

DELIMITACIÓN DE ZONAS DE ALTERACIÓN HIDROTHERMAL EN LA CORDILLERA VOLCÁNICA CENTRAL DE COSTA RICA MEDIANTE IMÁGENES LANDSAT Y DEL SENSOR SIMULADOR MASTER

E. Bragado (*), J. G. Rejas (**), M. Marchamalo (***) y J. Bonatti (****).

(*) *E.T.S.I de Minas. UPM. bragadoe@gmail.com*

(**) *Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial.*

(***) *E.T.S.I de Caminos, Canales y Puertos. UPM.*

(****) *Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.*

RESUMEN

La Cordillera Volcánica Central de Costa Rica consta de edificios volcánicos de gran extensión y composición andesítica, donde se evidencian claros procesos de hidrotermalismo y meteorización. Se han empleado imágenes multispectrales para caracterizar tanto las litologías aflorantes como la cobertura vegetal que reviste las laderas de los volcanes.

Las escenas empleadas corresponden a distintos sensores y fechas: Landsat TM de 1986 y ETM+ de 2001, y escenas MÁSTER 2003, lo que ha permitido un seguimiento temporal del hidromagmatismo en el entorno cratérico de los volcanes Poás, Irazú y Turrialba. Para discriminar mejor los materiales de alteración hidrotermal y/o supergénica, se ha aplicado una fusión de imágenes. Ello ha mejorado el detalle de la escena manteniendo la información radiométrica de cada pixel. Se presenta así mismo la cartografía temática generada, en la que se han logrado diferenciar diversas cubiertas naturales y artificiales características de la zona de la cordillera estudiada, así como los principales materiales de alteración hidrotermal detectados.

ABSTRACT

Costarican Central Volcanic Range presents large volcanic structures of andesitic composition where hydrothermalism and weathering process occurs. Multispectral imagery was used for surface lithologic characterization as well as vegetation cover analysis.

Scenes were acquired at different date and by different sensors: TM 1986, ETM+ 2001 and MASTER 2003. This allows a temporal analysis in the surroundings of Poás, Irazú and Turrialba craters. In order to enhance the recognition of hydrothermal and supergenic altered materials, an image fusion was applied for increasing detail in scenes, keeping radiometric information from each pixel unaltered. Several thematic maps were generated, differentiating natural and artificial typical cover from this Costarican volcanic range, as well as main altered materials.

Palabras clave: Cordillera Volcánica Central, Costa Rica, alteración hidrotermal, imágenes multispectrales, MASTER, ACP.

INTRODUCCIÓN

Distintas técnicas vienen aplicándose en los últimos años con resultados satisfactorios en investigación sobre detección de materiales de alteración hidrotermal, tanto a partir de datos multispectrales (Delendatti 2003) como hiperespectrales (Antón-Pacheco *et al.* 2001).

Una de ellas es la denominada Técnica Crosta (Loughlin 1991), utilizada ampliamente y contrastada para detectar los materiales alterados por procesos hidrotermales en distintos escenarios geológicos (Ruiz-Armenta y Prol-Ledesma 1995, Crosta *et al.* 2003, Yetkin 2003 y Bragado *et al.*

2008). Se fundamenta en dos análisis de componentes principales (ACP): en uno se seleccionan las 4 bandas que permiten caracterizar las arcillas -vinculado al intervalo de absorción de Al-OH de las arcillas en el SWIR- y en el otro se opera con las 4 bandas que exhiben el comportamiento espectral de óxidos de hierro y la jarosita -asociado a los procesos electrónicos propios del hierro en el VIS-.

En el presente trabajo se hace un estudio comparativo con este mismo objetivo, aplicando esta técnica de transformación de imagen a datos multitemporales y multifuente.

ÁREA DE ESTUDIO Y ENCUADRE GEOLÓGICO

Krushensky (1972) estudió la geología del Grupo Irazú, distinguiendo varias formaciones superpuestas y a veces no concordantes. Fernández *et al.* (1998) señalan que este Grupo es característico de una zona volcánica joven e inestable por la sucesión de enjambres de sismos, la debilidad cortical y el riesgo de erupciones volcánicas que se repiten con un periodo de retorno entre 6 y 67 años (Barquero *et al.* 1995).

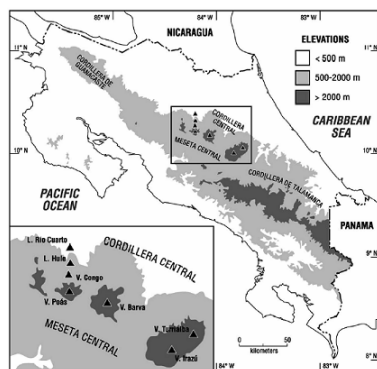


Figura 1.- Localización de la Cordillera Volcánica Central (Horn 2001).

PREPROCESO DE DATOS

Los datos utilizados han sido: (1) Landsat 5 TM, adquirida el 6 de febrero de 1986; (2) Landsat 7 ETM+ del 15 junio de 2001 y (3) Simulador Aerotransportado MODIS/ASTER (MASTER) del vuelo de la misión CARTA 2003 de fecha 11 de marzo de 2003.

MASTER es un sensor multispectral de barrido transversal con un espejo giratorio que capta la energía que atraviesa todo un conjunto óptico llegando finalmente a unos filtros dicróicos que separan el haz en las longitudes de onda (Hook *et al.* 2001). Registra en 50 canales en el espectro de 0,4 a 13 μm , siendo su distribución: 11 VNIR, 14 SWIR, 15 MIR y 10 TIR.

Se dispuso de las imágenes Landsat ya ortorrectificadas en proyección UTM zona 16 N y en niveles digitales (sin calibrar). Las escenas MASTER tenían un nivel de procesado 1B de radiancia en el sensor y sin georreferenciar. La calibración de las bandas MASTER VIS-SWIR se ha hecho en laboratorio por el método de Esferas

Integradoras y de las MASTER MIR-TIR mediante calibración interna usando 2 cuerpos negros, uno frío y uno caliente (Hook *et al.* 2001).

Para trabajar con imágenes provenientes de distintas fuentes y además con distintos niveles de preproceso, fue necesario establecer un único sistema de referencia cartográfico (UTM zona 16 N). Las escenas MASTER se han georreferenciado con un método directo paramétrico a partir de los datos de orientación externa contenidos en el formato HDF de las imágenes. Para ello se ha utilizado el programa ENVI, creando una geometría donde X (longitud MASTER HDF) e Y (latitud MASTER HDF) para poder proyectar las escenas Master al mismo sistema de referencia que las Landsat.

Se mejoró la resolución espacial de las imágenes Landsat TM y ETM+ aplicando la fusión con la banda pancromática del sensor ETM y preservando intacta la información radiométrica. Se redujo el tamaño del píxel original, de 28,5 m a 14,25 m, y se empleó el algoritmo IMGFUSE, implementado en el programa PCI Geomática. Dicho algoritmo establece correlaciones entre los bordes de las bandas multispectrales de baja resolución espacial y los bordes de la imagen de referencia de alta resolución espacial (Cheng *et al.* 2002). Experiencias previas revelan que con este algoritmo se consiguen mejorar los resultados en procesos de clasificación (Rejas *et al.* 2007).

METODOLOGÍA

La Técnica Crosta consiste en hallar por un lado la componente principal que exhibe el mayor contraste espectral del tipo reflexión en 1.650 nm y absorción en 2.215 nm (imagen H asociada a arcillas) y por otro la componente con el mayor contraste espectral del tipo absorción en 485 nm y reflexión en 660 nm, (imagen F vinculada a óxidos de hierro).

Las bandas de entrada en el “ACP de arcillas” son aquellas cuyas longitudes de onda corresponden a: (1) 485, 830, 1.650 y 2.215 nm en el caso de imágenes Landsat y (2) 463, 805, 1.670 y 2.210 nm para el simulador MASTER. Completamente análogo resulta el “ACP de óxidos de hierro”, se emplean cuatro bandas de entrada dadas por las longitudes de onda: (1) 485, 660, 830 y 1.650 nm para las Landsat y (2) 463, 659, 805 y 1.670 nm para el simulador MASTER.

Una vez identificadas las imágenes H y F, se procede a calcular la imagen H+F con el fin de

aplicar una combinación RGB de Crosta para poner de manifiesto la presencia de materiales alterados. Al vincular la imagen H canal rojo, la imagen H+F al verde y la imagen F al azul, se obtiene una imagen en falso color en donde predominan colores pardo-rojizo, cian-azul y blanco.

RESULTADOS

Las matrices de pesos o *loadings* de cada uno de los procesos de transformación ACP, permiten determinar cuál de las cuatro componentes principales resultantes contiene la información espectral relativa a la alteración hidrotermal (arcillas y óxidos de hierro según el caso).

Para la escena Landsat 7 ETM+ se hallaron las imágenes H y F a partir de las matrices de pesos (ver tablas 1 y 2), encontrándose en ambos casos que correspondía la componente principal 4 (CP4).

Tabla 1.- Imagen H - Landsat 7ETM+ de 2001

en nm	485	830	1.650	2.215
CP1	0.238	0.503	0.714	0.424
CP2	-0.376	0.773	-0.125	-0.494
CP3	-0.859	-0.277	0.412	0.117
CP4	0.249	-0.268	0.551	-0.749

La figura 2 presenta un detalle de la imagen RGB Landsat 7 ETM+ de 2001 en donde se aprecia hacia el flanco noroeste del volcán Irazú una intensa alteración argílica (arcillas).

Tabla 2.- Imagen F - Landsat 7ETM+ de 2001

en nm	485	660	830	1.650
CP1	0.286	0.395	0.491	0.721
CP2	-0.369	-0.594	0.714	-0.014
CP3	0.455	0.312	0.481	-0.680
CP4	0.757	-0.626	-0.127	0.129

Esta metodología se aplicó tanto a la imagen landsat 5TM de 1986 como a la imagen del simulador MASTER de 2003. Se han omitido presentar aquí las tablas porque los resultados son completamente análogos, en todos los casos la CP4 la que contenía la información relativa a la alteración hidrotermal.

En cuanto a las combinaciones RGB de Crosta (ver figuras 2 y 3) se consiguen discernir píxeles rojos, azules y blancos, que se interpretan respectivamente como alteraciones argílicas, limoníticas y coexistencia de ambas alteraciones.

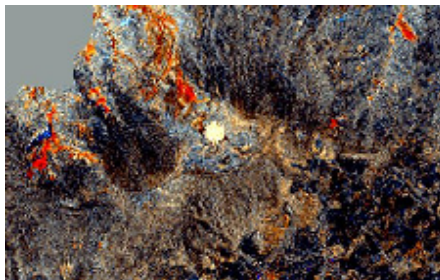


Figura 2.- Irazú RGB Crosta ETM+2001.

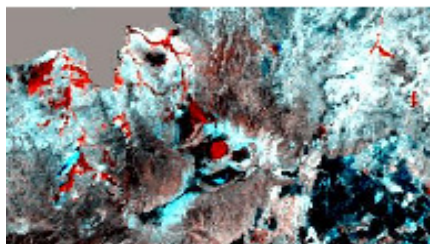


Figura 3.- Irazú RGB Crosta Master 2003.

CONCLUSIONES

El entorno de los volcanes Irazú y Turrialba presenta una densa cobertura vegetal que determina que los resultados de la Técnica Crosta se circunscriban a las cumbres de los edificios volcánicos. La presencia de nubes, una clara limitante en el método Crosta, se solventó aplicando una máscara que excluyera los píxeles correspondientes a nubes en los ACP.

Se evidencia que lo que en 1986 era una alteración argílica incipiente en los flancos de los volcanes Irazú y Turrialba han ido progresando a una argilización más intensa en 2001. En la imagen de 2003 se diferencian mejor los píxeles azules (óxidos de hierro), resultado que puede atribuirse al hidrotermalismo y meteorización.

La discriminación de alteraciones hidrotermales en las combinaciones RGB de Crosta resulta mejor en la escena MASTER de 2003 porque cuenta a la mayor resolución espectral (50 bandas) que las Landsat (7 bandas).

BIBLIOGRAFÍA

- Antón-Pacheco C., Rowan L.C., Mars J.C. and Gumiel J.C. 2001. Characterization of mine waste materials and hydrothermally altered rocks in the río Tinto mining district (southwest Spain) using Hypac data. *Revista de Teledetección*, 16: 65-68.
- Barquero, R, P. Lesage, J. Metaxian, A. Creusot y M. Fernández. 1995. La crisis del volcán Irazú en 1991. *Revista Geológica de América Central*, 18: 5-18.
- Bragado, E., Rejas, J.G., Marchamalo M. and Martínez, R. 2008. Characterization of hydrothermally altered materials in the Central Volcanic Range, Costa Rica, using TM data. *Proceedings of the Remote sensing and Photogrammetry Society Conference 2008 "Measuring change in the Earth system"*. University of Exeter, 15-17 September 2008.
- Cheng, P.; Toutin, T. and Tom, V., 2002. *Orthorectification And Data Fusion Of Landsat 7 Data*. Unpublished.
- Crosta, A. P., Filho, C. R. de Souza, Azevedo, F. and Brodie, C., 2003. Targeting key alteration minerals in epithermal deposit in Patagonia, Argentina, using ASTER imagery and principal component analysis. *International Journal of Remote Sensing*, 10, pp. 4233-4240.
- Delendatti, G., 2003, Caracterización de zonas de alteración hidrotermal en las márgenes del río Castaño, provincia de San Juan, mediante Procesamiento Digital de Imágenes TM. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 58 (1): 97-108.
- Fernández, M., M. Mora y R. Barquero. 1998. Los procesos sísmicos en el volcán Irazú (Costa Rica). *Revista Geológica de América Central*, 21: 47-59.
- Hook S.J., Myers J.J., Thome K.J., Fitzgerald M. y Kahle A.B. 2001. The MODIS/ASTER airborne simulator (MASTER) - a new instrument for earth science studies. *Remote Sensing of Environment* 76 (2001) 93- 102.
- Horn S.2001. The age of the Laguna Irazú explosion crater, Costa Rica, and the timing of subsequent tephra eruptions: Evidence from lake sediments. *Revista Geológica de América Central*, 24: 57-66.
- Krushensky. R. 1972. *Geology of the Istarú Quadrangle, Costa Rica*. Geological Survey Bulletin 1358. 46 pp.
- Loughlin, W., 1991, *Principal component analysis for alteration mapping*. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 57, 1163-1169.
- Rejas J.G., Malpica J. A. y Martínez R., 2007. *Hyperspectral remote sensing application for semi-urban areas monitoring*. URBAN 2007 4th IEEEGRSS/ISPRS Joint Workshop on Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas, Paris (France) 11-13 April 2007.
- Ruiz-Armenta J. R. y Prol-Ledesma R. M., 1995, *Técnicas de procesamiento de imágenes en la exploración de yacimientos minerales de origen hidrotermal*. Física de la tierra, ISSN 0214-4557, N° 7, 1995, Ejemplar dedicado a: Geofísica aplicada, pp. 105-138.
- Yetkin, E. , 2003, *Alteration mapping by remote sensing: Application to Hasandağ – Melendiz Volcanic Complex*. Thesis M.Sc., Department of Geological Engineering. September 2003, 94 pages.

AGRADECIMIENTOS

Los autores contaron con el apoyo del proyecto PCI-AECID: "Mejora de la eficiencia de captación y recarga de los sistemas de abastecimiento de agua mediante ordenamiento de los usos de la tierra en Centroamérica".