
		13	10.25 - 10.95 μm		
14		10.95 - 11.65 μm			

Las imágenes fueron calibradas y corregidas siguiendo el flujo mostrado a continuación:

2.1. Flujo de procesamiento para la imagen LANDSAT

El flujo del trabajo fue el siguiente:

**Imagen → Ortorectificación → Radiancia → Reflectancia TOA
→ Corrección Atmosférica**

Ortorectificación

Para la ortorectificación se utilizó un modelo de elevación digital (DEM) generado en base a curvas de nivel de la Carta Nacional (fuente: IGN), escala 1:100,000, la imagen de referencia fue una imagen LANDSAT – ETM Ortho GeoCover que posee un error aproximado de 50 metros (CLCF), tomándose alrededor de 40 puntos de control.

Corrección Atmosférica

El primer paso fue hacer la calibración radiométrica a la imagen ortorectificada. Esta elimina las alteraciones en el registro de la imagen como consecuencia de las condiciones atmosféricas. En base a la imagen en valores de radiancia se pudo obtener una imagen con valores de reflectancia al tope de la atmósfera (TOA), a la que posteriormente se le aplicó el método de la sustracción del píxel oscuro, para poder así obtener una imagen con valores de reflectancia de superficie.

Comparación de métodos para la estimación de la cobertura glaciar

Para la estimación de la superficie glaciar se utilizó:

- NDSI (Normalized Difference Snow Index), análogo al Normalized-Difference Vegetation Index (NDVI). Utiliza las bandas 2 y 5.

a. $NDSI = (b2 - b5) / (b2 + b5)$

- Ratio entre las bandas 3 y 5, Consiste en hacer la división entre la banda 3, donde los glaciares poseen alta reflectancia y la banda 5, donde los glaciares poseen baja reflectancia.

b. $Ratio = b3 / b5$

A continuación se muestra los resultados del mapeo obtenido a partir de la imagen LANDSAT 24/05/2008 (Fig 1), usando el índice NDSI (Fig.2) y el ratio b3/b5 (Fig.3).

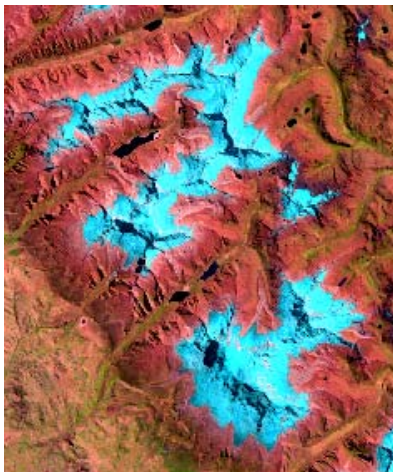


Figura 1: RGB 742 – LANDSAT



Figura 2: Resultado del NDSI.

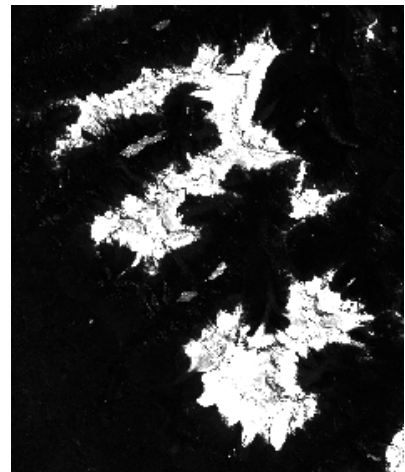


Figura 3: Resultado del Ratio b3/b5

2.2 Flujo de procesamiento para la imagen ASTER

El flujo del trabajo fue el siguiente:

Imagen → Radiancia → Ortorectificación → Corrección Atmosférica

Calibración a valores de radiancia

La fórmula para calibrar los datos ASTER L1b es (JPL, ASTER Handbook):

$$Radiancia = (ND\ value - 1) \times Unit\ conversi3n\ Coefficient.$$

Corrección Geométrica

El primer paso para la corrección geométrica fue la integración de los subsistemas VNIR y SWIR, obteniéndose una imagen con 15 metros de resolución espacial. Para la ortorectificación de las imágenes se utilizó el modelo de elevación digital (DEM) generado a partir de la cartografía digital a escala 1:25,000 (fuente: PETT). La extracción de los puntos de control GCPs se realizó tomando como referencia un relieve sombreado (Shaded Relief) con los mismos ángulos de elevación y azimut solar similares a los que posee la imagen ASTER y la red hidrográfica a escala 1:25,000 (fuente: PETT).

Corrección Atmosférica

Para la corrección atmosférica se utilizó el modulo FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Análisis of Spectral Hypercubes) del software ENVI, este módulo corrige los efectos atmosféricos que influyen en la imagen satelital, obteniéndose una imagen con valores de reflectancia de superficie.

Comparación de métodos para la estimación de la cobertura glaciar

- NDSI (Normalized Difference Snow Index), análogo al Normalized-Difference Vegetation Index (NDVI). En el caso de las imágenes ASTER las bandas a utilizar son la 1 y 4.

a. $NDSI = (b1-b4)/(b1+b4)$

- Ratio entre las bandas 2 y 4, viene hacer similar al ratio entre la bandas 3 y 5 de LANSAT.

b. $Ratio = b2/b4$

Las que fueron aplicadas a la imagen ASTER en niveles de radiancia y reflectancia de superficie.

A continuación se muestran la imagen ASTER (Fig. 4) con los resultados del ratio entre bandas b2/b4 utilizando la imagen en valores de radiancia (Fig. 5) y el resultado del ratio entre bandas utilizando la imagen en valores de reflectancia de superficie (Fig. 6).

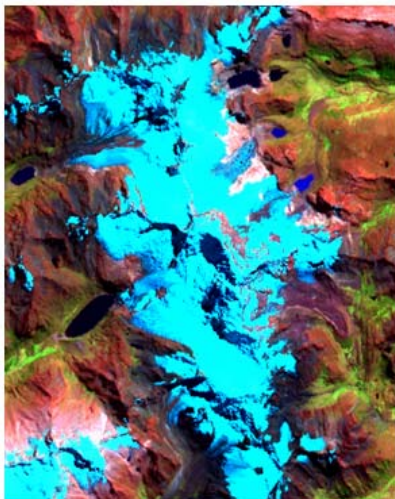


Figura 4: RGB 631 – ASTER

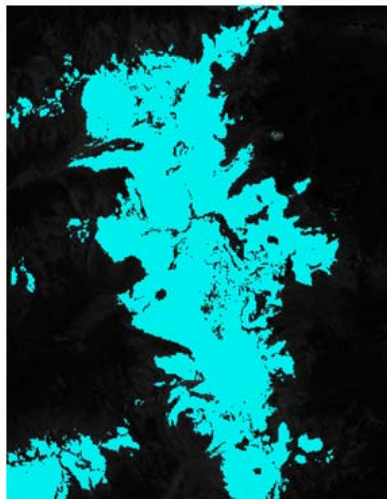


Figura 5: Ratio (Radiancia)

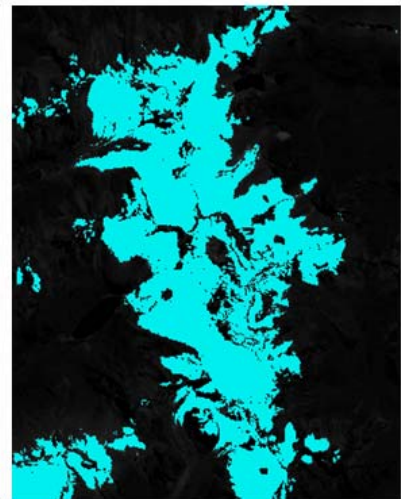


Figura 6: Ratio (Reflectancia)

Luego se aplicó el NDSI a la imagen con valores de radiancia (Fig. 8) y la imagen con reflectancia de superficie (Fig.9) para después ser comparados con la imagen ASTER (Fig. 7).

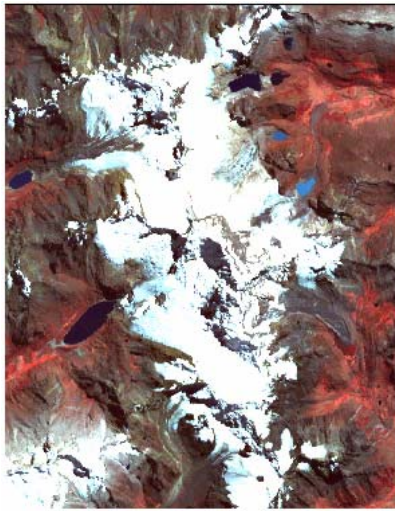


Figura 7: RGB 321 – ASTER

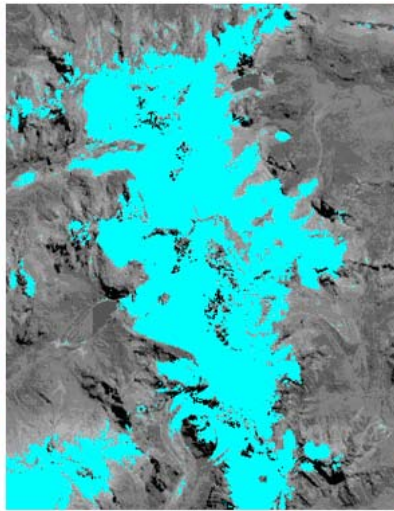


Figura 8: NDSI (Radiancia)

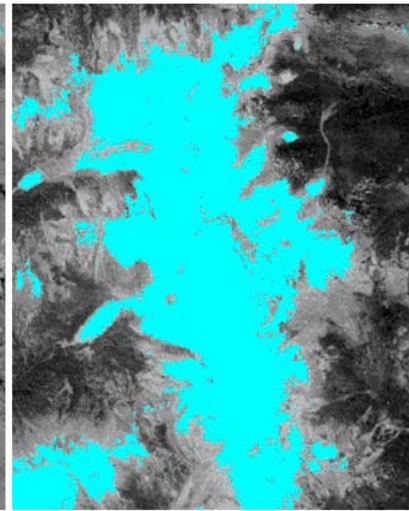


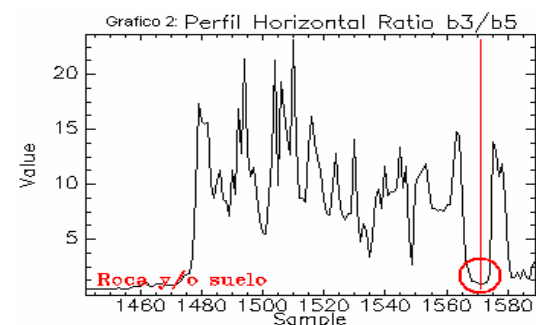
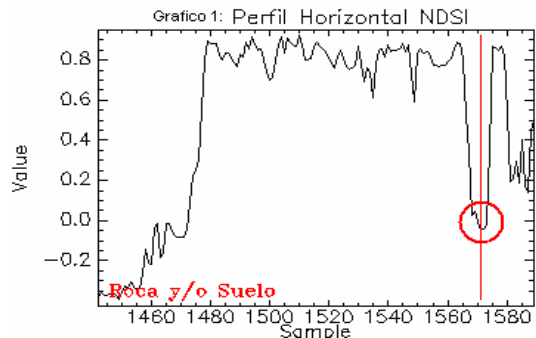
Figura 9: NDSI (Reflectancia)

3. Resultados y Discusión

3.1 Resultados obtenidos de la imagen LANDSAT

El NDSI y el ratio, son buenos para identificar la cobertura glaciara, en el caso del NDSI (Fig. 2) presenta confusión entre la cobertura glaciara y agua, en las áreas de suelo y/o roca tiene valores muy bajos con respecto a la cobertura glaciara (Grafico. 1), El caso de las zonas con sombras dentro de las coberturas glaciaras, éstas son mapeadas como cobertura glaciara y presenta valores mas uniformes que el ratio entre bandas.

El ratio entre las bandas 3/5 (Fig.3) presenta menos confusión entre la cobertura glaciara y el agua comparado con los resultados obtenidos con el NDSI. En el caso de las áreas con suelo y/o roca tienen valores más uniformes con respecto a la cobertura glaciara (Grafico. 2), en el caso de las sombras, éstas se diferencian más dentro de la cobertura glaciara comparado con los resultados del NDSI.



3.2 Resultados obtenidos de la imagen ASTER

a. Resultados obtenidos del ratio entre bandas

Con respecto a la cobertura glaciara los resultados que se obtuvieron al aplicar el ratio a la imagen con valores tanto en radiancia como en reflectancia de superficie son similares.

En el caso de las áreas con presencia de sombras, el ratio aplicado a la imagen en valores de radiancia muestra mejores resultados, considerando parte de ella como cobertura glaciara; en el caso del ratio aplicado a la imagen con valores de reflectancia de superficie, las áreas de sombra no son consideradas como parte de la cobertura glaciara.

En el caso de las lagunas los resultados son similares, considerando como parte de la cobertura glaciaria a las lagunas que se presentan con tonalidades azules claras en la combinación RGB 631, las mismas que poseen mayor reflectividad en las bandas verde y roja con respecto al SWIR, las lagunas que se muestran en tonalidades azules oscuras a negro en la combinación RGB 631 no fueron consideradas por el ratio dentro de la cobertura glaciaria.

b. Resultados obtenidos del NDSI

Los resultados que se obtuvieron al aplicar el NDSI a la imagen en valores de radiancia y reflectancia de superficie fueron muy distintos, en el caso del NDSI generado desde la imagen en valores de radiancia, éste consideró a las lagunas dentro de la cobertura glaciaria a excepción de las que se muestran en tonos negros en la combinación RGB 321; estas lagunas poseen una reflectividad muy baja en las bandas verde y roja. En el caso de las sombras estas son consideradas parcialmente como parte de la cobertura glaciaria. El NDSI aplicado a la imagen con corrección atmosférica presenta mejores resultados en lo que respecta a zonas con sombras, considerando gran parte de ella dentro de la cobertura glaciaria, en el caso de las lagunas todas fueron consideradas como parte de la cobertura glaciaria.

4. Conclusiones

- La aplicación del NDSI y el ratio entre bandas ha permitido mapear el área de cobertura glaciaria en glaciares tropicales de Perú.
- Ambos métodos, tanto el Ratio como el NDSI para el mapeo de cobertura glaciaria están sujetos a factores como las características radiométricas de la imagen (nivel de procesamiento de los datos), presencia de sombras y lagunas en el área glaciaria.
- Se recomienda utilizar mascarar (para las sombras y las lagunas) a ser incluidas en la clasificación, para evitar tareas tediosas de edición al momento de extraer las áreas de cobertura glaciaria a formato vectorial y evitar que estas se confundan con la cobertura glaciaria.

5. Referencias.

Chander, G., Revised Landsat-5 Thematic Mapper radiometric calibration, IEEE Geoscience and remote sensing letters, v. 4, n.3, p. 490-494

Hook, M.A.S.; Ramachandran, B. ASTER User Handbook Version 2. Pasadena: JPL/EROS Data Center/NASA, 1999. Disponible en:
<http://asterweb.jpl.nasa.gov/content/03_data/04_documents/aster_user_guide_v2.pdf>.
Acceso en: 21.set. 2006.

Maestro Cano, I., Recio Recio, J. Analisis Comparativo de distintos métodos de estimación de la superficie glaciaria en el Pirineo axial aragonés a partir de las imágenes Landsat. GeoFocus, N° 4, p. 79-92.

Schowengerdt, R. A. Remote Sensing - Models and Methods for Images Processing. USA. Editora El Sevier, 2007. p.515.

Villon Reinoso, C.; Vargas Gonzáles, C.; Pasapera Gonzales, J. Análisis Multitemporal del Retroceso Glaciario con imágenes Landsat y Aster. En: XIII Congreso Latinoamericano de Geología – XIV Congreso Peruano de Geología, 2008, Lima – Perú. SGP, Modelamiento Geológico y Manejo de Datos, E04. CD-ROM.

