

Evaluación de Imágenes Modis para el Monitoreo de la Deforestación en México

Evaluation of Modis Images to Monitor Deforestation in Mexico

Jean-François Mas¹
Ignacio González Gutiérrez¹

Resumen

Se evaluaron diferentes productos derivados de imágenes del sensor *MODIS* y métodos de detección de cambio para la determinación de áreas deforestadas en dos regiones de México. Los datos *MODIS* utilizados fueron el mapa de cambio de vegetación (MOD44A) y los índices de vegetación (MOD13). Los métodos de detección de cambio fueron una clasificación multifecha, una comparación post-clasificatoria y técnicas de realce como el vector de cambio, la diferencia de imagen y el análisis en componentes principales selectiva (ACPS). Las dos versiones del producto MOD44A que se evaluaron no indicaron ningún cambio para ambas áreas de estudio, es decir que no detectaron ninguna de las áreas deforestadas aunque algunas de ellas alcanzaban superficies importantes (> 100 ha). Los métodos de realce de imagen permitieron generar mapas de cambio que presentan una fiabilidad satisfactoria.

Palabras clave: monitoreo de la deforestación; *MODIS*; índices de vegetación; detección de cambio; México.

Abstract

The performance of different products derived from sensor *MODIS* imagery and change detection methods in detecting deforested areas was evaluated in two regions of Mexico. *MODIS* data used in this study were the vegetative cover conversion product (MOD44A) and the vegetation indices (MOD13).

¹ Instituto de Geografía – Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Unidad Académica Morelia. Aquilés Serdán, 382, Colonia Centro, CP 58000, Morelia, Michoacán, México, e-mail: jfmas@igg.unam.mx

The change detection methods were multivariate classification, post-classification comparison and image enhancement techniques such as change vector, image differencing and selective ACP. The two versions of MOD44A products which were evaluated indicated no change in both study areas, they were not able to detect the deforested areas although some of patches reached meaningful superficies (> 100 ha). The image enhancement methods allow the elaboration of maps of change which presented a satisfactory accuracy.

Key words: deforestation monitoring; MODIS; vegetation indices; change detection; Mexico.

Introducción

México, con una extensión de cerca de dos millones de km², presenta coberturas forestales en más de una tercera parte de su territorio (MAS et al., 2002). En un estudio basado en la comparación de mapas se estimó la tasa de deforestación promedia durante el periodo 1976-2000, en 0,25, 0,75 y 0,33% por año para bosque, selva y matorrales respectivamente (MAS et al., 2004). Sin embargo, con base en un método e insumos similares, la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) reportó una tasa de deforestación mucho menor para el Informe sobre la Evaluación de los Recursos Forestales en el Mundo 2005 (FRA-2005), que integra cada 5 años la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), por lo cual existe mucha incertidumbre sobre la velocidad con la cual están ocurriendo estos cambios.

Por otro lado, este tipo de análisis basado en la comparación de mapas existentes se refiere a cambios ocurridos durante periodos pasados largos por lo cual las autoridades no pueden emplearlo para realizar acciones destinadas a frenar la deforestación. El análisis de imágenes de satélite de alta resolución espacial presenta también limitaciones prácticas por la gran cantidad de imágenes a procesar (se necesitan más de 120 imágenes *Landsat* y más de 600 imágenes *SPOT* para cubrir el territorio nacional) y la dificultad para conseguir imágenes libres de nubes para ciertas regiones del país. Idealmente, se necesitaría un monitoreo continuo de las coberturas forestales que permitiría identificar, en tiempo real, las áreas que sufren procesos de desmonte.

Recientemente, entraron en funcionamiento los sensores *Moderate Resolution Imaging Spectro-Radiometer (MODIS)* Terra y Aqua. Las imágenes *MODIS* tienen 36 bandas espectrales, la resolución espacial es de 250 m, 500 m y 1000 m dependiendo de las bandas y se toma aproximadamente una imagen al día. Con base en las imágenes multiespectrales, se generan y ponen a la disposición del público productos temáticos dentro de los cuales destacan productos que describen los cambios de las coberturas del suelo (ZHAN et al., 2000 y 2002) y los índices de vegetación. En Brasil, se desarrollaron

sistemas de monitoreo de la deforestación en tiempo casi real para la región Amazónica que producen mensualmente mapas que indican las nuevas áreas deforestadas (SANTOS, 2002; FERREIRA et al., 2003; SHIMABUKURO et al., 2004). Estos mapas son utilizados por las autoridades ambientales para fiscalizar los desmontes no autorizados.

Morton et al. (2005) llevaron a cabo una evaluación de los datos *MODIS* para la detección de la deforestación en la Amazonia brasileña. Encontraron que estos datos permiten detectar más de 80% de las áreas desmontadas de más de 3 ha. Sin embargo, en el caso del territorio mexicano, la detección de áreas deforestadas es más compleja debido al tamaño menor de los desmontes, la heterogeneidad del paisaje y la complejidad del relieve.

El objetivo de este estudio es evaluar el aporte de algunos de los productos *MODIS* para el monitoreo de la deforestación en México.

Área de estudio

En este estudio preliminar se llevó a cabo esta evaluación en dos regiones de la República Mexicana: la región de la Monarca en el Estado de Michoacán, que es una región de bosque templados, principalmente de pino y la región central del Estado de Quintana Roo, que es una región selvática, en la cual dominan las selvas medianas subperennifolias (figura 1).

Materiales

Se evaluaron dos versiones del producto *vegetation cover change* (MOD44A) una disponible en el portal del *USGS* y otra divulgada por la Universidad de Maryland y diferentes métodos de detección de cambio aplicados a los índices de vegetación (MOD13).

El producto MOD44A disponible a través del portal del *USGS* (<http://edcdaac.usgs.gov/main.asp>) se basa en la comparación entre el porcentaje de cobertura forestal de diferentes periodos de 16 días de dos años consecutivos. Estos porcentajes de cobertura están clasificados según dos sistemas (tabla 1), por lo cual se llevan a cabo 12 comparaciones (6 periodos x 2 sistemas clasificatorios). Para que se considere que hubo deforestación se debe observar una disminución de la cobertura forestal que se traduzca por un retroceso de por lo menos dos categorías de cobertura (es decir no se toman en cuenta cambios entre categorías contiguas) para por lo menos dos periodos en uno de los dos sistemas de clasificación.

Figura 1. Áreas de estudio



Figura 2. Composiciones a color de las dos áreas de estudio

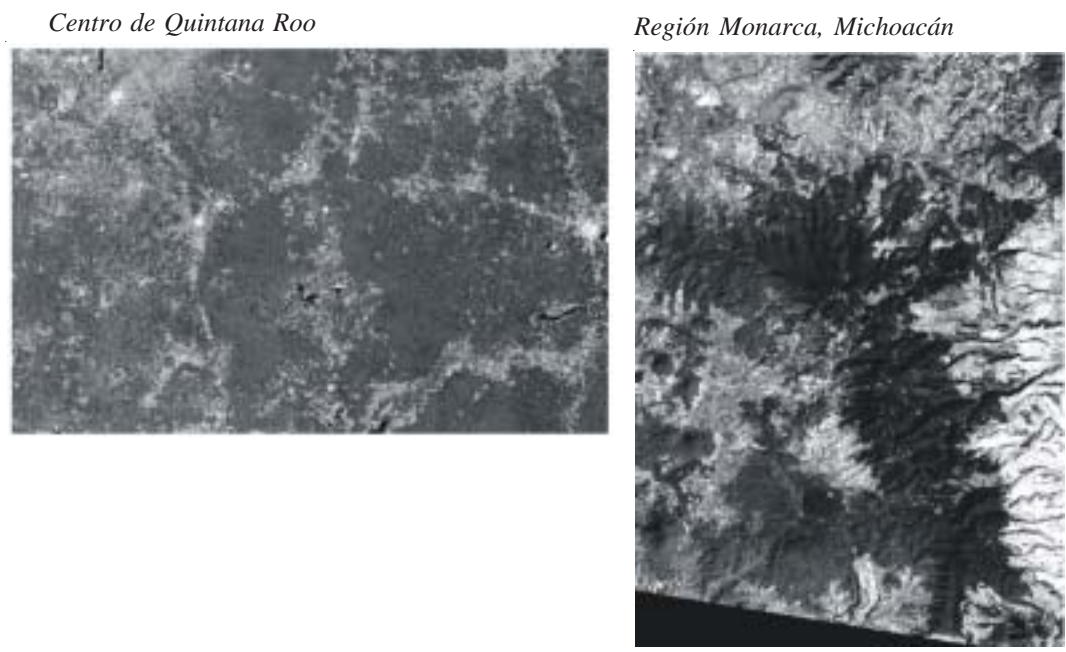


Tabla 1. Sistemas de clasificación utilizados en la estimación de la cobertura arbórea

Categoría	Cobertura arbórea (%)	
	Sistema clasificatorio 1	Sistema clasificatorio 2
Clase 1	0-19	0-18
Clase 2	20-39	19-36
Clase 3	40-59	37-54
Clase 4	60-100	55-72
Clase 5 (sólo para el sistema 2)		73-100

El producto MOD44A con una resolución espacial de 250 m tiene diferentes capas de información:

- una capa sobre cambio (*Labeled Land Cover Change*) que presenta básicamente las categorías “deforestación”, “no deforestación” y “sin información”;

- 12 capas que indican la combinación de categorías de cobertura para los dos años en comparación tomando en cuenta los dos sistemas clasificatorios y los 6 periodos de tiempo. Estas capas permiten determinar de manera más precisa la fecha probable del desmonte o generar mapas de cambio tomando en cuenta otros criterios que los utilizados para generar la capa de cambio descrita anteriormente;

- una capa de calidad (*Labeled Land Cover Change QA*) que califica la fiabilidad de la información sobre cambio y que presenta las categorías “cambio con fiabilidad alta”, “cambio con fiabilidad moderada”, “no cambio con fiabilidad alta”, “no cambio con fiabilidad moderada” y sin información.

En el verano 2006, la Universidad de Maryland divulgó otra versión de MOD44 (<http://landcover.org>). En su versión actual, este producto presenta solamente una capa de información que indica si hubo o no deforestación durante el periodo 2001-2005. Se utilizaron los productos correspondientes a las dos áreas de estudio (CARROLL et al., 2006).

Adicionalmente, se usaron los índices de vegetación derivados de *MODIS* (MOD13): el *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)* y el *Enhanced Vegetation Index (EVI)*. Este producto utiliza los mejores píxeles de las imágenes tomadas durante un periodo de 16 días para crear una composición con la finalidad de aminorar el efecto de las nubes y de geometría de adquisición de datos. Además de los dos índices, este producto presenta las respectivas capas de calidad de los índices así como las respuestas espectrales en las bandas del azul, rojo y del infrarrojo.

Para finalizar se utilizaron imágenes multifecha de alta resolución espacial para medir la fiabilidad de los mapas de deforestación derivados de los productos *MODIS*. En el caso del área en bosque templado (Monarca, Michoacán) se utilizaron dos mosaicos de fotografías aéreas digitales tomadas respectivamente en marzo de 2001 y febrero de 2003. Para la región de selva (Quintana Roo) se utilizó un mosaico de orto-fotos (2000) y una imagen *SPOT* del año 2002.

Métodos

Además de los productos de cambio elaborados por la NASA y la Universidad de Maryland, se generaron mapas de deforestación aplicando métodos de detección de cambio de realce de imagen (diferencia de imágenes, análisis en componentes principales selectiva (ACPS), vector de cambio, *isoclust* y comparación post-clasificatoria) aplicado al *NDVI* y a las bandas espectrales (READ y LAM, 2002; LU et al., 2004).

Cada uno de los mapas de deforestación se comparó con el mapa de deforestación de referencia. El desempeño de cada método se evaluó con base en los errores de omisión (áreas deforestadas no detectadas) y de comisión (falsas alertas: áreas no deforestadas clasificadas como deforestadas). Ya que se usaron los mismos datos de referencia para evaluar los diferentes métodos/productos, se empleó el método propuesto por Foody (2004) para evaluar estadísticamente si la diferencia de fiabilidad entre métodos es significativa.

El método consiste en evaluar si existe una diferencia significativa entre dos proporciones con base en la prueba de McNemar. Es una prueba no paramétrica basada en una matriz de confusión de dos por dos que expresa las relaciones entre las confusiones de los dos mapas en comparación (tabla 2).

Tabla 2. Elementos de la matriz utilizada en la prueba de McNemar

	Mapa 2	
Mapa 1	Correcto	Incorrecto
Correcto	f_{11}	f_{12}
Incorrecto	f_{21}	f_{22}

La ecuación de la prueba se calcula como indicado a continuación y expresa la diferencia en los errores cometidos en los dos mapas. Esta variable sigue una distribución de chi cuadrado con un (1) grado de libertad y se compara con una tabla de los valores de chi cuadrado para determinar si la diferencia de fiabilidad es estadísticamente significativa.

$$z^2 = \frac{(f_{12} - f_{21})^2}{f_{12} + f_{21}} \quad (1)$$

Resultados y Conclusión

En ambas áreas de estudio las dos versiones del producto MOD44A indican que no hubo ningún cambio durante los periodos considerados. Ninguna de las áreas desmontadas identificadas en las imágenes de alta resolución espacial fueron detectadas aunque algunas de ellas alcanzaran una superficie de más de 100 ha. Un examen más detallado de las capas de información permite observar incongruencias entre la capa de calidad y la capa de cambio (por ejemplo existen muchos píxeles para los cuales se indican “cambio con alta fiabilidad” que están etiquetados como “no cambio” en la capa de cambio) así como entre la capa de métricas y la de cambio. Finalmente, se observó que numerosos píxeles no presentan información sobre cambio para ninguno de los periodos, lo cual es sorprendente ya que no se tratan de regiones con cobertura nublosa todo el año. Para las dos zonas de estudio, el producto MOD44 tiende por lo tanto a omitir las áreas desmontadas e a subestimar los procesos de deforestación. Cabe señalar que estos productos están todavía en el proceso de calibración.

En una etapa siguiente, se optó por aplicar algunos métodos de detección de cambio. Se presentan los resultados obtenidos en la región de la Monarca (tabla 3).

Tabla 3. Desempeño de algunos métodos de detección de cambio para la detección de área deforestadas

Métodos	Error de Omisión (%)	Error de Comisión (%)
ACPS con <i>NDVI</i>	20	27
Diferencia de imagen con <i>NDVI</i>	20	27
Vector de cambio (rojo e IR)	50	50
Clasificación multifecha	40	14
Comparación post-clasificatoria	20	27

Se obtuvo la misma fiabilidad con tres métodos (ACPS, diferencia de *NDVI* y comparación post-clasificatoria). La prueba de McNemar indica que hay una diferencia significativa entre la fiabilidad alcanzada por estos tres métodos y los dos otros (tabla 4).

Tabla 4. Valores de z^2 . Los valores superior a 3,84 indican una diferencia significativa (valor crítico para d.d.l = 1 and $p = 0,05$) y están resaltados en negrita

	1	2	3	4	5
1. ACPS con <i>NDVI</i>	-	0	5,3	0	0
2. Diferencia de imagen con <i>NDVI</i>		-	5,3	0	0
3. Vector de cambio (rojo e IR)			-	6,1	5,3
4. Clasificación multifecha				-	0
5. Comparación post-clasificatoria					-

Estos resultados sugieren que métodos sencillos como la diferencia de imagen aplicados a los *NDVI* permite obtener los insumos necesarios para desarrollar un sistema de alerta que detecte la mayoría de los eventos de deforestación (error de omisión < 25%) sin generar demasiadas falsas alertas (error de comisión < 30%). Sin embargo, el desempeño de estos métodos depende de la calidad de los insumos: en Quintana Roo el índice de vegetación de 2002 está muy contaminado por nube de tal forma que las imágenes de cambio no son muy fiables. Es también necesario llevar a cabo un análisis más detallado de la tasa de detección en función del tamaño de las manchas de desmonte y del contraste espectral entre los desmontes y las áreas contiguas.

Agradecimientos

Este estudio se llevó a cabo en el ámbito del proyecto “Un sistema de monitoreo de la deforestación en México” (clave 47198, SEP-CONACyT 2004). Agradezco a Mark Carroll de la Universidad de Maryland por su ayuda en la interpretación de los productos MOD44.

Referencias

- CARROLL, M.L. et al. Productos sobre cambio MOD44A_DEF.2001_2005.RQ1516.tif y MOD44A_DEF.2001_2005.R1314Q1314.tif, College Park, Maryland: University of Maryland, 2006.
- FERREIRA, L.G. et al. Monitoramento sistemático da cobertura vegetal no bioma cerrado através dos índices de vegetação MODIS. In: XI SBSR, 2003. Belo Horizonte, *Anais...*, Belo Horizonte: INPE, 2003, p. 2729 – 2736.
- FOODY, G.M. Thematic Map Comparison: Evaluating the Statistical Significance of Differences in Classification Accuracy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 70, n. 5, p. 627-633, 2004.
- LU, D. et al. Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, v. 25, n. 12, p. 2365–2407, 2004.
- MAS, J.F. et al. Assessing forest resources in Mexico: Wall-to-wall land use/cover mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 68, n. 10, p.966-968, 2002.
- MAS, J.F. et al. Assessing land use/cover changes : a nationwide multirate spatial database for Mexico. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 5, n. 4, p. 249-261, 2004.
- MORTON, D.C. et al. Rapid Assessment of Annual Deforestation in the Brazilian Amazon Using MODIS Data. *Earth Interactions*, n. 9, p. 1-22, 2005.

READ, J.M.; LAM, N. Spatial methods for characterising land cover and detecting land-cover changes for the tropics. *International Journal of Remote Sensing*, v. 23, n. 12, p. 2457–2474, 2002.

SANTOS, J.R. Métodos de tratamento de dados orbitais para estimativa do desflorestamento da Amazônia brasileira: a experiência do INPE. In: *Aplicações do Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica no Monitoramento na Amazônia Brasileira*, Brasília, Brasil, 2002.

SHIMABUKURO, Y.E. et al. Incorporating the use of MODIS data into INPE deforestation mapping, *III LBA Scientific Conference*, Julio 27-29 2004, Brasília, Brasil.

ZHAN, X. et al. Detection of land cover changes using MODIS 250-meter data. *Remote Sensing of Environment*, n. 83, p. 336-350, 2002.

ZHAN, X. et al. The 250m global land cover change product from the moderate Resolution Imaging Spectroradiometer of NASA's Earth Observing System. *International Journal of Remote Sensing*, v. 21, n.6, p.1433-1460, 2000.