

DETECCIÓN DE CAMBIOS EN IMÁGENES LANDSAT (30M) Y SPOT (10M) COMO INSUMO PARA LA VALIDACIÓN DE LOS MAPAS ANUALES DE 2005 A 2011 DERIVADOS DE IMÁGENES MODIS (250M) EN EL MARCO DEL PROYECTO NALCMS

Ricardo M. LLAMAS ^{a,*}, Mónica GALICIA, René R. COLDITZ ^a

^aComisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad (Conabio), Avenida Liga Periférico-Insurgentes Sur 4903, Col. Parques del Pedregal, Del. Tlapan, 14010, México D.F.

* Primer autor: Email: rllamas@conabio.gob.mx, Tel: +52-55-50044975

RESUMEN

La cobertura de suelo es uno de los principales tópicos en los estudios medioambientales. En México, el Sistema de Monitoreo del Cambio en la Cobertura de Suelo de América del Norte (NALCMS) genera mapas de cobertura de suelo y cambios anuales de 2005 a 2011. Para la validación de los cambios detectados, se utilizan datos Spot (10-20m) y Landsat (30m), de mayor resolución que los utilizados en los mapas iniciales generados mediante imágenes MODIS a 250m. El presente trabajo describe el análisis de detección de cambios con imágenes Landsat y Spot de 2005 a 2011 para 10 sitios en México, dichas imágenes fueron georreferenciadas evaluando la correlación del NDVI entre éstas y las imágenes MODIS a 250m en diferentes rangos de desplazamiento, identificando y corrigiendo problemas de geolocalización. Finalmente se realizó la detección de cambios y comparación con las capas anuales 2005 - 2011 producidas a partir de imágenes MODIS.

Palabras clave: Cobertura de suelo, Detección de cambios, Validación, MODIS, Landsat, Spot, NDVI

ABSTRACT

Land cover has become one a main topic in environmental studies. The North American Land Change Monitoring System (NALCMS) contributes to these activities, providing land cover and land cover change maps at annual intervals between 2005 and 2011 for the North American continent. As part of the validation of changes detected in Mexico from 2005, this work explores the use of higher resolution data using Spot (10-20m) and Landsat (30m) than those employed for land change mapping from MODIS at 250m. This research presents the analysis of Landsat and Spot images from 2005 to 2011 for 10 sites in Mexico. All images were georeferenced by means of indirect analysis, assessing the spatial correlation between NDVI values from high and low spatial resolution data for different thresholds of displacement, thus identifying and correcting geolocation issues. Finally, change detection of higher resolution images was compared to 2005 - 2011 change layers derived from MODIS.

Keywords: Land Cover, Change Detection, Validation, MODIS, Landsat, Spot, NDVI

1 INTRODUCCIÓN

La cobertura de suelo a nivel mundial y el cambio en ésta, se ha convertido en uno de los principales tópicos en los estudios medioambientales (Janetos & Justice, 2000; Colditz et al., 2014; Múcher et al., 2000). Su importancia radica en la utilidad de esta información dentro de investigaciones que van desde la generación de modelos de cambio climático e inventario de recursos naturales (Herold, 2009; Feranec et al., 2010; Pal et al., 2007), hasta aplicaciones en temas sociales y económicos (Ji et al., 2001; Milesi et al., 2003).

La Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte (CCA) coordina el mapeo e identificación de cambios en la cobertura de suelo para México, Estados Unidos y Canadá, trabajando conjuntamente con instituciones de los tres países, dentro del Sistema de Monitoreo del Cambio en la Cobertura de Suelo de América del Norte (NALCMS; Latifovic et al., 2012), el cual tiene como objetivo la generación de mapas anuales de cobertura a escala semi-continental.

Como parte del proceso de actualización de los mapas de cobertura de suelo para México a partir de 2005, que fue definido como año base en el proyecto NALCMS, se realiza la detección de cambios anuales para todo el país mediante imágenes MODIS a 250m, calculando la diferencia bianual entre bandas espectrales y características texturales, identificando píxeles que cumplen con parámetros específicos (Colditz et al., 2014; Zhan et al., 2002).

El presente trabajo describe la metodología de validación mediante detección de cambios en la cobertura de suelo utilizando imágenes Landsat y Spot para poder ser comparadas con las capas de cambio anuales 2005-2011 producidas a partir de imágenes MODIS dentro de NALCMS.

La validación de los algoritmos de detección de cambio resulta importante, ya que proporciona el grado de certidumbre que éstos poseen. Las áreas identificadas por los algoritmos de detección de cambios son utilizadas como insumo para la actualización de cartografía de la cobertura de suelo, por lo que la exactitud en la identificación

de áreas de cambio repercute en la exactitud de los mapas.

2 MATERIALES Y MÉTODO

2.1 DATOS

Para la validación de los cambios detectados con las imágenes MODIS, se seleccionaron 10 sitios en el país, tomando como referencia zonas con cambios bien definidos que fueron detectados en las imágenes MODIS a 250m. La selección de las zonas de cambio atendió también a generar un conjunto de sitios con cambios de distinta temática.

De los sitios seleccionados, seis fueron analizados con imágenes Landsat 5TM, principalmente en el norte del país, y dos sitios en la región sur, donde se utilizaron imágenes Landsat 7TM⁺ ambos sensores con una resolución espacial de 30m y 6 bandas espectrales con valores de reflectancia de superficie (Figura 1a).

Para la península de Yucatán se utilizaron imágenes Spot debido a que la disponibilidad de imágenes Landsat suficientemente libres de nubes es muy baja para esa zona, lo que imposibilita la comparación entre fechas similares para cada par de años. Los sitios en los que se utilizaron imágenes Spot para la detección de cambios fueron las zonas de las ciudades de Mérida y Cancún (Figura 1b).



Figura 1. La figura 1a representa la distribución de las escenas Landsat 5TM y 7TM⁺ utilizadas en este estudio, la figura 1b muestra el área cubierta por las imágenes Spot en la península de Yucatán. El esquema de colores corresponde al nombre de los sitios en la Tabla 1 y símbolos en Figura 2.

Debido a que el objetivo de la detección de cambios con datos de más alta resolución es validar cambios observados en las capas de cambio anuales de 2005 a 2011 generadas con datos MODIS, no en todos los sitios se realizó un análisis de cambios de los 6 años, sino que para cada sitio se seleccionaron sólo los años en los que se presentó el cambio más evidente identificado en las imágenes de resolución más gruesa (Tabla 1). Otra limitante fue la disponibilidad de imágenes mayormente libres de nubes para la misma temporada bianual.

En los sitios en los que fue posible obtener imágenes de las temporadas de secas y de lluvias, se realizó el análisis para ambas, adquiriendo imágenes alrededor de abril y octubre respectivamente. Para los sitios restantes se utilizaron sólo imágenes de la temporada con la menor cobertura de nubes.

2.2 METODOLOGÍA

Correlación y geocalización entre imágenes de distintas resoluciones

Para poder realizar una comparación entre los resultados de la detección de cambios que arrojan las imágenes Landsat y las imágenes Spot con la detección realizada previamente en imágenes MODIS, es necesario cerciorarse de que las imágenes de mayor resolución (Landsat, Spot) estén correctamente geocalizadas en relación con las imágenes de resolución más gruesa (MODIS), es decir, que los píxeles que representan mismos elementos en el terreno, estén en las mismas ubicaciones, aun cuando la resolución sea distinta.

Debido a que la georreferenciación manual de las imágenes de más alta resolución con las de resolución gruesa resulta una tarea demasiado ambigua derivada de las diferencias en el nivel de detalle que se puede observar entre 250m y 30m o 10m, se realizó la comparación usando el NDVI de ambas fuentes. Este parámetro es correlacionable, ya que no expresa valores individuales de reflectancia en cada píxel sino la relación entre dos bandas espectrales (rojo e infrarrojo cercano) como se muestra en la ecuación (1).

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (1)$$

Tabla 1. Sitios utilizados para la validación de cambios. Los colores corresponden a los sitios en la Figura 1.

Sitio	Principal tipo de cambio	Periodo de cambio	Path / Row	Sensor
Río Bravo	Nivel del agua	2005 - 2011	26 / 42	Landsat 5TM
Cuatro Ciénegas	Agricultura	2007 - 2011	29 / 42	Landsat 5TM
Río Colorado	Nivel del agua	2005 - 2011	38 / 38	Landsat 5TM
Ensenada	Área quemada	2005 - 2006	39 / 38	Landsat 5TM
Monterrey	Expansión urbana	2005 - 2009	28 / 42	Landsat 5TM
Tabasco 1	Zona inundable	2005 - 2011	21 / 47	Landsat 7ETM ⁺
Tabasco 2	Zona inundable	2005 - 2011	21 / 48	Landsat 7ETM ⁺
Vicente Guerrero	Nivel del agua	2008 - 2011	27 / 43	Landsat 5TM
Cancún	Expansión urbana	2005 - 2011	613 / 308	SPOT 5 HRG SPOT 4 HRVIR
Mérida	Expansión urbana	2005 - 2011	607 / 308	SPOT 5 HRG SPOT 4 HRVIR

Para la comparación inicial entre las imágenes MODIS y las imágenes de más alta resolución se generaron capas de NDVI a partir de compuestos mensuales MODIS a 250m. Posteriormente se seleccionaron imágenes Landsat y Spot de los mismos meses y de los mismos años. Se realizó una reproyección inicial para transformar el marco de referencia de las imágenes Landsat y Spot, originalmente en UTM, para asignar el marco de referencia del proyecto NACL CMS en una proyección azimutal equiareal de Lambert.

Las imágenes de más alta resolución fueron remuestreadas para generar píxeles de 250m (resolución MODIS) mediante código propio, el cual además del remuestreo inicial, genera una serie de archivos con diferentes rangos de desplazamiento a partir de la ubicación original de la imagen de más alta resolución. Los rangos establecidos para las imágenes Landsat y Spot fueron de -250m a 250m en el eje X y Y, con intervalos de 10m.

Adicionalmente, se generó una máscara para omitir al área de nubes en cada una de las imágenes de alta resolución, de modo que no se permitiera la comparación entre los valores del

NDVI de una imagen, en áreas donde la otra presentara valores nulos, nubes o sombras, evitando así sesgar el posterior cálculo de la correlación al introducir valores atípicos.

Una vez realizado el enmascaramiento y remuestreo de las imágenes de mayor resolución, se calculó la correlación mediante el código propio, entre los valores del NDVI de la imagen de resolución gruesa y las imágenes generadas en el remuestreo con diferentes rangos de desplazamiento. De esta manera, se identificó el grado de desplazamiento en el que se localiza la mejor correlación entre el comportamiento de los valores del NDVI en ambas fuentes.

El cálculo de la correlación se efectuó para todos los años (Tabla 1) y archivos disponibles (temporada seca y de lluvias) de las imágenes Landsat y Spot. En total se calculó la correlación con NDVI de archivos MODIS para 79 imágenes de mayor resolución.

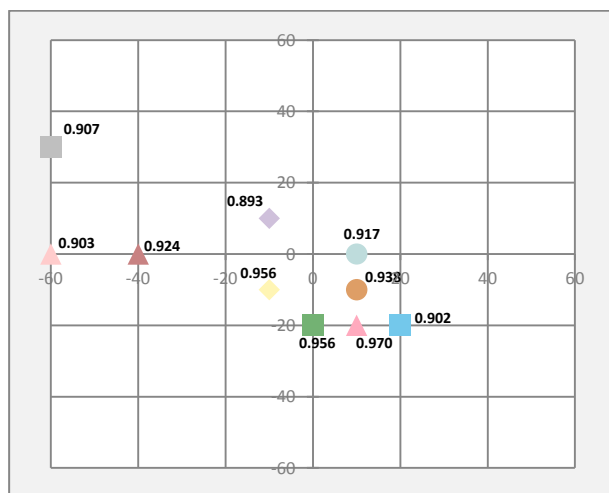


Figura 2. Los ejes X, Y muestran la moda en el desplazamiento de cada sitio. Los valores representan la media de la mejor correlación encontrada. Los colores corresponden a los sitios mostrados en Figura 1.

Después del análisis de los resultados de la Figura 2, se tomó la determinación de no desplazar las imágenes de mayor resolución cuando éstas tuvieran una mejor correlación con la imagen MODIS en un rango inferior a un píxel de su resolución (30m Landsat y 10m Spot). Por lo que en todos los casos las imágenes Landsat no fueron desplazadas para hacerlas coincidir mejor con la referencia espacial de las imágenes MODIS.

Para las imágenes Spot de los sitios de Cancún y Mérida se consideró cambiar sus coordenadas de inicio para hacerlas coincidir espacialmente mejor con las imágenes MODIS, ya que sus mejores correlaciones se presentaron en rangos de desplazamiento muchos mayores a un píxel (10 m). Sólo las imágenes del año 2005 para ambos sitios se desplazaron en el rango en el que se encontró la mejor correlación, y las imágenes de años posteriores se georreferenciaron manualmente a éste mediante la asignación de puntos de control para realizar un ajuste por mínimos cuadrados.

La georreferenciación de las imágenes Spot tomando 2005 como año base se realizó con un polinomio de segundo orden en un ajuste por mínimos cuadrados, buscando obtener un RSME menor a 20m. Este procedimiento se aplicó a todas las bandas individuales de los años posteriores a 2005 para los sitios de Cancún y Mérida.

Detección de cambios

Una vez georreferenciadas las imágenes Spot, se generaron archivos que incluyeran las 4 bandas del sensor y el NDVI calculado al inicio del proceso de correlación con los datos MODIS. Del mismo modo se unieron en archivos individuales las 6 bandas de las imágenes Landsat y su respectivo NDVI.

Mediante la ejecución del código propio, se generaron archivos de frecuencia, en los que se asignó como cambio en cada uno de éstos, todos los píxeles localizados dentro del rango de las diferencias extremas entre las mismas bandas del año inicial y del año final, considerando los cuantiles menores a 5% y mayores a 95% en el histograma de las diferencias entre bandas. La frecuencia de cambio fue definida por el número de veces que un píxel fue ubicado en los umbrales establecidos tomando en cuenta todas las bandas espectrales y las capas de NDVI (Figura 3c).

Una vez obtenidos los archivos de las frecuencias de cambio para cada píxel, se determinó visualmente la frecuencia a partir de la cual los cambios fueron detectados correctamente en su mayoría (Figura 3d). De esta manera se definió el límite de frecuencia entre lo que un analista consideró como cambio temático y otros cambios independientes a la dinámica de la

cobertura de suelo. Éstos últimos, relacionados a diferencias espectrales en la respuesta de la superficie, características fenológicas o del ángulo de incidencia entre otras razones.

Edición final

Los archivos en los que se determinó la frecuencia que delimitó con un mayor grado de certidumbre los cambios en la cobertura fueron editados por un analista para eliminar pequeños polígonos dispersos que a criterio de éste, no estuvieran relacionados con cambio temático (Figura 3e).

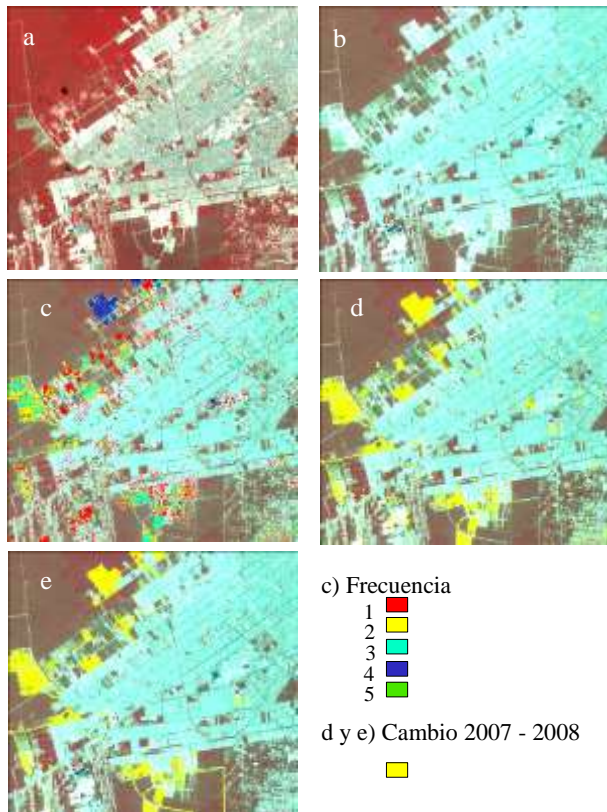


Figura 3. Los incisos a) y b) muestran la porción poniente de la ciudad de Cancún en las imágenes Spot para 2007 y 2008 respectivamente. El inciso c) muestra la frecuencia entre 1-5 de los cambios detectados de manera automatizada tomando como referencia 4 bandas espectrales y el NDVI. Inciso d) muestra los cambios restantes una vez aplicado el umbral de frecuencia 2. El inciso e) muestra la edición final realizada por el analista, en la que se eliminaron los polígonos no considerados como cambio temático, y se delinearón los bordes de las áreas de cambio real.

Los polígonos que coincidieron espacialmente con áreas de cambio temático observadas por el

analista se editaron para delinear correctamente las formas del cambio en la superficie. Para los casos en los que el algoritmo de detección omitió cambios de cobertura visualmente evidentes, se agregaron nuevos polígonos (Figura 3e). De esta manera, se generaron las capas de cambio para el conjunto de periodos bianuales determinados en los 10 sitios de validación.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir del análisis de correlación descrito en el trabajo, se observó que Landsat presentó los valores más altos de correlación en la comparación con el NDVI de MODIS, en rangos de desplazamiento generalmente menores a un pixel (30m). Por otro lado, las imágenes Spot tuvieron que ser desplazadas en rangos mayores a un pixel de su resolución (10m) para poder encontrar la mayor correlación con el índice de vegetación de las imágenes MODIS.

Para el proceso de detección de cambios con imágenes de alta resolución que servirán para validar los cambios detectados a partir de imágenes MODIS, las imágenes Landsat no tuvieron que ser georreferenciadas. Las imágenes Spot, se desplazaron horizontalmente en los archivos correspondientes a 2005, los años posteriores fueron georreferenciados manualmente a éste.

La detección de cambios mediante la definición de umbrales en los histogramas de las diferencias bianuales entre bandas espectrales y NDVI de las imágenes, mostró que la selección de umbrales más amplios permite la asignación de mayores áreas como cambio, mientras que los umbrales más cortos limitan la detección de cambio. En base a ejercicios anteriores realizados por los autores, se definieron los umbrales para la asignación de cambio en los cuantiles < 5% y > 95% (Colditz et al., 2014).

Una vez calculadas las capas de frecuencias para la determinación de cambio, se identificó que éste fue asignado con mayor certidumbre a partir de las frecuencias 2 y 3. Estos valores representan el número de capas de diferencia bianual en que un pixel fue asignado como cambio dentro de los umbrales definidos previamente. La frecuencia toma como referencia 7 capas de diferencias

bianuales en la caso de las imágenes Landsat y 5 capas en las imágenes Spot (en ambos casos incluyendo el NDVI).

4 CONCLUSIONES

El algoritmo de detección de cambios arrojó buenos resultados, y aun cuando fue necesario realizar edición manual posterior, se observó que muchos polígonos pequeños fueron marcados como cambio temático. Los polígonos de gran extensión fueron delineados con mayor precisión por el algoritmo, requiriendo solamente edición manual para el refinamiento de los bordes.

El umbral de frecuencia que sirvió para definir el número de capas en las que un pixel debería ser marcado como cambio, no fue el mismo en todos los sitios de estudio ni en todos los periodos bianuales, por lo que se considera pertinente la interpretación de un analista para definir este parámetro. Las principales causas identificadas en la variación del umbral de frecuencia para definir cambio temático con mayor certidumbre fueron, las diferencias en la humedad del suelo entre imágenes de distintos años que afectan la respuesta espectral, los cambios fenológicos entre diferentes años, además de efectos de sombra en el relieve asociados al ángulo de incidencia del Sol.

Los resultados de este trabajo servirán como herramienta de validación para los cambios detectados de manera totalmente automatizada a partir de imágenes MODIS en el proyecto NALCMS. De esta manera se podrán conocer los valores correspondientes a los errores de omisión y comisión en los cambios calculados a 250m, y podrán evaluar los resultados del algoritmo de cambios descritos en Colditz et al., (2014). El objetivo principal, es contar con una herramienta que pueda evaluar los cambios en la cobertura de suelo de todo el país utilizando técnicas automatizadas.

Adicionalmente, los productos generados en este estudio, proporcionarán insumos iniciales y la metodología para el monitoreo de la cobertura de suelo en zonas con dinámicas asociadas a factores específicos. Enfocándose en procesos de expansión urbana en Mérida, Cancún y Monterrey; cambios en el nivel de agua y áreas inundables en la presa

Vicente Guerrero y la ribera del río Bravo en Tamaulipas, además de los humedales de Tabasco; zonas afectadas por incendios forestales en Baja California; intensidad de la actividad agrícola cerca de Cuatro Ciénegas; y cambios en la morfología del delta del río Colorado.

REFERENCIAS

- Janetos, A.C. and Justice, C.O. 2000. Land cover and global productivity: A measurement strategy for the NASA programme. *Int. J. Remote Sens.* 21(6-7): 1491–1512.
- Colditz, R.R., Llamas, R.M. and Ressler, R.A. 2014. Detecting change areas in Mexico between 2005 and 2010 using 250m MODIS images. *IEEE J. Sel. Topics Appl. Earth Observ. in Remote Sens.* 7(8): 3358–3372.
- Mücher, C.A. et al. 2000. Land cover characterization and change detection for environmental monitoring of pan-Europe. *Int. J. Remote Sens.* 21(6): 1159–1181.
- GTOS. 2009. Assessment of the status of the development of the standards for the terrestrial essential climate variables – ECV-T9: Land cover. GTOS-64, Rome.
- Feranec, J., Jaffraini, G. and Hazeu, G. 2010. Determining changes and flows in European landscapes 1990–2000 using CORINE landcover data. *Appl. Geography* 30(1): 19–35.
- Pal, J.S. et al. 2007. Regional climate modeling for the developing world: The ICTP RegCM3 and RegCNET. *Bulletin of the American Meteorological Society* 88(9): 1395–1409.
- Ji, C.Y. et al. 2001. Monitoring urban expansion with remote sensing in China. *Int. J. Remote Sens.* 22(8): 1441–1455.
- Milesi, C. et al. 2003. Assessing the impact of urban land development on net primary productivity in the southeastern United States. *Remote Sens. Environ.* 86(3): 401–410.
- Latifovic, R. et al. 2012. North American land-change monitoring system. In C.P. Giri, ed. *Remote Sensing of Land Use and Land Cover: Principles and Applications*. Boca Raton, FL. pp. 303–324.
- Zhan, X. et al. 2002. Detection of land cover changes using MODIS 250m data. *Remote Sens. Environ.* 83(1-2): 336–350.