

# ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL RETROCESO GLACIAR CON IMÁGENES LANDSAT Y ASTER

Carmen Villon Reinoso, Christian Vargas Gonzales, José Pasapera Gonzales

[cvillon@conida.gob.pe](mailto:cvillon@conida.gob.pe), [cvargas@conida.gob.pe](mailto:cvargas@conida.gob.pe), [ipasapera@conida.gob.pe](mailto:ipasapera@conida.gob.pe)

Actividad Geomática  
Dirección General de Investigación y Operaciones  
Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial – CONIDA  
Felipe Villaran 1069, San Isidro Lima 27, Perú

## INTRODUCCIÓN

La teledetección, constituye una herramienta fundamental para la evaluación del medio físico y biológico en el tiempo. Los métodos que se aplican a través de los diferentes procesos permiten discriminar formaciones a través del comportamiento radiométrico y espectral de los diferentes tipos de cobertura sobre el medio. Uno de sus aplicativos es precisamente a los glaciares tropicales que actualmente se encuentran en peligro de desaparecer por los efectos del Calentamiento Global. El conocimiento detallado y monitoreo constante va a permitir a las autoridades conocer cual es la evolución que presentan y tomar decisión de cómo afrontar la pérdida de esta importante fuente de agua. La teledetección contribuirá para estos propósitos brindándole la información de la evolución de la cobertura glaciar en el tiempo a través del análisis multitemporal del retroceso glaciar.

**Palabras clave:** Glaciar, NDSI, Landsat, Aster

## OBJETIVOS

- Determinar la metodología apropiada para delimitar y estimar la cobertura glaciar Cordillera Blanca utilizando imágenes del satélite Landsat y Aster
- Cuantificar el retroceso glaciar en la Cordillera Blanca en cinco sub-cuencas tributarias de la margen derecha del río Santa: Quelcayhuanca, Marcará, Pachacoto, Ranrairca, Llullan
- Clasificar digitalmente los diferentes tipos de cobertura glaciar presentes en los glaciares de la Cordillera Blanca

## MATERIALES Y METODOS

### AREA DE ESTUDIO

La zona de estudio se encuentra ubicada en el departamento de Ancash, aproximadamente entre las coordenadas 8°38'44" y 9°58'99" Latitud Sur y las coordenadas 77°46' 09" y 77°15' 38" Longitud Oeste. En la zona denominada Cordillera Blanca, margen derecha de la cuenca del Río Santa.

El área comprende 10 montañas glaciares identificadas para el estudio como unidades glaciares (fig.2). Para cuantificar el retroceso glaciar se han seleccionado en la margen derecha de la cuenca del Río Santa cinco subcuencas que también servirán como piloto para realizar las pruebas de reflectividad y la comprobación de campo de la clasificación.

1. Subcuenca del río Llullan.
2. Subcuenca del río Ranrairca.
3. Subcuenca del río Marcará.
4. Subcuenca del río Quelcayhuanca.
5. Subcuenca del río Pachacoto.

### MATERIALES

Para el desarrollo de este trabajo fueron utilizados los siguientes materiales:

- Cartografía digital a escala 1:25,000 (PETT) y 1:100,000 (IGN),
- Seis imágenes Landsat y cuatro imágenes Aster con las siguientes características:

Id	Path/Row	Fecha	Sensor	Fuente
1	008/066	31/05/1987	TM	GLCF
2	008/067	31/05/1987	TM	USGS
3	008/066	11/07/1999	TM	GLCF
4	008/067	11/07/1999	TM	USGS
5	008/067	18/12/1999	ETM	USGS
6	008/066	30/06/2001	ETM	GLCF

Id	Fecha	Sensor	Fuente
1	13/07/2003	ASTER	USGS
2	13/07/2003	ASTER	USGS
3	1/08/2001	ASTER	USGS
4	1/08/2001	ASTER	USGS

**Global Land Cover Facility (GLCF)** es financiado por la NASA, miembro de la Información de las Ciencias de la Tierra en asociación con la Universidad de Maryland.

## DESARROLLO METODOLOGICO

### METODOLOGIA PARA DATOS LANDSAT

#### CORRECCION GEOMETRICA

Para la corrección geométrica de las imágenes Landsat se genero un DEM (Digital Elevation Model) en base a las curvas de nivel de la Carta Nacional escala 1:100,000. El método de corrección aplicado es el denominado Imagen a Imagen el cual utiliza como base una imagen geocodificada, un conjunto de puntos de control y un modelo de elevación digital para poder ortorectificar. El software utilizado es el OrthoEngine de PCI Geomatica. Es así que fueron tomadas como base las imágenes ortorectificadas de fechas: 18/12/2001(ETM) y 30/06/2001(ETM) que junto con un promedio de 40 puntos de control (GCP) para cada imagen se procedió a efectuar la ortorectificación de las cuatro imágenes Landsat de fechas: 31/05/1987 y 11/07/1999.

#### CORRECCION RADIOMETRICA Y ATMOSFERICA

Este procedimiento corrige las distorsiones que sufre la radiometría (valor radiométrico del píxel de la imagen), por las fallas del sensor o el ruido en el sistema, Así como los errores producidos por la atmósfera y las estaciones del año. Este procedimiento convierte los DN (Digital Number) de la imagen a valores de radiancia y después a valores de reflectancia. Este proceso fue automatizado usando el lenguaje de programación del software IDL. El método que se utilizo para la corrección fue el Método de Chávez Versión DOS3; el cual es una variante del método simple de sustracción del píxel oscuro<sup>1</sup>.

Cabe mencionar que debido a que no todas las imágenes con que se contaba disponían de la información orbital completa (cabecera de la imagen) se opto por aplicar la tabla 4 desarrollada por Chander, 2007<sup>2</sup> el cual estima valores promedios de las constantes de calibración para Landsat.

#### ESTIMACION DE LA SUPERFICIE DE NIEVE Y HIELO

Para delimitar y estimar la superficie de nieve y hielo se probaron diferentes índices espectrales. Los índices espectrales son algoritmos algebraicos que generan una nueva imagen en donde aparecen reflejados diferentes tipos de información de acuerdo a la respuesta espectral que presenta cada banda. Los índices utilizados para determinar la superficie glaciar son las bandas 2, 3, 4, 5; visible e infrarrojo del sensor Landsat en donde la banda 2 y 3 pertenecen al espectro visible y las bandas 4 y 5 al infrarrojo cercano y medio. Los ratios que se probaron fueron:

- Ag = Banda 2/ Banda 5
- Ag = Banda 3/ Banda 5
- Ag = Banda 4/ Banda 5
- Ag = NDSI = (TM2-TM5)/(TM2+TM5)

Los mejores resultados se obtuvieron de los ratios entre las bandas 3/5 y el cociente conocido como NDSI. Un análisis mas detallado de estos dos resultados concluyo que el ratio entre la banda 3/5 tiene mejores resultados; presentando menos confusión en las áreas con presencia de agua. El umbral que

se utilizó para hallar el área glaciar se mantuvo entre los rangos de 2 a 2.5, Posteriormente las áreas fueron exportadas en formato vectorial al ARCGIS para efectuar la edición y estimar el área glaciar.

### **CLASIFICACION DE LA COBERTURA GLACIAR**

El cuarto paso fue la clasificación de la cobertura glaciar. Las imágenes utilizadas como prueba para este proceso fueron las imágenes Landsat TM del año 1987, primero se hizo una clasificación no supervisada, utilizando el algoritmo ISODATA, los resultados de esta clasificación sirvieron para tener una referencia de las clases que se podrían encontrar dentro de la cobertura glaciar. El segundo paso fue crear una librería espectral con firmas extraídas dentro del área glaciar, se recolectó alrededor de 50 firmas espectrales, analizando la librería espectral se pudo determinar 4 patrones de respuesta espectral. El tercer paso fue hacer la clasificación supervisada utilizando áreas de entrenamiento, los algoritmos que se usaron fueron el de MINIMA DISTANCIA y el de MAXIMA SEMEJANZA, los resultados de estas clasificaciones no fueron convincentes, debido a que al verificar las firmas espectrales de las áreas clasificadas se notó áreas con firmas espectrales no coherentes, debido a este problema se decidió hacer una clasificación supervisada con el algoritmo SPECTRAL ANGLE MAPPER (SAM), el cual consiste en la determinación de la similitud espectral entre dos espectros, uno el del píxel de la imagen y el otro el patrón espectral de referencia (librería espectral). El algoritmo determina la similitud espectral calculando el ángulo de mejor aproximación y considerando ambos como vectores en un espacio de n-dimensiones. La clasificación se hizo en base a la librería espectral anteriormente creada. Se determinó 4 clases en base a los patrones de respuesta espectral diferenciados dentro la librería espectral, los cuales fueron etiquetados como clase 1, clase 2, clase 3, clase 4. Los resultados fueron más exactos que los obtenidos con los algoritmos MINIMA DISTANCIA y MAXIMA SEMEJANZA.



Fig 3. Distintos tipos de cobertura en un área glaciar.

Cabe recalcar que al comparar las firmas extraídas de las dos escenas LANDSAT utilizados para la prueba se notó una diferencia en la forma de las firmas espectrales (diferente respuesta espectral), esto puede deberse al distinto ángulo de toma de las imágenes y la topografía del terreno, queda como tarea corregir los efectos del ángulo solar y la topografía del terreno en la imagen, así como también evaluar las clases que se pueden encontrar en el área glaciar.

Los métodos de clasificación aplicados sirvieron para determinar cual es el más adecuado para identificar las diferentes clases de cobertura glaciar que existen, utilizando imágenes LANDSAT, ASTER. Asimismo para el mes de agosto de este año se ha programado la toma de imágenes Aster e Hyperion, que servirán para calibrar los datos que se tomarán con el Radiómetro IL1700 que los investigadores de CONIDA llevarán a los glaciares,

### **METODOLOGIA PARA DATOS ASTER**

#### **CALIBRACION A RADIANCIA**

Las imágenes Aster que se utilizaron fueron productos L1B, estas imágenes tienen los coeficientes de corrección radiométrica y geométrica aplicados a la imagen. Para transformar la imagen a valores de

radiancia, se utilizó el software ENVI, este software calibra automáticamente las imágenes Aster a valores de radiancia.

### **CORRECCION GEOMETRICA**

El primer paso para la corrección geométrica fue la integración de los subsistemas Vnir y Swir. 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. La extracción de los puntos de control GCPs se realizó tomando como referencia la hidrografía y vías de comunicación de la carta a escala 1: 25,000. Con las imágenes ortorectificadas se procedió a hacer el mosaico utilizando fechas similares.

### **ESTIMACION DE LA SUPERFICIE DE NIEVE Y HIELO**

Para la estimación de la cobertura glaciar se utilizó el ratio:

$$Ag = \text{Banda 2/Banda 4}$$

El cual es equivalente al ratio aplicado en los datos del sensor Landsat. El umbral que se utilizó estuvo en el rango de 12.5 a 13.



Fig 4. Mosaico de imágenes Aster

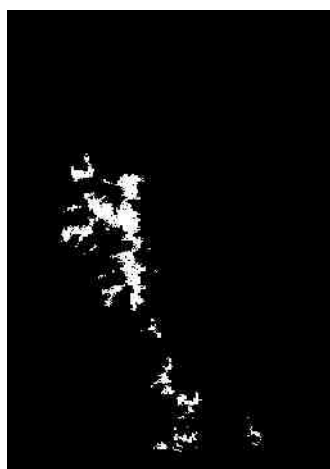


Fig 5. Área glaciar

### **PRESENTACION DE RESULTADOS**

A continuación mostraremos tres tipos de resultados:

- Cuantificación de la cobertura de nieve y hielo a nivel de las cinco cuencas en estudio.
- Cuantificación de la cobertura de nieve y hielo por Sub-unidad de glaciar y finalmente la
- Presentación del área total de la zona de estudio.

### **CUANTIFICACION DE LA COBERTURA DE NIEVE Y HIELO A NIVEL DE LAS CINCO SUBCUENCAS EN ESTUDIO.**

En el siguiente cuadro se muestra el resultado de las áreas de nieve y hielo que determinaron las áreas glaciares para la cuantificación del retroceso glaciar en Km<sup>2</sup> en las sub-cuencas Llullan, Ranrairca, Marcara, Quelcayhuanca y, Pachacoto, para los años de 1962 (cartografía 1:25,000), 1987, 1999

Sub-Cuencas	1962	1987	1999	2001	2003
Llullan	32,72	26,97	31,98	X	25,97
Ranrairca	39,8	37,48	42,33	X	36,27
Marcara	90,05	61,02	64,93	X	X
Quelcayhuanca	96,99	39,39	45,74	39,96	X
Pachacoto	19,57	14,48	18,5	13,95	X

## CUANTIFICACION DE LA COBERTURA GLACIAR POR UNIDAD DE GLACIAR

La zona de estudio fue dividida en 10 sub-unidades glaciares y en el cuadro 2 se muestran las áreas en Km<sup>2</sup> obtenidas.

SUB-UNIDAD	1962	31/05/1987	11/07/1999	1/08/2001	13/07/2003
1	16,14971	10,88822	21,97054	X	9,9189
2	103,01157	90,21292	105,39010	X	81,70117
3	92,40222	73,21881	85,57525	X	68,08883
4	60,63381	55,83852	60,80418	X	53,12205
5	149,95754	125,78549	133,52208	X	X
6	325,89177	195,23739	214,50286	193,54659	X
7	7,93911	3,20562	5,91282	3,63218	X
8	26,76038	14,96028	19,90618	14,13426	X
9	14,66051	11,56965	15,40599	11,89553	X
10	30,50767	20,57830	24,53652	X	X

## RESULTADO TOTAL

El siguiente cuadro muestra un resumen de la cobertura glaciaria en Km<sup>2</sup>

Data	Año	Fenómeno	Área
Cartografía	1962	Sin datos	827,9139
Landsat	1987	Niño	601,4952
Landsat	1999	Niña	687,5265
Clasificación	1987	Niño	560,3581

## ANALISIS DE RESULTADOS

En el análisis a nivel de subcuenca se observa un incremento de la cobertura glaciaria durante el año 1999 con respecto al año 1987, esto puede tener explicación en el hecho de que la imagen del año 1999 fue tomada durante la presencia del Fenómeno de La Niña, produciéndose nieve por encima de lo normal. Este fenómeno es estacional y tiene influencia en las coberturas nivosas de la Cordillera Blanca. Por lo que esta imagen no es representativa para cuantificar las áreas glaciares.

Comparando las áreas del año 1962 con respecto al año 1987 en general se observa un retroceso en este periodo a nivel de las cinco cuencas, siendo Quelcayhuanca y Marcara las más afectadas. Si comparamos las áreas extraídas de las imágenes Aster del año 2001, con las áreas del año 1987, se ve en la mayoría de los casos una pérdida del área glaciaria tanto a nivel de subcuenca como a nivel de unidad glaciaria.

En el área de estudio se pudo identificar 4 patrones de respuesta espectral distintos, esto puede deberse a diferentes tipos de hielo y/o nieve, dichas respuestas espectrales están influenciadas por el ángulo de elevación solar y la topografía del terreno. El algoritmo para clasificar la cobertura glaciaria fue el Spectral Angle Mapper el cual dio buenos resultados habiéndose identificado cuatro clases con marcada diferencia.

## CONCLUSIONES

- La metodología utilizada permite cuantificar y delimitar la cobertura glaciaria de la Cordillera Blanca al nivel de las Unidades glaciares y subcuencas.
- De la estimación de la cobertura glaciaria se concluye que en el periodo 1962 y 1987 existe un retroceso en general que es más marcado en las subcuencas Marcara y Quelcayhuanca.
- Para poder determinar la influencia de los fenómenos atmosféricos en la producción de nieve estacional es necesario evaluar un mayor número de imágenes tomadas durante la ocurrencia de estos fenómenos.
- La nieve estacional puede ser confundida como cobertura glaciaria permanente, por lo que es necesario, evaluar las imágenes en épocas secas.

- Es necesario continuar monitoreando los cambios que se están produciendo en esta zona utilizando otros tipos de sensor como radar y satélites de observación meteorológica para complementar estos resultados.

## **BIBLIOGRAFIA**

Song, C., Woodcock, C. 2001. Classification and change detection using Landsat TM data: When and How to Correct Atmospheric Effects?, vol 75, n° 2, p. 230-244.

Chander, G., 2007. Revised Landsat-5 Thematic Mapper radiometric calibration, IEEE Geoscience and remote sensing letters, vol 4, n° 3, p. 490 – 494.