

DetECCIÓN DE DESLIZAMIENTOS DE LADERA MEDIANTE IMÁGENES LANDSAT TM: EL IMPACTO DE ESTOS DISTURBIOS SOBRE LOS BOSQUES SUBTROPICALES DEL NOROESTE DE ARGENTINA

L. Paolini¹, J. A. Sobrino² y J. C. Jiménez-Muñoz²

¹Laboratorio de Investigaciones Ecológicas de las Yungas, Universidad Nacional de Tucumán, CC34 (4107), Yerba Buena, Argentina. ²Unidad de Cambio Global, Departamento de Termodinámica, Universidad de Valencia, Burjassot, 46100, España.

RESUMEN

La teledetección aplicada a estudios medioambientales ha demostrado ser de gran utilidad para identificar, cartografiar y analizar la dinámica espacial y temporal de los ecosistemas. En el caso particular de los disturbios naturales como incendios y deslizamientos de ladera, la teledetección ayudará a evaluar su impacto a escala temporal y espacial amplias. Utilizando imágenes Landsat TM de los años 1986 y 2001 detectamos deslizamientos de ladera ocurridos en los bosques subtropicales del noroeste de Argentina, y evaluamos su impacto sobre las comunidades naturales. Mediante clasificaciones supervisadas se diferenciaron los deslizamientos de ladera del resto de las unidades del terreno, con una precisión general de 91% en la imagen de 1986 y 89% en la imagen de 2001. En base a estas clasificaciones determinamos el cambio en el tiempo del área de bosque afectada por los deslizamientos de ladera en el año 1986 y en el año 2001. Los estudios sobre deslizamientos de ladera basados en teledetección pueden aportar nuevos conocimientos en cuanto a la dinámica de este tipo de disturbio, su impacto en los bosques del noroeste argentino y su relación con los cambios climáticos (principalmente aumento de precipitaciones) registrados para la zona.

PALABRAS CLAVE: clasificación, deslizamientos, Landsat TM, noroeste argentino, Yungas.

ABSTRACT

Remote sensing technics applied to environmental studies has been used successfully to identified, mapping and analyzing the spatial and temporal ecosystem dynamics. In studies of natural disturbances, such fires and landslides, the remote sensing approach can be used to asses the impact of these disturbances at broad spatial and temporal scale. Using 1986 and 2001 Landsat TM images we detected landslides accured on norwest Argentina subtropical forests, and we evaluated their impact on natural communities. Using supervised classifications, we diferenciated landslides from others land cover units with an overall accuracy of 91% in the 1986 image and 89% in the 2001 image. Landslides studies based on remote sensing technics can help to a better understanding of this kind of disturbance, in terms of their impact on the subtropical forests and their relationship with the climate change (specially precipitation) registered in the zone.

KEY WORDS: landslides, Landsat TM, classifications.

INTRODUCCIÓN

La teledetección se ha convertido es una herramienta de gran utilidad para realizar estudios ambientales a escala espacial y/o temporal amplia. En el caso particular de Landsat TM, la buena resolución espectral (7 bandas) y espacial (30 m × 30 m) de las imágenes, sumadas a la cobertura espacial (180 Km × 180 Km) de cada escena y a su cobertura

temporal (desde 1982 hasta 2001), permiten identificar alteraciones ambientales relativamente pequeñas, evaluar sus efectos a escala regional y determinar tasas de cambio durante las últimas dos décadas. En este sentido, varios trabajos han aplicado exitosamente el análisis de imágenes Landsat TM para identificar disturbios naturales y antrópicos tales como deforestación, incendios o tornados (Grau, 2001; Mukai y Hasegawa, 2002; Almeida-Filho y Shimabukuro, 2002), determinar cambios en

el uso de la tierra (Helmer *et al.*, 2000; Song *et al.*, 2001; Watson y Wilcok, 2001; Rogam *et al.*, 2002) y cartografiar la cobertura vegetal (Towsend, 2000; Pax-Lenney *et al.*, 2001) en diversos ecosistemas. En el caso particular de los deslizamientos de ladera, Blodgett (1998) pudo identificar y cuantificar el impacto de este tipo de disturbio sobre la hidrología de las cuencas en los bosques subtropicales de montaña o “Yungas” del sureste de Bolivia, utilizando clasificaciones supervisadas de imágenes Landsat TM.

Las Yungas bolivianas son una continuación de los bosques subtropicales de montaña o “Yungas” del Noroeste de Argentina (NOA). Este tipo de bosques presentan algunas ventajas con respecto a otros ambientes como bosques tropicales y desiertos, en cuanto a la identificación de deslizamientos de ladera por medio de sensores remotos. Por un lado, están formados por una masa boscosa continua que hace más fácil identificar deslizamientos frescos, no colonizados aún por la vegetación, y cicatrices de deslizamientos recientes, colonizados recientemente por la vegetación, dentro de la matriz de bosque continuo. Por otra parte, la estacionalidad marcada de esta área hace posible trabajar con imágenes satelitales de la época seca, cuando no hay casi nubes que dificulten la visualización.

Los estudios de cambios ambientales a escala regional son de gran importancia para entender el funcionamiento de los ecosistemas debido a que la estrecha relación que existe entre el clima, los disturbios y la vegetación determina en gran medida la estructura de las comunidades naturales y su dinámica. El clima actúa sobre la vegetación, de manera directa, condicionando el establecimiento y crecimiento de las especies y, de manera indirecta, modificando la frecuencia, magnitud, tipo y extensión de los disturbios (Prentice, 1992; Beniston y Fox, 1996). Los disturbios, por su parte, producen la liberación de recursos que favorecen el establecimiento y/o desarrollo de las especies mejor adaptadas a estos sitios. En regiones montañosas, las variaciones regionales del clima, en especial las variaciones de precipitación, pueden modificar la dinámica de los deslizamientos de ladera, sobre todo si se tiene en cuenta que existe una estrecha relación entre la ocurrencia de deslizamientos y la recarga de agua en el suelo (Keefer y Johnson 1983; Iverson y Majr 1987; Bovis y Jones 1992). El efecto que los deslizamientos tienen sobre la ecología de los bosques lluviosos se debe a que alteran la estructura y funcionamiento de éstos ecosistemas (Veblen

y Ashton, 1978; Garwood *et al.*, 1979; Guariguata, 1990). Grau y Brown, 1995), encontraron que en la franja superior de los bosques subtropicales de montaña o “Yungas” del noroeste de Argentina, donde las pendientes son más pronunciadas y existe una abundante precipitación, los deslizamientos de ladera son uno de los disturbios de mayor impacto ya que favorecen el ingreso de especies pioneras dentro de la estructura del bosque maduro, incrementando la riqueza de especies y retrasando la sucesión (Guariguata, 1990). En términos generales, se espera que los cambios climáticos asociados al futuro calentamiento global modifiquen el régimen de disturbios, generando alteraciones en la estructura de los bosques al aumentar la proporción relativa de parches con estadios sucesionales tempranos (Overpeck *et al.*, 1990).

Los deslizamientos de ladera no solo afectan a la dinámica de las comunidades vegetales, sino también a las actividades humanas. Teniendo en cuenta que una gran parte de los centros urbanos del noroeste Argentino están en estrecha relación con las zonas montañosas, esta clase de estudios serán muy relevantes para evaluar el impacto futuro de los deslizamientos sobre la vida de las personas de la región. Conociendo de que manera responden los deslizamientos a los cambios de las precipitaciones se podrá estimar las alteraciones futuras en la calidad de las aguas para riego y consumo, la tasa de aportes de sedimentos a las cuencas de ríos de la llanura (p.e. Río Paraná), la tasa de sedimentación de embalses y los niveles de riesgos de inundaciones y aludes a los cuales se encontrarán sometidas las poblaciones del piedemonte.

Estudios climáticos basados en registros instrumentales (Minetti y Vargas, 1997) y de anillos de árboles (Villalba *et al.*, 1998) han evidenciado un sustancial aumento en las precipitaciones durante las últimas décadas (comparado con los últimos 200 años) en el noroeste de Argentina. En tal sentido, es de esperar un aumento en el número, tamaño y frecuencia de deslizamientos de ladera en las últimas décadas. El objetivo general del presente trabajo consiste en identificar deslizamientos de ladera en los bosques del noroeste argentino, mediante el análisis de imágenes Landsat TM. Además, evaluamos el área ocupada por los deslizamientos en el año 1986 y en el año 2001 y determinamos de esta manera el cambio que se ha producido durante este período.

El objetivo principal de este trabajo fue identificar deslizamientos de ladera utilizando imágenes

Landsat TM, evaluar su impacto sobre los bosques montanos del noroeste de Argentina y estimar el cambio, en cuanto al área afectada, entre 1986 y 2001.

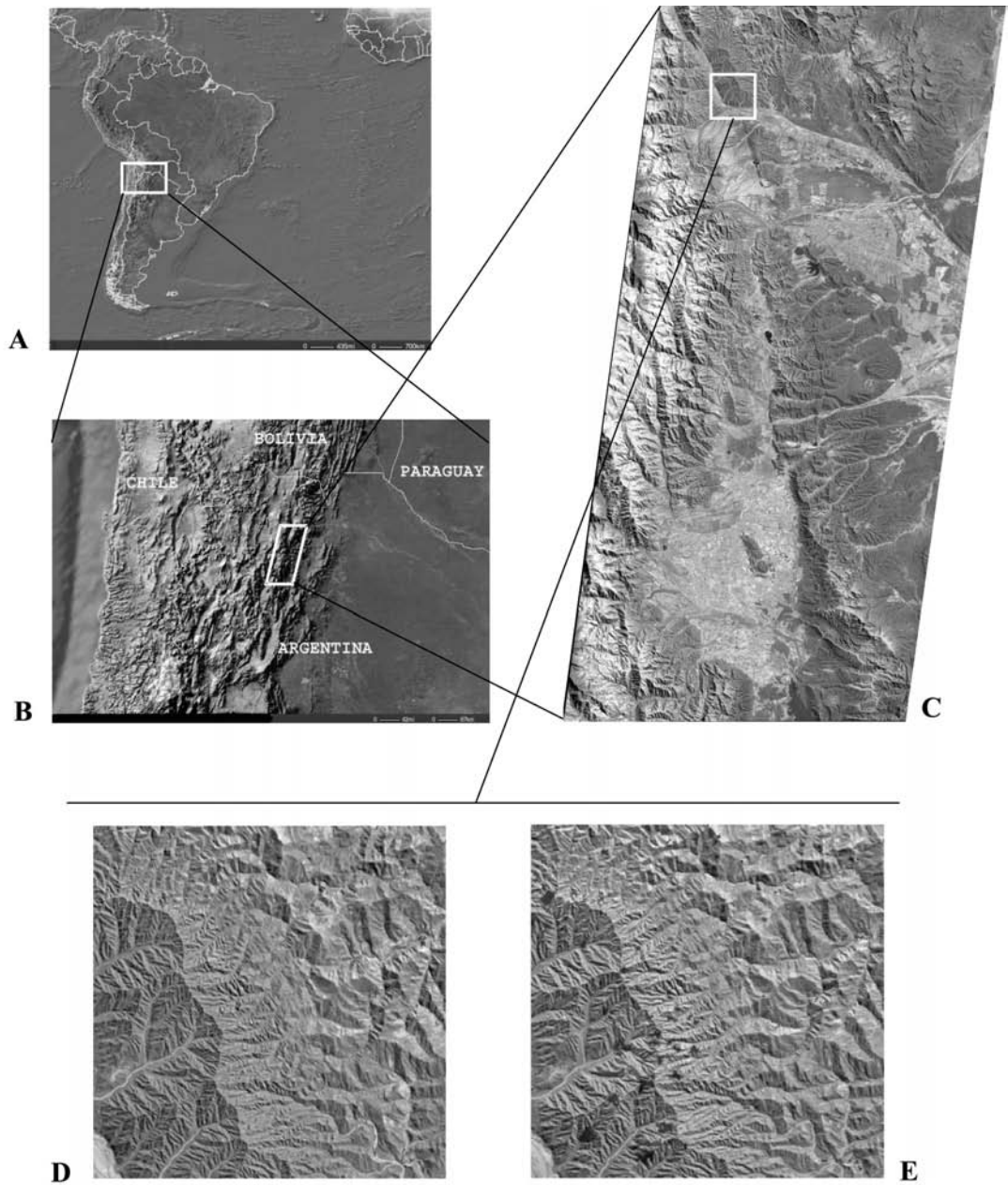
METODOLOGÍA

El área de estudio está ubicada en el noroeste de Argentina (Fig. 1 A y B) y comprende una porción (23° 58' lat sur-65° 28' long. oeste; 24° 4' lat sur-64° 49' long oeste; 25° 10' lat sur-65° 52' long oeste; 25° 16' lat sur-65° 13' long oeste) de los bosques subtropicales de montaña o "Yungas". La zona presenta un régimen climático monzónico con inviernos frescos y secos, y veranos calurosos y húmedos, con precipitaciones abundantes (1.500 mm anuales) concentradas principalmente entre diciembre y marzo. La vegetación es abundante con árboles de gran tamaño formando masas boscosas continuas situadas principalmente en las laderas orientales de las sierras subandinas que recorren la región en dirección norte-sur.

Para este estudio utilizamos dos imágenes Landsat TM, escena 231/077 (11/09/1986 y 03/08/2001), georreferenciadas en UTM zona sur 20, y con la información espectral en valores de cuentas digitales (DN), ya que para determinar tasas de cambio en el tiempo no es necesario corregirlas atmosféricamente (Song *et al.*, 2001; Foody, 2002). Para todos los análisis utilizamos el programa ENVI 3.5, con el cual asociamos espacialmente las imágenes a través de 25 puntos de control comunes. Estas imágenes se corregieron mediante un remuestreo de las escenas con el método del vecino más cercano, calculado con un polinomio de grado 2. En cada escena delimitamos un área de trabajo tratando de incluir la mayor cantidad de bosques posible en relación a otras áreas, sobre la cual se realizaron las clasificaciones (Fig. 1 C). Con estas imágenes en falso color, utilizando las bandas 5, 4 y 2 (RGB), por ser las más adecuadas para identificar deslizamientos (Blodgett, 1998), se identificaron visualmente 25 deslizamientos en la imagen de 1986 y 28 deslizamientos en la imagen de 2001, diferenciándolos de las restantes unidades de terreno. Siguiendo esta metodología, y sobre la base del conocimiento del terreno, se crearon las regiones de interés que serían utilizadas como "clases de entrenamiento" para clasificar cada una de las imágenes de manera supervisada. Si bien el conocimiento de la zona es suficiente

como para diferenciar las diferentes unidades del terreno, evaluamos estadísticamente el grado de diferenciación espectral entre las regiones escogidas, mediante dos medidas independientes: la distancia de Jeffries-Matusita y la medida de Divergencia Transformada (Richards, 1999). Estas medidas calculan la separabilidad estadística para todas las combinaciones posibles de pares de regiones, y dan una idea del grado de solapamiento que existe entre ellas: a mayor separabilidad entre regiones, menor solapamiento y por lo tanto menor error de clasificación. De ésta manera uno puede conocer antes de hacer la clasificación si las regiones que escogió son realmente diferentes en cuanto a sus características espectrales, y así puede evitar clasificar dos áreas como diferentes cuando en realidad son iguales o viceversa. Debido a que los índices de Divergencia Transformada y de Jeffries-Matusita tienen valores entre 0 y 2, y que para cada par de regiones tenemos dos medidas de separación, decidimos arbitrariamente realizar las clasificaciones de las imágenes solo cuando todos los pares de regiones presenten por lo menos uno de los índices superior a 1.85 y ninguno de los índices menor a 1.55, lo que nos asegura que la probabilidad de clasificar erróneamente las imágenes en base a estas regiones es < 0.01 (Richards y Jia, 1999).

Utilizando las regiones de interés determinadas realizamos una clasificación supervisada Maximum Likelihood ($p < 0.05$) en cada una de las imágenes. Para evaluar la calidad de las clasificaciones, hicimos un análisis de posclasificación por medio de la generación de matrices de confusión para la clasificación de cada una de las imágenes. Las matrices de confusión son matrices bidimensionales cuadradas donde cada columna representa una categoría resultado de la clasificación y cada fila hace referencia a una clase real. En este caso la diagonal de la matriz muestra la cantidad de píxels de cada clase que fueron correctamente clasificados. El resto de los elementos muestran no solo la cantidad de píxels incorrectamente clasificados sino también a que clase han sido incorrectamente asignados. Para determinar el impacto de los deslizamientos de ladera sobre los bosques, seleccionamos cuatro zonas de bosques donde evaluamos el área total ocupada por los deslizamientos de ladera en cada imagen. Para ello descartamos los píxels individuales clasificados como deslizamientos y solo consideramos para nuestras mediciones aquellos grupos formados por 9 o más píxels, donde cada uno de ellos sea adya-



*Figura 1. Ubicación geográfica de la zona de trabajo y análisis de cambio en los deslizamientos de ladera entre 1986 y 2001. Argentina en Sudamérica (A). Noroeste de Argentina (B). Área de estudio (C). Superficie afectada por deslizamientos (en azul) en el año 1986 (D) y en el año 2001 (E).

cente con al menos otro pixel de la clase deslizamientos. Se estimó el cambio en cuanto al área ocupada por los deslizamientos de ladera entre 1986 y 2001, mediante la medición de las áreas (en ha) afectadas en cada una de las imágenes.

RESULTADOS

La correstración espacial entre las imágenes se hizo con un error cuadrático medio de 0.7. En cuanto a la zona de trabajo escogida en cada imagen, la

Todas las figuras precedidas de asterisco se incluyen en el cuadernillo anexo de color

N° de Pixels	Región	Ciudad	Ríos	Incendio	Agua	Sombra	C.activo	Carado	Altam.	Bosque	Desliz.	Pastiz.
		JM;DT	JM;DT	JM;DT	JM;DT	JM;DT	JM;DT	JM;DT	JM;DT	JM;DT	JM;DT	JM;DT
217	Ciudad	2,00;2,00	1,90;1,98	2,00;2,00	2,00;2,00	1,99;2,00	1,99;2,00	1,86;1,99	1,99;2,00	1,99;2,00	1,95;1,99	1,99;2,00
1507	Ríos	1,91;1,99	2,00;2,00	1,99;2,00	1,99;2,00	1,99;2,00	1,99;2,00	1,98;1,99	1,99;1,99	1,99;2,00	1,97;1,99	2,00;2,00
1204	Incen.	1,99;2,00	1,99;2,00	2,00;2,00	1,99;2,00	1,81;2,00	1,99;2,00	1,97;1,99	1,99;1,99	1,99;1,99	1,90;1,98	1,99;1,99
11074	Agua	1,99;2,00	1,99;2,00	1,98;2,00	2,00;2,00	1,99;2,00	2,00;2,00	2,00;2,00	1,99;2,00	1,99;2,00	2,00;2,00	2,00;2,00
854	Sombra	1,99;2,00	2,00;2,00	1,99;2,00	1,96;1,99	2,00;2,00	2,00;2,00	1,99;2,00	1,99;2,00	1,99;1,99	1,99;2,00	2,00;2,00
3167	C.activo	1,99;2,00	1,99;2,00	1,99;2,00	2,00;2,00	2,00;2,00	2,00;2,00	1,99;2,00	1,99;2,00	1,99;1,99	1,99;1,99	1,99;1,99
3391	C.arado	1,99;1,99	1,99;1,99	1,98;1,99	2,00;2,00	2,00;2,00	1,99;2,00	2,00;2,00	1,99;1,99	1,96;1,99	1,71;1,96	1,99;1,99
7923	Altam.	1,98;2,00	1,99;1,99	1,99;1,99	1,99;2,00	1,99;2,00	1,99;2,00	1,90;1,99	2,00;2,00	1,99;1,99	1,77;1,93	1,84;1,99
5959	Bosque	1,99;1,99	1,99;2,00	1,99;2,00	1,99;2,00	1,99;2,00	1,97;1,99	1,98;2,00	1,99;2,00	2,00;2,00	1,99;1,99	1,98;1,99
1246	Desliz.	1,98;1,99	1,97;1,99	1,99;1,99	1,99;2,00	1,99;2,00	1,99;1,99	1,65;1,91	1,62;1,80	1,97;1,99	2,00;2,00	1,82;1,99
607	Pastiz.	1,99;2,00	2,00;2,00	1,99;1,99	2,00;2,00	2,00;2,00	1,99;1,99	1,99;1,99	1,97;1,99	1,92;1,97	1,75;1,99	2,00;2,00

Tabla 1. Medidas de separabilidad entre cada par de regiones de interés escogidas para “entrenar” la clasificación supervisada. **JM** = índice de Jeffries-Matusita; **DT** = índice de Divergencia Transformada. La mitad superior de la tabla corresponde a los valores de separabilidad para la imagen de 1986 y la mitad inferior de la tabla corresponde a valores de separabilidad para la imagen de 2001.

superficie cubierta por bosques es de aproximadamente un 62% del área total de trabajo. Las 11 regiones creadas para “entrenar” la clasificación están formadas por un número de pixels mayor al de 10 N (N = n.º de bandas) recomendado (Swain y Davis, 1978; en Richard y Jia, 1999), y muestran índices de separabilidad en todos los casos superiores a 1.6 (Tabla 1). Esto significa que el grado de solapamiento espectral entre las regiones es en todos los casos lo suficientemente pequeño como para que la probabilidad de clasificar correctamente las imágenes sea > 0.99. Este alto grado de separabilidad entre las regiones creadas, se ve reflejado en los resultados obtenidos con las clasificaciones realizadas. El análisis de posclasificación muestra que las clasificaciones de cada una de las imágenes son muy consistentes y presentan pocos errores (Tabla 2). La matriz de confusión de la imagen de

1986 presenta una precisión general de clasificación del 91% y un valor del coeficiente kappa de 0.89, mientras que la matriz de confusión de la imagen de 2001 muestra una precisión general de clasificación del 90% y un valor del coeficiente kappa de 0.87.

Los resultados muestran que la superficie total ocupada por deslizamientos en las cuatro zonas de bosques analizadas en el año 1986 era de 3104 ha (1.35 % del área), mientras que en el año 2001 la superficie total ocupada por deslizamientos en las mismas zonas de bosques fue de 3448 ha (1.5% del área). Esto significa un aumento de 343 ha (0.15% del área) en cuanto al área que ocupan los deslizamientos de ladera en las zonas de bosques estudiadas. El tipo de cambio ocurrido se puede ejemplificar si comparamos una porción de bosque en el año 1986 con la misma porción en el año 2001 (Fig. 1 **D** y **E**).

Año	1986		2001	
	Precisión General: 91 %; Kappa: 0.89		Precisión General: 90 %; Kappa: 0.87	
Clase	Precisión Productor (%)	Precisión Usuario (%)	Precisión Productor (%)	Precisión Usuario (%)
Ciudad	88.02	97.95	95.39	97.64
Ríos	86.60	99.92	98.74	100.00
Incendios	90.12	97.22	98.83	99.65
Agua	99.70	100.00	90.86	99.95
Sombra	91.10	98.11	86.82	70.08
C. activo	99.18	99.94	95.52	99.86
C. arado	82.31	99.89	98.84	98.23
Altamont.	76.23	99.74	98.75	99.90
Bosque	95.94	99.88	72.65	99.21
Deslizam.	78.21	80.03	80.25	99.94
Pastizal	83.03	62.53	36.09	84.75

Tabla 2. Resultados de las matrices de confusión.

CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos muestran que es posible diferenciar con buena precisión deslizamientos de ladera dentro de la matriz de bosque y determinar el área afectada por éste tipo de disturbios, mediante un análisis multitemporal de imágenes satelitales. El alto grado de separabilidad logrado entre las regiones seleccionadas, puede deberse en gran medida al conocimiento previo que tenemos del área de estudio, esto hace posible que la elección de las regiones para entrenar la clasificación representen verdaderas unidades diferenciadas espectralmente. Si bien los deslizamientos muestran índices de separabilidad menos elevados con las regiones de “campo arado” y “altamontaña”, que con el resto de las regiones, esto no afectó a las clasificaciones debido a que se evaluó la dinámica de este disturbio sólo en las 4 zonas de bosques puro escogidas. El alto grado de separabilidad entre los deslizamientos y el bosque se reflejaron directamente en los bajos errores de las clasificaciones realizadas.

Los resultados obtenidos a través del uso de clasificaciones supervisadas de maximun likelihood, muestran que este tipo de clasificación es muy útil para distinguir las diferentes unidades del terreno en general y para identificar de manera precisa los deslizamientos de ladera. El aumento en el área afectada por los deslizamientos desde 1986 hasta 2001, aunque es muy marcado, no representa una tasa de cambio realmente. Si bien este análisis se hizo en base a solamente 2 imágenes, muestra que es posible evaluar cambios en el tiempo y puede dar una idea general del comportamiento que puede tener este tipo de disturbio en el contexto del cambio climático.

La principal limitación de este trabajo es que solo diferencia los deslizamientos frescos (no colonizados por vegetación) dentro de la matriz de bosque, no pudiendo distinguir la evolución de estos deslizamientos, sobre todo en cuanto a la velocidad de colonización por la vegetación circundante, la expansión del área afectada o la reactivación de los deslizamientos luego de su estabilización. Futuros estudios relacionados con estos aspectos harán posible tener una comprensión más global de la interacción entre los disturbios y la dinámica de la vegetación y de las características futuras que pueden llegar a tener estos ecosistemas dentro de los escenarios de cambio global propuestos por los modelos generales de circulación atmosférica.

La detección de deslizamientos de ladera a escala regional es el primer paso hacia el estudio de los cambios en los regímenes de disturbios. Dentro del contexto del cambio global actual, este tipo de estudios tienen un gran potencial para entender el funcionamiento de los ecosistemas desde una perspectiva dinámica. Esta información resulta fundamental para estimar futuros cambios y para mejorar las políticas de intervención y manejo de áreas protegidas.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto fue financiado por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), de Argentina y contó con el apoyo de la Unidad de Cambio Global, Departamento de Termodinámica, Universidad de Valencia, España. Agradecemos especialmente a Héctor Ricaro Grau sus aportes y comentarios.

BIBLIOGRAFÍA

- ALMEIDA-FILHO, R. y SHIMABUKURO, Y. E. 2002. Digital Processing of Landsat TM time series for mapping and monitoring degraded areas caused by independent gold miners, Roraima State, Brazilian Amazon. *Remote Sensing of Environment*. 79: 42-50.
- BENISTON, M. y FOX, D. G. 1996. Impacts of Climate Change on Mountain Regions. In: R.T. Watson, M. C. Zinyowera, R. H. Moss (eds), *Climate Change 1995. Impacts, adaptations and mitigation of climate change: scientific-technical analyses*. Cambridge, UK, Cambridge University Press pp. 191-213.
- BLODGETT, T. A. 1998. *Erosion Rate on the NE Escarpment of the Eastern Cordillera, Bolivia Derived from Aerial Photographs and Thematic Mapper Images*. Cornell University. Ph. D. Thesis.
- BOVIS, M. J., y JONES, P. 1992. Holocene history of earthflow mass movements in south-central British Columbia: the influence of hydroclimatic changes. *Canadian Journal of Earth Sciences*. 29: 1746-1755.
- FOODY, G. M. 2002. Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*. 80: 185-201.
- GARWOOD, N. C., JANOS, D. P. y BROKAW, N. 1979. Earthquake-caused landslides: A major

- disturbance to tropical forests. *Science* 205: 997-999.
- GRAU, H. R. y BROWN, A. D. 1995. Los deslizamientos de ladera como condicionantes de la estructura y composición de la selva subtropical de montaña. En: Brown, A. D. y H. R. Grau, (eds.). *Investigación, conservación y Desarrollo en Selvas Subtropicales de Montaña*. pp. 79-84.
- GRAU, H. R. 2001. Regional-scale spatial patterns of fire in relation to rainfall gradients in sub-tropical mountains, NW Argentina. *Global Ecology and Biogeography*. 10: 133-146.
- GUARIGUATA, M. R. 1990. Landslide disturbance and forest regeneration in the upper Luquillo mountains of Puerto Rico. *Journal of Ecology* 78: 814-832.
- HELMER, E. H., BROWN, S. y COHEN, W. B. 2000. Mapping mountain tropical forest successional stage and land use with multi-date Landsat imagery. *International Journal of Remote Sensing*. 21 (11): 2163-2183.
- IVERSON, R. M., y MAJOR, J. J. 1987. Rainfall, ground-water flow, and seasonal movement at Minor Creek landslide, northwestern California: physical interpretation of empirical relation. *Geological Society of America Bulletin*. 99: 579-594.
- KEEFER, D. K., y JOHNSON, A. M. 1983. Earth-flow, morphology, mobilization, and movement. *United States Geological Survey, Professional Paper* 1264.
- MIENTTI, J. L., y VARGAS, W. M. 1997. Trends and jumps in the annual precipitation in South America, south of the 15 S. *Atmósfera*. 11: 205-221.
- MUKAI, Y. y HASEGAWA, I., 2002. Extraction of damaged areas of windfall trees by typhoons using Landsat TM data. *International Journal of Remote Sensing*. 21 (4): 647-654.
- OVERPECK, J. T., RIND, D., y GOLDBERG, R. 1990. Climate-induced changes in forest disturbance and vegetation. *Nature*. 343: 51-53.
- PAX-LEANNY, M., WOODCOCK, C. E., MACOMBER, S. A., GOPAL, S. y SONG, C. 2001. Forest mapping with a generalized classifier and Landsat TM data. *Remote Sensing of Environment*. 77: 241-250.
- PRENTICE, C. I. 1992. Climate change and long-term vegetation dynamics. In: D. C. Glenn-Lewin, R. K. Peet and T. T. Veblen (eds), *Plant Succession: Theory and prediction*. Chapman and Hall, London, pp. 293-239.
- RICHARDS, J.A. y JIA, X. 1999. *Remote Sensing Digital Image Analysis: an introduction*. Springer-Verlag, Berlin.
- ROGAM, J., FRANKLIN, J. y ROBERTS, D. A., 2002. A comparison of methods for monitoring multitemporal vegetation change using Thematic Mapper imagery. *Remote Sensing of Environment*. 80: 143-156.
- SONG, C., WOODCOCK, C. E., SETO, K. C., PAX-LENNEY, M. y MACOMBER, S. A. 2001. Classification and change detection using Landsat TM data: when and how to correct atmospheric affects? *Remote Sensing of Environment*. 75: 230-244.
- SWAIN, P. H. y DAVIS, S. M. (eds.), 1978. *Remote sensing: the quantitative approach*. N.Y., McGraw-Hill.
- TOWNSEND, P. A. 2000. A quantitative fuzzy approach to assess mapped vegetation classification for ecological applications. *Remote Sensing of Environment*. 72: 253-267.
- VEBLEN, T. T. y ASHTON, P. 1978. Catastrophic influences on the vegetation of the aldivian Andes, Chile. *Vegetatio* 36(3): 149-167.
- VILLALBA, R., GRAU, H. R., BONINSEGNA, J. A., JACOBY, G. C., y RIPALTA, A. 1998. Tree-Ring Evidence for Long-Term Precipitation Changes in Subtropical south America. *International Journal of Climatology*. 18: 1463-1478.
- WATSON, N. y WILCOCK, D., 2001. Preclassification as an aid to the improvement of the thematic and spatial accuracy in land cover maps derived from satellite imagery. *Remote Sensing of Environment*. 75: 267-278.

NOTICIAS

Socios numerarios y correspondientes estudiantes

El artículo 15º de los estatutos de la Asociación Española de Teledetección (A.E.T.) contempla la posibilidad de que los socios numerarios (residentes en territorio español) y correspondientes (no residentes en territorio español), estudiantes de Facultades, Escuelas Técnicas y Universitarias, gocen de un 50% de bonificación en sus cuotas.

Animamos a todos los estudiantes, con interés en conocer las investigaciones y técnicas de teledetección, para que se integren como socios de la Asociación Española de Teledetección (A.E.T.) por una cuota anual de 18 euros.
