

INICIO DEL ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN GLACIAR EN LAS MONTAÑAS CHUGACH, ALASKA, MEDIANTE EL USO DE IMÁGENES MULTIESPECTRALES

I. López (*), F. Carreño (*), J. Lillo (*), E. Castellanos (*) y J. S. Kargel (**).

(*) *Departamento de Biología y Geología. Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnología. Universidad Rey Juan Carlos. C/Tulipán s/n. 28933. Móstoles. Madrid. ivan.lopez@urjc.es*

(**) *Department of Hydrology and Water Resources, University of Arizona, Tucson, Arizona.*

RESUMEN

El estudio de la extensión y evolución de los glaciares es de gran importancia en los estudios de caracterización del cambio climático. El consorcio GLIMS es un proyecto internacional para la obtención de imágenes de los glaciares del mundo y su cartografía con el fin de elaborar una base de datos global. En este trabajo se presentan los avances iniciales en la adquisición de imágenes, su procesado, y el estudio de la actividad glaciaria en las montañas Chugach en Alaska, así como el plan de trabajo a seguir en el futuro. Se dispone de acceso a todo el catálogo de imágenes ASTER y Landsat a través del servidor del United States Geological Survey (USGS). Los principales problemas para el estudio de esta zona vienen dados por su localización en latitudes altas y por la abundante cubierta de nubes durante todo el año, lo que restringe la resolución temporal de las imágenes del área de estudio. No se dispone de datos topográficos de la misión SRTM en latitudes altas y la ausencia de mapas topográficos actualizados dificulta la obtención de puntos de control para la georreferenciación.

ABSTRACT

The study of the extension and evolution of the world's glaciers is of great importance for the characterization of climate change. GLIMS is an international consortium to acquire satellite images of the world's glaciers, their mapping and the creation of a global database of these changes. In this work we present the initial progress in the images acquisition and processing for the study of the glacial activity in the Chugach Range in Alaska and the future plans to study the area. To perform the study of this area we have access to the whole ASTER and Landsat image collection through the United States Geological Survey (USGS) Server. The main problems to study the area arise from its location on high latitude (absence of SRTM data) and the lack of updated topographic maps to obtain the required control points to perform geometric correction.

Palabras clave: teledetección, ASTER, evolución glaciaria, cambio climático.

INTRODUCCIÓN

Los glaciares de montaña son sistemas extremadamente sensibles al cambio climático (e.g. Haeberli y Beniston, 1998; IPCC, 2001) por lo que estudiar su evolución permite relacionarlos con procesos de cambio climático y la posible influencia de la actividad humana en este cambio climático natural. Estudiar la evolución de estas masas de hielo es también muy importante para caracterizar el ciclo hidrológico en zonas de alta montaña y los riesgos naturales en ellas. La gran extensión y la difícil accesibilidad de muchos de estos glaciares de montaña hacen de la teledetección una herramienta fundamental para su estudio y para elaborar cartografía de su evolución temporal. GLIMS (Global Land Ice Measurements from Space) es un consorcio internacional establecido para adquirir imágenes de satélite de los glaciares del mundo para cuantificar su extensión, detectar cambios, y valorarlos denle función del clima y otros posibles

factores (Kieffer et al., 2000; <http://www.glims.org>). Las coberturas generadas en estos estudios se integran en una base de datos accesible en internet en la página web señalada anteriormente. En este trabajo presentamos los resultados iniciales del proceso de obtención y tratamiento de datos para la zona de las montañas Chugach, Alaska en el marco del consorcio GLIMS-Centro regional de Alaska (RC-4).

ZONA DE ESTUDIO

Las montañas Chugach son una cadena montañosa de 400 km de largo y 95 km de ancho que se extiende por el suroeste de Alaska (Figura 1). Las montañas Chugach contienen aproximadamente un tercio de todos los glaciares de Alaska (unos 21600 km²) incluyendo algunos de los mayores glaciares de Norteamérica. La parte oriental de la cadena está cubierta por una serie continua de glaciares y zonas de acumulación (Field, 1975).

Estudios recientes de la evolución glaciar en la zona han observado que gran parte de los glaciares han retrocedido durante el siglo XX (e.g. Molnia and Post, 1995), aunque existen algunos que avanzan en la zona de Prince William Sound.

La dificultad de acceso hace que existan sólo algunos estudios de balance de masa para esos glaciares, por lo que muchos estudios de evolución glaciar en la región dependen de datos obtenidos mediante satélites.

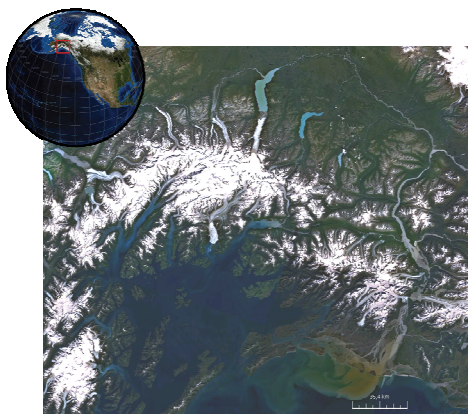


Figura 1.- Imagen Landsat 7 de las montañas Chugach, Alaska y localización de la zona de estudio.

METODOLOGÍA

Pertenecer al consorcio GLIMS nos da acceso gratuito al catálogo de imágenes ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer). A través del Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC) del NASA's Earth Observing System accedemos a imágenes *ASTER 1A Reconstructed Unprocessed Instrument V003*.

La primera fase del proyecto ha consistido en la búsqueda sistemática en el catálogo del LP DAAC, de imágenes utilizables. Muchas de las imágenes del catálogo no se pueden usar para el estudio debido a la gran nubosidad durante todo el año, propia de las latitudes de ~70°N. Como norma general hemos imágenes libres de nubes o con < 40% de nubes que permitan la observación parcial pero adecuada de algún sector de la zona de estudio. El resultado de la búsqueda de imágenes por año en la zona y alrededores es (Tabla 1): 2000 (2 imágenes), 2001(2 imágenes), 2002 (0 imágenes),

2003 (1 imagen), 2004 (9 imágenes), 2005 (3 imágenes), 2006 (3 imágenes) y 2007 (2 imágenes). Estas imágenes individuales sólo cubren parte de la zona de estudio y no existen imágenes de ninguna zona en particular para más de dos años diferentes, por lo que para un estudio más completo de la evolución de la actividad glaciar es necesario completar los datos ASTER con datos de otros sensores como Landsat.

Una vez obtenidas las imágenes ASTER 1A se han hecho una serie de correcciones geométricas y radiométricas que permiten normalizar espacial y espectralmente los valores de las imágenes para su correcta interpretación y posterior elaboración de cartografía (para una completa descripción del tratamiento de las imágenes ASTER ver van Ede, 2004).

Tabla 1.- Imágenes ASTER utilizadas en el estudio.

Año 2000			
AST L1A	00306242000213400	20081104161817	19641
AST L1A	00306242000213409	20081104161817	19643
Año 2001			
AST L1A	00306092001214006	20081230032009	8288
AST L1A	00306272001212651	20081230032019	8382
Año 2003			
AST L1A	00308222003210608	20090112041221	8064
Año 2004			
AST L1A	00305042004210646	20090303023806	21221
AST L1A	00305042004210655	20090303023805	21219
AST L1A	00305202004210637	20090303023825	21633
AST L1A	00305202004210646	20090303023805	21206
AST L1A	00305272004211246	20090303023825	21631
AST L1A	00306212004210626	20090303023815	21422
AST L1A	00306212004210635	20090303023815	21411
AST L1A	00308172004205950	20090303023805	21226
AST L1A	00308172004210007	20090303023806	21199
Año 2005			
AST L1A	00308092005211815	20090303033733	24187
AST L1A	00308092005211824	20090303033733	24192
AST L1A	00308092005211833	20090303033733	24197
Año 2006			
AST L1A	00305242006211804	20090303042304	1266
AST L1A	00305242006211812	20090303042304	1273
AST L1A	00305242006211821	20090303042304	1271
Año 2007			
AST L1B	00306192007212508	20090423082423	23359
AST L1B	00306192007212517	20090423082413	23312

Para el tratamiento de estas imágenes se están usando los paquetes comerciales de tratamiento de imágenes ERDAS 8.7 y ENVI 4.5, junto con el módulo ASTERDem para ENVI. Éste permite extraer un modelo digital del terreno (DEM) de la imagen ASTER inicial, que servirá como apoyo a la cartografía. Esta cartografía se está elaborando mediante Sistemas de Información Geográfica (S.I.G). Para ello se están utilizando las

plataformas ArcGIS y GlimsView, una aplicación gratuita desarrollada por el consorcio GLIMS que permite formar mapas y la preparación final de las coberturas para su envío a la *GLIMS Glacier Database*. Esta aplicación la ha desarrollado el National Snow and Ice Data Center (NSIDC) (<http://glims.colorado.edu/glacierdata/>).

TRABAJO FUTURO

Una vez acabada la etapa de adquisición completa de los datos ASTER y Landsat, así como su tratamiento e integración en el sistema para su cartografía (uso de ArcGIS y GLIMSView) se acometerán los siguientes estudios específicos dentro de la zona:

- Estudio de la evolución de los glaciares en la zona de College Fiord. Esta zona se caracteriza por la presencia de glaciares cuya terminación está sobre el mar (*tidewater glaciers*). Aunque la tendencia evolutiva general en la zona es la de retroceso de las masas glaciares, existen en ella condicionantes locales que alteran esta tendencia general. Así, dos glaciares que se encuentran juntos (Yale y Harvard Glaciers) presentan una evolución diferente, ya que uno está en retroceso mientras el otro avanza. En este estudio específico se utilizarán las imágenes y cartografía existentes (mapa topográfico del USGS del año 1962, imagen ASTER del año 2000 e imagen Landsat del año 2006) para cartografiar la evolución temporal de los glaciares de esta zona.

- Estudio de la evolución de los glaciares situados en la zona norte de las montañas Chugach. Estos glaciares pudieron bloquear la desembocadura del Río Matanuska durante el Pleistoceno, ayudando a bloquear la salida de los ríos situados en la cuenca del Río Copper y ayudando a formar un lago glaciar de gran tamaño denominado Lago Ahtna hace 9000-15000 años; ello podría haber tenido una importante incidencia en la evolución geológica y climática reciente de la región.

- Extracción de parámetros necesarios para elaborar estudios de balances de masa en glaciares (Bamber and Kwok, 2003), como por ejemplo: a) observación de cambios de elevación mediante modelos digitales de terreno; b) estimación de la velocidad de flujo del hielo mediante el co-registro de imágenes para un determinado glaciar; c) determinación del albedo y su importancia al determinar el balance energético en la superficie del glaciar, usado para modelizar la pérdida por ablación (Lefebvre et al., 2003).

Otro campo en el que se trabajará en el futuro es el uso de imágenes de radar para estudiar la actividad glaciar de la zona. Como ya se ha indicado, uno de los principales problemas de nuestro estudio es la abundante nubosidad a lo largo de todo el año, resultando muy reducido el número de imágenes ASTER y Landsat. Los sensores activos como el Radar de Apertura Sintética (SAR en sus siglas en inglés) son fundamentales para estudiar la actividad glaciar en zonas polares y en regiones como Alaska donde los meteoros dificultan el uso de otros sensores.

CONCLUSIONES

La búsqueda sistemática de imágenes ASTER para la zona de estudio ha obtenido numerosas imágenes libres de nubes pero tan solo un máximo de dos imágenes por área de estudio, normalmente sólo una, entre los años 2000-2008. Como resultado es necesaria la utilización de otros sensores como Landsat para ampliar el registro histórico de imágenes.

La transformación de las imágenes ASTER 1A a ASTER 1B mediante el uso combinando de los programas ERDAS y ENVI ha resultado satisfactoria. La transformación final del nivel 1A a nivel 1B para su correcto análisis e interpretación, así como la extracción de los modelos digitales de terreno se han hecho con el módulo ASTERDem.

El estudio de la evolución glaciar en zonas situadas en latitudes altas o donde los meteoros son adversos durante gran parte del año requiere de sensores activos como el SAR que no estén tan limitados por las condiciones de visibilidad.

BIBLIOGRAFÍA

Lamber, J.L. and Kwok, R. 2003. Remote sensing techniques. En Lamber, J.L., Payne, A.J. (Eds), *Mass balance of the cryosphere: Observations and modelling of contemporary and future changes*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 59-113.

Field, W.O., 1975. Glaciers of the Chugach mountains. En Field, W.O. (Ed.), *Mountain Glaciers of the Northern Hemisphere*. U.S. Army Corps of Engineers, vol 2. Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, New Hampshire, pp.299-492.

Haeberli, W., Beniston, M. 1998. Climate change and its impacts on glaciers and permafrost in the Alps. *Ambio* 27, 258-265.

I.P.C.C. 2001. En J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, y D. Xiaosu (Eds), *Climate Change 2001: The scientific basis. Contribution of working group I to the third assessment report*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK, 944 pp.

Kieffer et al., 2000. New eyes in the sky measure glaciers and ice sheets. *EOS Transactions, American Geophysical Union* 81, 265, 270-271.

Lefebre, F., Gallee, H., van Ypersele, J.P., Greuell, W. 2003. Modelling of snow and ice melt at ETH Camp (West Greenland): a study of surface albedo. *Journal of Geophysical Research- Atmospheres*, 108 (D8) (art n°-4231).

Meier, M.F. 1984. Contributions of small glaciers to global sea level. *Science* 226, 1418-1421.

Van Ede, R., 2004. *Destriping and geometric correction of an ASTER Level 1A image*. Utrecht University.

AGRADECIMIENTOS

Las imágenes ASTER y Landsat 7 se han obtenido gratuitamente gracias al consorcio GLIMS. Para la realización del trabajo se han utilizado las instalaciones del Laboratorio de Teledetección y Exploración Planetaria (Labtep) de la Universidad Rey Juan Carlos de Madrid. Este trabajo se está financiando parcialmente gracias a la Acción Complementaria CGL2008-02700-E/BTE del Ministerio de Educación y Ciencia.