



DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i46.135>

Artículo

Cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo del 2000 al 2009 en Morelos, México

Jorge Escandón Calderón¹

José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz^{2, 3, 4*}

María Cecilia del Carmen Nieto de Pascual Pola⁵

María de Jesús Ordóñez Díaz⁶

¹Programa de Investigación en Cambio Climático. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

²Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. México.

³Facultad de Ciencias, UNAM. México.

⁴Servicios ambientales y cambio climático SACC, AC. México.

⁵Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales. INIFAP. México.

⁶Centro Regional de Investigación Multidisciplinaria, UNAM. México.

*Autor por correspondencia, correo-e: jabordonez@hotmail.com

Resumen

Los estudios relacionados con los cambios progresivos en la cobertura vegetal y de uso de suelo han cobrado importancia en la investigación ambiental, ya que permiten evaluar las tendencias espacio-temporales de procesos como la deforestación y degradación ambiental, provocadas por actividades humanas. En el presente estudio, se hace una descripción de los cambios de cobertura y uso del suelo en el estado de Morelos durante el periodo 2000-2009. Se identifican 14 clases de coberturas vegetales y usos del suelo, que incluyen cuerpos de agua, los cuales no se consideran en el análisis y se registran dos coberturas que ganan terreno: agricultura, con un incremento de 1 373 ha y urbano, con 189 ha; las que más se transforman son selva baja (1 841 ha) y los bosques, con 858 ha. La dinámica del cambio es compleja y se identifican factores socioambientales y de tenencia de la tierra como las causas principales. Datos satelitales multiespectrales de *LANDSAT* se usaron para mapear y analizar los cambios de uso de suelo producidos en los años 2000 y 2009, mediante el *software ESRI ARCMAP 10*. Se empleó la técnica de clasificación supervisada, basada en el algoritmo de máxima verosimilitud. La información sobre el uso de cobertura vegetal y uso del suelo así como la identificación de las posibilidades para su uso óptimo, obtenida con percepción remota y sistemas de información geográfica, es esencial para la selección, planificación y ejecución de planes de ordenamiento territorial, desarrollo, conservación y aprovechamiento de recursos naturales, con el propósito de satisfacer la creciente demanda de las necesidades básicas del hombre, así como su bienestar.

Palabras clave: Cobertura vegetal, ordenamiento territorial, percepción remota, Sistemas de información geográfica, tenencia de la tierra, uso de suelo.

Abstract:

Studies related to the progressive changes in vegetation cover and land-use are an important component in environmental research, since they allow the evaluation of the spatio-temporal trends of such processes as deforestation and environmental degradation, caused by human activities. In the present study, land-cover and land-use change in the State of *Morelos* during the period 2000-2009, are described. Fourteen types of vegetation cover and land-use, including water bodies, were identified, all though the latter were no included in the analysis. Agricultural and urban land cover increased 1 373 ha and 189 ha, respectively; whereas the land-cover that undergo the greatest transformations are the forests, with 858 ha, and tropical dry forests, with 1 841 ha. The dynamics of change are complex, its main drivers being socio-environmental factors and land tenure. LANDSAT multispectral satellite data were used, with ESRI ARCMAP 10 software, to map and analyze the land-use change between the years 2000 and 2009. The supervised classification technique was used, based on the maximum likelihood algorithm. Information on the vegetation cover and land-use, and the identification of alternatives for their optimal use, obtained through the use of remote sensing and geographic information systems, are essential for the selection, planning and execution of land management plans, as well as for the development, conservation and use of natural resources required to satisfy the growing demand for basic needs and for human welfare.

Key words: Vegetation cover, land use planning, remote sensing, geographic information systems, land tenure, land use.

Fecha de recepción/Reception date: 22 de mayo de 2017

Fecha de aceptación/Acceptance date: 21 de febrero de 2018.

Introducción

Uso y cobertura de la Tierra

El suelo es uno de los recursos naturales más importantes, del cual dependen tanto la vida como diversas actividades de desarrollo (George *et al.*, 2016). La cobertura edáfica y las conversiones del uso del suelo se deben a las actividades socioeconómicas, que conducen a cambios en aspectos biofísicos y en factores ambientales (Overmars *et al.*, 2005).

Las actividades humanas tienen un impacto considerable sobre la diversidad biótica en todo el mundo, en el clima global y local, en los ciclos biogeoquímicos, en la degradación y calidad del suelo, la hidrología, la seguridad alimentaria y el bienestar humano (Trimble *et al.*, 2000; Foody, 2002); además afectan a la capacidad de los sistemas biológicos para sustentar las demandas del hombre (Tran *et al.*, 2015). Sin embargo, los cambios de uso del suelo no tienen efectos únicamente negativos, ya que algunos están relacionados con el aumento de los rendimientos de alimentos y fibras con efectos positivos para la salud, el bienestar y la riqueza de los pueblos (Lambin y Geist, 2006). Por lo tanto, es necesario documentar las modificaciones de cobertura del suelo y usos de la tierra, para entender cuáles son sus fuerzas conductoras, así como sus consecuencias, especialmente, en el contexto de los cambios ambientales globales, el crecimiento rápido de la población y el incremento de las demandas hacia la sustentabilidad del ambiente.

El uso de imágenes *Landsat Thematic Mapper* (TM) en estudios de cambio de uso de suelo en México tiene mucha robustez y es bastante frecuente. Existen estudios en la región central de Chihuahua (Alatorre *et al.*, 2015), en el estado de Hidalgo (Sierra-Soler *et al.*, 2015), Jalisco (Morales-Barquero *et al.*, 2015), Michoacán (Ordóñez *et al.*, 2008; Mas y González, 2015), Yucatán (Colditz *et al.*, 2015), el

Estado de México (Galicia y García-Romero, 2007; Zepeda *et al.*, 2012), Morelos (Trejo y Hernández, 1996; Vega *et al.*, 2008), Chiapas (Flamenco-Sandoval *et al.*, 2007) y el estado de Tabasco (Guerra y Ochoa, 2006), entre otros.

Los objetivos del presente trabajo fueron elaborar mapas de uso y cobertura del suelo para analizar los cambios detectados durante un período de 9 años, mediante imágenes *Landsat* TM de los años 2000 y 2009, en Morelos, México; y analizar los cambios en la cobertura vegetal y uso del suelo, a fin de identificar las zonas con mayor impacto.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El estado de Morelos, se ubica, aproximadamente, entre los 18°20' y 19°07' de latitud N y los 98°37' y 99°30' de longitud O (Figura 1). Tiene una superficie de 4 889 km² y una intervalo altitudinal de 700 a más de 5 000 m, con climas cálidos subhúmedos a semifríos (García, 1988). Con base en la riqueza de su flora vascular, el estado aporta un total de 3 661 especies de plantas, lo que la posiciona como la sexta entidad con mayor riqueza, tan solo por debajo de Veracruz, Michoacán, Chiapas, Puebla y Oaxaca (Programa de Ordenamiento Ecológico Regional del Estado de Morelos, 2013).





Figura 1. Ubicación del área de estudio en la república mexicana.

Morelos cuenta con áreas considerables de bosques y selvas, las cuales están en constante riesgo de disminución. En México, los ambientes más afectados por actividades agrícolas son los bosques templados y la selva baja caducifolia (Challenger, 1998; Cervantes *et al.*, 2001); mientras que el maíz es el cultivo más generalizado (Challenger, 1998). Su población es de 1 903 811 habitantes, que representan 1.6 % de todo el país, la población urbana constituye 84 % y 16 % es rural. Las actividades económicas del sector primario son 2.71 %; las actividades secundarias, 31.50 %; y las actividades terciarias, 65.79 % (INEGI, 2015).

Obtención de datos para usos de suelo y mapas de cobertura

Los datos de satélite *LANDSAT* con porcentajes bajos de nubosidad (geocodificados con proyección UTM, esferoide y *datum* WGS 1984, 14 Zona Norte) y una resolución espacial de 30 metros de dos años diferentes (febrero del 2000 y 2009), se

descargaron desde el sitio web del USGS *Earth Explorer* (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). Se utilizaron las imágenes del año 2000 y 2009 porque presentaban los porcentajes más bajos de nubosidad, en comparación con otras imágenes de la década (2000-2010).

Los datos obtenidos por teledetección (imágenes aéreas o de satélite) a menudo pueden utilizarse para definir el uso del suelo, a través de observaciones de la cobertura del suelo (Brown *et al.*, 2000; Karl y Maurer, 2010). Una forma de extraer información del uso del suelo, a partir de datos de teledetección, es a través de la interpretación visual. Sin embargo, esta se limita a una sola banda o una composición de color de tres bandas (RGB); asimismo, la digitalización manual de parches de uso del suelo es muy tediosa y subjetiva (Bolstad *et al.*, 1990). Por lo tanto, la clasificación automática de la teledetección es más precisa para la asignación de usos de suelo en áreas grandes. *ArcGIS Spatial Analyst* presenta un conjunto completo de herramientas para llevar a cabo procesos de clasificación supervisada y no supervisada.

Metodología

Las imágenes satelitales fueron sometidas a algoritmos de preprocesamiento y procesamiento estándar, para corregir errores geométricos, atmosféricos y topográficos. Los datos espectrales crudos de reflectancia registrados en las diferentes bandas que conforman las imágenes, además de combinaciones diversas de bandas (índices espectrales de vegetación), se extrajeron de las imágenes y empataron, espacialmente, con los datos de las variables biofísicas disponibles (figuras 2 y 3).

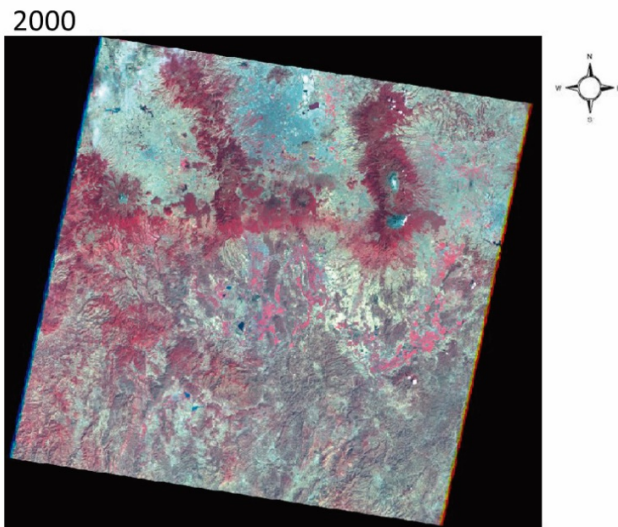


Figura 2. Escena correspondiente al año 2000.

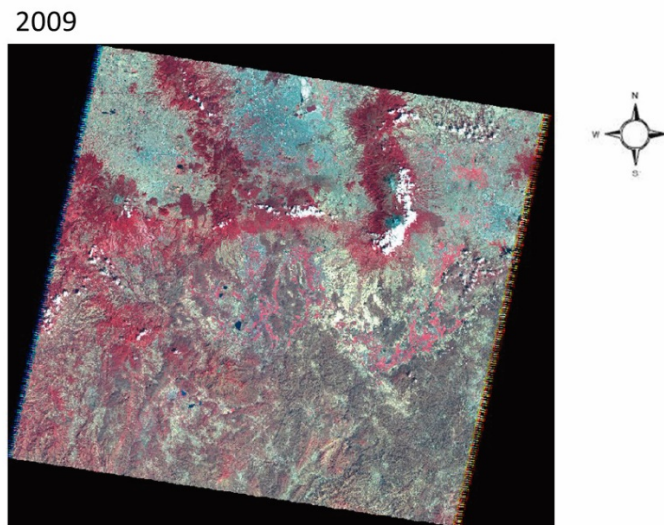


Figura 3. Escena correspondiente al año 2009.

En seguida, se hicieron los cortes correspondientes a los límites administrativos del estado de Morelos para su posterior comparación (figuras 4 y 5).

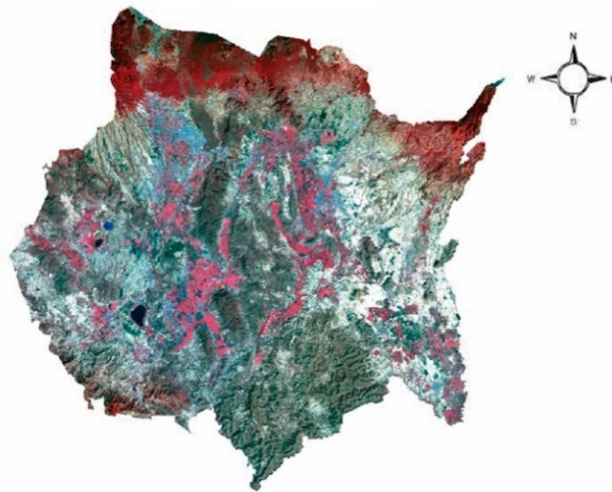


Figura 4. Escena del 2000 cortada con límites administrativos del estado de Morelos.

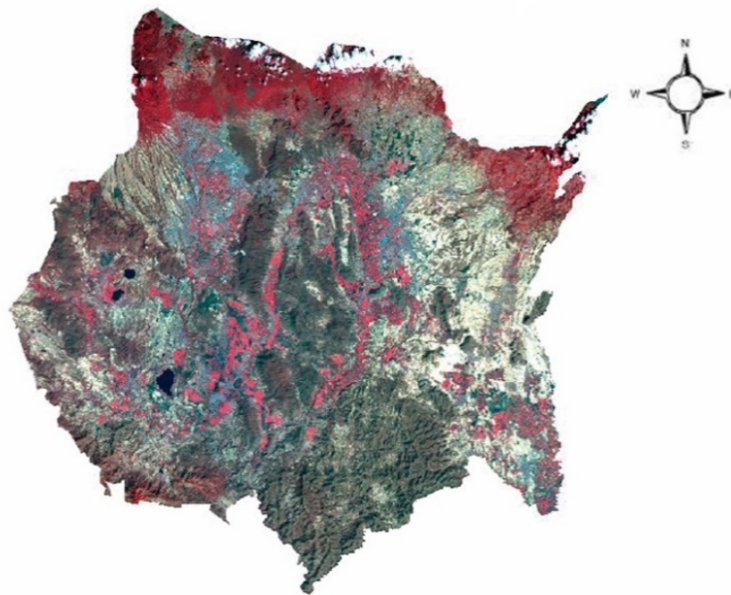


Figura 5. Escena del 2009 cortada con límites administrativos del estado de Morelos.

Se identificaron 14 clases diferenciadas de cobertura vegetal y uso del suelo (Trejo y Hernández, 1996):

- 1) Bosques templados, incluyen asociaciones de coníferas (BP) con *Pinus* spp. y *Abies* spp.
- 2) Bosques de encino, son comunidades de *Quercus* spp.
- 3) Selva baja caducifolia conformada por comunidades de *Bursera* spp., y *Conzattia multiflora* (B.L. Rob.) Standl.
- 4) Bosques degradados, agrupan bosques de encino y coníferas
- 5) Matorral rosetófilo con especies de agaves combinados con *Brahea dulcis* (Kunth) Mart. o *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq.
- 6) Bosque mesófilo: se desarrolla en un intervalo altitudinal de 1 800 a 1 950 m; las especies de árboles que se observaron son *Ardisia compressa* Kunth, *Eugenia crenularis* Lundell, *Garrya longifolia* Rose, *Guarea glabra* Vahl, *Meliosma dentata* (Liebm.) Urban, *Myrsine juergensenii* (Mez) Ricketson & Pipoly y *Fraxinus uhdei* (Wenz.) Lingelsh.
- 7) Agricultura de riego, cultivos de caña de azúcar, arroz y flores.
- 8) Agricultura de temporal: agricultura de subsistencia maíz, frijol, calabaza.
- 9) Sin vegetación aparente: zonas desprovistas de cobertura vegetal.
- 10) Zona urbana o cobertura urbana: asentamientos humanos.
- 11) Vegetación riparia en la que dominan los sauces (*Salix humboldtiana* Willd. y *Salix bonplandiana* Kunth) y amates (*Ficus cotinifolia* Kunth).
- 12) Pastizal natural: zonas de pastos o vegetación herbácea para pastoreo.
- 13) Vegetación secundaria.
- 14) Cuerpos de agua: lagos, ríos, presas. No se incluyen en el análisis.

Se generó un primer mapa con una clasificación no supervisada (Richards, 1986) en *Arcgis10*, a partir del algoritmo de *iso clusters* de la imagen del 2009, que sirvió de base para identificar en campo a qué tipo de vegetación y uso del suelo correspondían. Se le sobrepuso una cuadrícula de 500 × 500 m, con cada línea referida a coordenadas UTM. El trabajo de campo se llevó a cabo durante los meses de febrero y marzo, con un muestreo de 93 sitios, para cubrir todas las categorías

de uso de suelo. Cada sitio de entrenamiento se delineó en las imágenes con polígonos que abarcan múltiples píxeles (Tran *et al.*, 2015).

Con la información de campo, se procedió a reclasificar las imágenes mediante el algoritmo de máxima verosimilitud en *Arcgis10*. Una vez obtenidos los mapas de las imágenes clasificadas, se construyó una matriz de confusión para cada uno de los mapas (2000 y 2009), con el propósito de valorar qué tan acertada resultó la agrupación y con qué fidelidad la clasificación representa a lo observado en campo. Una vez obtenidas las matrices de confusión, se procedió a evaluar la precisión general y los índices de *Kappa* de ambas imágenes.

El proceso de clasificación de imágenes consiste en asignar los píxeles de una imagen reticulada a clases de cobertura del suelo predefinidas. La forma básica de la clasificación de imágenes es por interpretación visual, en la que se consideran tono, textura, tamaño, forma y asociación (Lillesand *et al.*, 2004; Serra *et al.*, 2008; Qasim *et al.*, 2011).

Para el presente estudio, la clasificación supervisada utilizó un clasificador de máxima verosimilitud (MLC), que se eligió porque tiene la capacidad de incorporar las estadísticas de las muestras de entrenamiento antes de asignar las coberturas del suelo a cada píxel. El MLC es un clasificador paramétrico que asume que los datos correspondientes a las clases individuales se distribuyen normalmente. Este evalúa la varianza y covarianza de los patrones de respuesta de categoría espectral, al clasificar un píxel desconocido (Nguyen *et al.*, 2012). MLC requiere suficientes muestras de entrenamiento de datos espectrales por clase para estimar con precisión los estadísticos que necesita el algoritmo de clasificación. Con el uso de los archivos de firma espectral de las 13 clases, se llevó a cabo la clasificación supervisada.

Evaluación de la precisión

La precisión de un proceso de clasificación se refiere al grado de concordancia entre las clases de la imagen y un conjunto de datos de referencia (Congalton y Green, 1999). Para hacer una estimación cuantitativa, se construyó una matriz de error difusa (Congalton y Green, 2009; Lunetta y Lyon, 2004), la cual es un arreglo cuadrado de números ordenados en columnas e hileras. Las primeras corresponden al conjunto de referencia, y las segundas a las clases generadas en el proceso de clasificación. La matriz de error se construyó a partir de los resultados de la clasificación y los datos tomados del muestreo de campo fueron los de referencia.

Adicionalmente, la exactitud total de una clasificación puede evaluarse a través del índice de concordancia de *Kappa* (K), una técnica discreta multivariada que determina estadísticamente si una matriz de error es significativamente diferente de otra. Es una medida de la correspondencia entre los datos de la clasificación y de referencia, con relación a la exactitud de una clasificación generada al azar (Congalton y Green 1999; Richards y Jia 1999; Congalton, 2004).

Análisis de cambio

Se realizó un análisis de cambio de uso del tipo “posclasificación” (Chuvienco, 2000). Se generó una matriz de cambio que indica la dinámica del uso de suelo y de cobertura vegetal en el intervalo de tiempo analizado. Se estimó, además, la tasa de deforestación para el periodo de interés mediante una variación a la fórmula referida por Palacio-Prieto *et al.* (2004):

$$Td = \left(\left(\left(\frac{S2}{S1} \right)^{\frac{1}{n}} \right) - 1 \right) * 100$$

Donde:

Td = Tasa de deforestación anual en porcentaje

$S2$ = Área arbolada del año final

$S1$ = Área arbolada del año inicial

n = Años del periodo de análisis

Resultados

Las imágenes clasificadas que se obtuvieron después del preprocesamiento y clasificación supervisada muestran el uso y la cobertura del suelo de Morelos (figuras 6 y 7). Las imágenes del 2000 y del 2009 representan 14 clases por la presencia de nubosidad en la zona norte del estado. Se utilizó el trabajo de Trejo y Hernández (1996) como criterio de apoyo para la definición de las categorías de uso de suelo.



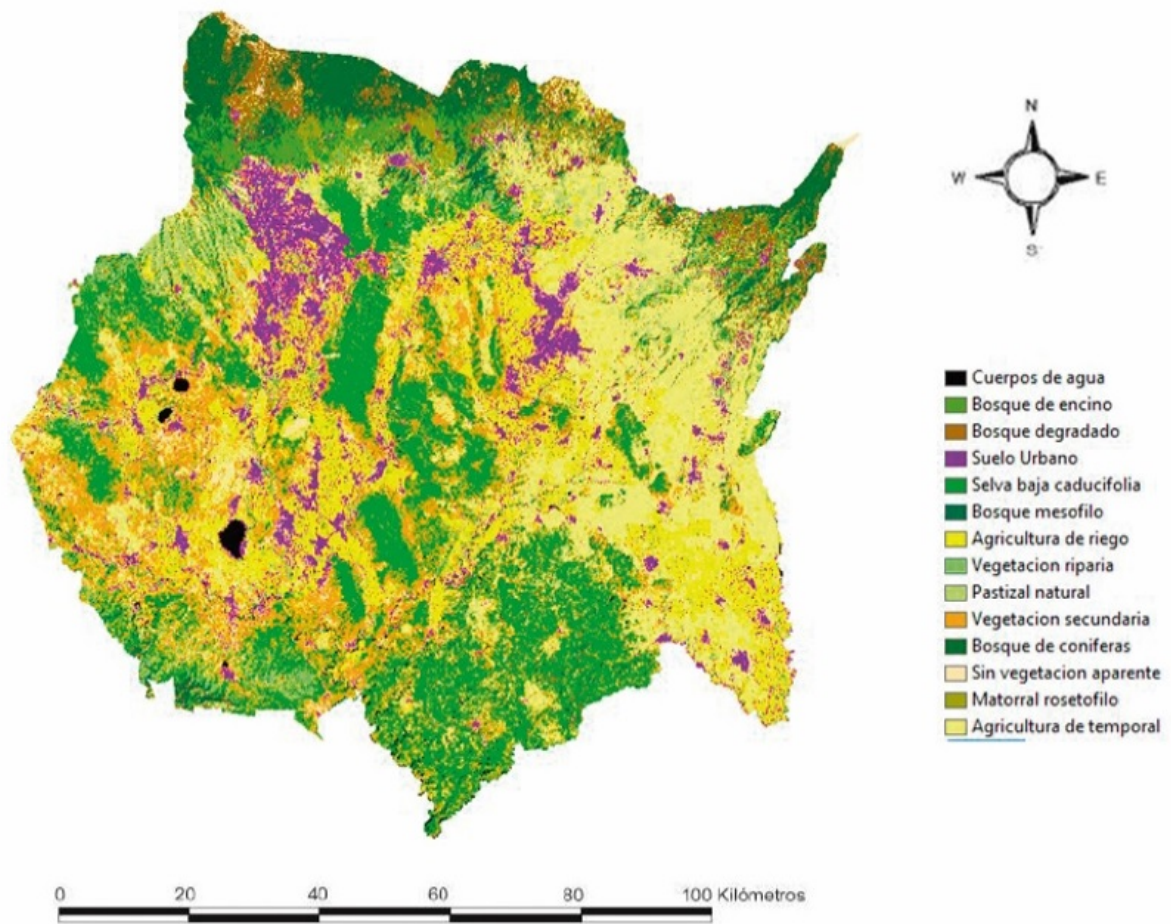


Figura 6. Mapa de categorías de uso de suelo del 2000 del estado de Morelos.

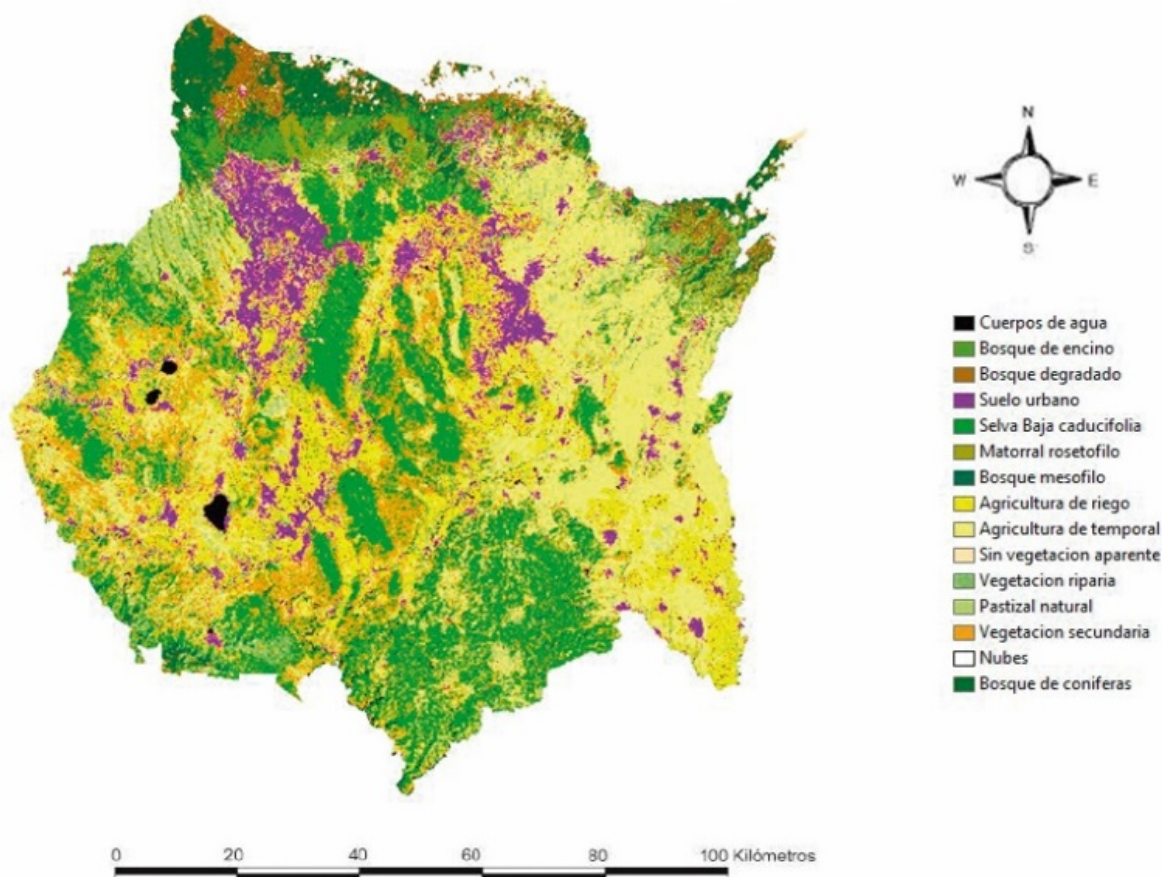


Figura 7. Mapa de categorías de uso de suelo del 2009 del estado de Morelos.

Para la validación de los mapas, se evaluaron cada una de las clasificaciones. La exactitud global para los años de 2000 y 2009, fue de 83.5 % y 75 %, respectivamente. En lo concerniente al índice de *Kappa* (Cuadro 1), se obtuvieron valores de 0.80 y 0.71 para las clasificaciones de 2000 y 2009, respectivamente. Viera y Garret (2005) señalan que un índice de *Kappa* con valores entre 0.70 a 0.81 indica una exactitud aceptable, por lo que las clasificaciones de los mapas generados se aproximan a las condiciones reales.

Cuadro 1. Validación de las clasificaciones en los mapas del 2000 y 2009.

Clasificaciones	Validación	
	G	K
2000	0.83	0.80
2009	0.75	0.71

Para el año 2000, las clases más confusas que tuvieron una precisión de usuario de 41.8 % a 81.7 % fueron el matorral rosetófilo, el bosque mesófilo, la vegetación riparia, el pastizal natural, la vegetación secundaria y el bosque degradado (Cuadro 2). El matorral rosetófilo y la vegetación secundaria fueron las categorías con más errores de omisión y los porcentajes de error más altos. El matorral rosetófilo se confunde con la vegetación secundaria y el bosque degradado; lo mismo ocurre con la vegetación secundaria y el bosque degradado (Cuadro 2).

Cuadro 2. Valores de productor (PROD) y usuario (USU) con estadísticas de evaluación de la exactitud de las categorías de cobertura vegetal y el uso del suelo para los años 2000 y 2009.

Cat.	Uso	suelo	CA	BE	BD	SBC	MR	BM	AR	AT	SV	SU	VR	PN	VS	BC
2000	PROD		92.2	89.2	59.3	99.3	38.9	51.2	99.9	95.3	89.0	98.7	55.6	53.4	43.6	88.1
	USUA		92.7	77.3	65.1	89.6	79.0	81.7	93.7	92.8	68.4	75.1	41.8	59.5	47.5	75.1
2009	PROD		91.5	87.0	41.2	84.9	90.5	79.1	70.2	67.3	96.9	86.4	62.8	94.8	39.2	88.6
	USUA		90.5	79.5	68.3	80.2	53.3	23.8	73.9	87.6	19.2	79.2	17.9	57.0	42.8	86.6

CA = Cuerpos de agua; BE = Bosque de encino; BD = Bosque degradado; SBC = Selva baja caducifolia; MR = Matorral rosetófilo; BM = Bosque mesófilo; AR = Agricultura de riego; AT = Agricultura de temporal; SV = Sin vegetación aparente; SU = Suelo urbano; VR = Vegetación riparia; PN = Pastizal natural; VS = Vegetación secundaria; BC = Bosque de coníferas.

Para el año 2009, el bosque degradado, vegetación riparia y vegetación secundaria presentaron valores confusos, pues tuvieron una precisión de usuario de 17.9 % a 68.3 %. La vegetación secundaria y el bosque degradado registraron más errores de omisión. La vegetación secundaria y el bosque degradado tuvieron los mayores porcentajes de error, la vegetación secundaria se confunde con la riparia y con la selva baja caducifolia, mientras que el bosque degradado con el bosque de coníferas; este y la vegetación secundaria presentaron la cantidad más grande de errores de omisión (Cuadro 2).

Las superficies estimadas para cada una de las clases de cobertura vegetal y uso del suelo de los años 2000 y 2009, se resumen en el Cuadro 3.



Cuadro 3. Superficie por clase de cobertura vegetal y uso del suelo en hectáreas (ha).

Cobertura vegetal y uso del suelo	Abrv	2000 (ha)	2009 (ha)	Tasa promedio anual de variación (ha)
Bosque de encino	BE	12 493.41	9 787.08	300.70
Bosque degradado	BD	24 493.09	19 474.92	557.57
Selva baja caducifolia	SBC	104 770.11	88 193.87	1841.80
Matorral rosetófilo	MR	4 698.11	9 310.52	-512.49
Bosque mesófilo	BM	8 247.80	8 383.95	-15.13
Agricultura de riego	AR	55 343.10	61 273.01	-658.88
Agricultura de temporal	AT	86 319.13	92 748.81	-714.41
Sin vegetación aparente	SV	10 798.44	9 565.55	136.99
Suelo urbano	SU	35 704.19	37 407.79	-189.29
Vegetación riparia	VR	37 878.68	38 128.52	-27.76
Pastizal natural	PN	14 883.24	20 714.44	-647.91
Vegetación secundaria	VS	71 416.01	71 390.96	2.78
Bosque de coníferas	BC	17 922.99	12 208.46	634.95
Total		484 968.30	478 587.88	

Abrv = Abreviatura; BE = Bosque de encino; BD = Bosque degradado; SBC = Selva baja caducifolia; MR = Matorral rosetófilo; BM = Bosque mesófilo; AR = Agricultura de riego; AT = Agricultura de temporal; SV = Sin vegetación aparente; SU = Suelo urbano; VR = Vegetación riparia; PN = Pastizal natural; VS = Vegetación secundaria; BC = Bosque de coníferas.

Las coberturas vegetales que evidenciaron disminución en el periodo correspondiente son la selva baja caducifolia, con una tasa promedio anual de 1 841.8 ha; el bosque degradado, con 557.58; los bosques de encino, con 300.70 ha; y el área sin vegetación aparente, con 137 ha. Los usos de suelo con registros de aumento fueron la agricultura de temporal, con una tasa promedio anual de 714.41 ha; la agricultura de riego, con 658.88; el pastizal natural, con 647.91; el matorral rosetófilo, con 512.49; y el suelo urbano, con 189.29 ha (Cuadro 3).

En las dos fechas, con respecto al porcentaje total de superficie, el uso de suelo predominante en el estado de Morelos (figuras 8 y 9) correspondió a la selva baja caducifolia, seguida de la agricultura de temporal, la vegetación secundaria y la agricultura de riego. A continuación, estuvieron las categorías de vegetación riparia y suelo urbano. La agricultura es la clase de uso del suelo con mayor transformación, con un 28.97 % del total para el año 2000, y de 31.5 % del total para el 2009.

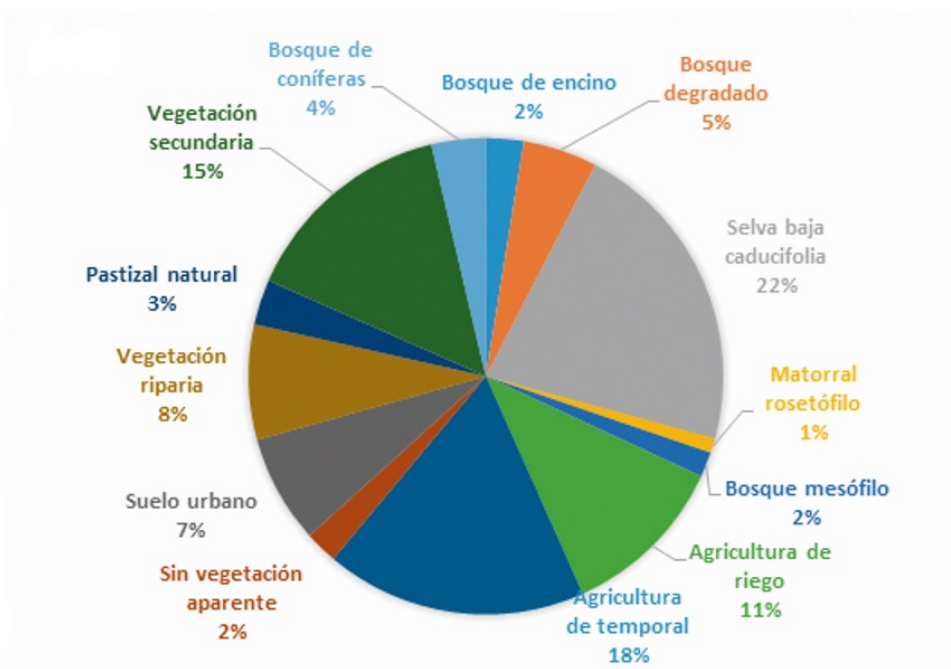


Figura 8. Porcentajes de cada una de las categorías de uso de suelo del 2000 en el estado de Morelos.

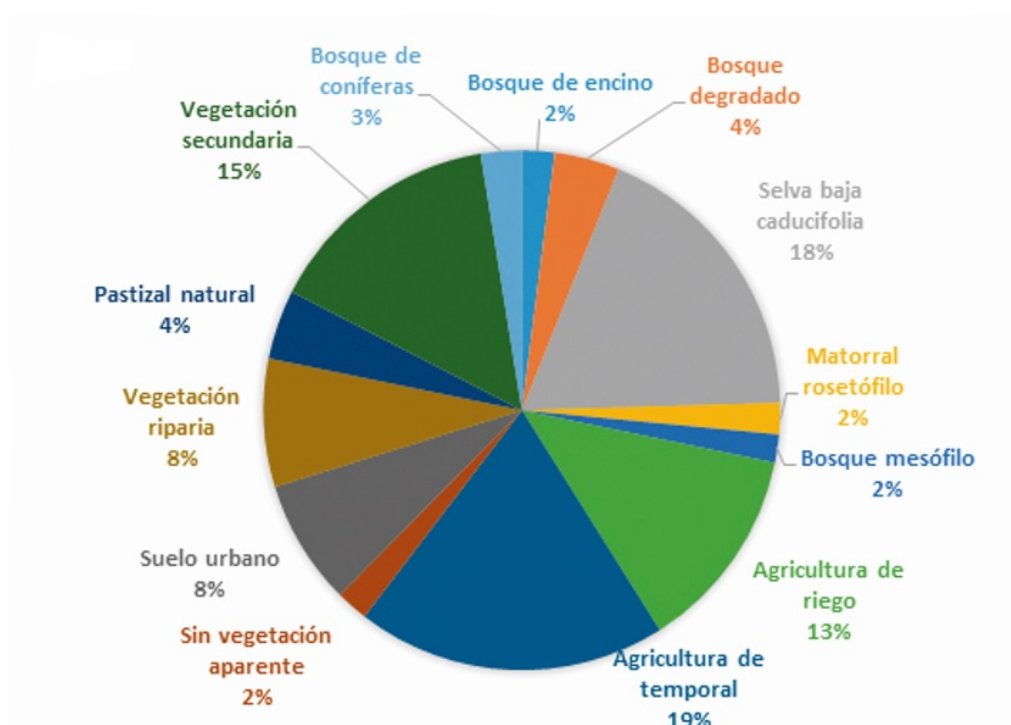


Figura 9. Porcentajes de cada una de las categorías de uso de suelo del 2009 en el estado de Morelos.

La dinámica en el periodo 2000-2009 muestra que la clase de vegetación más vulnerable, por disminución de superficie, fue la selva baja caducifolia. También, se observó un cambio importante en el bosque de coníferas y el bosque degradado (figuras 8 y 9). En cuanto al aumento de superficie, la agricultura de riego y de temporal registraron un incremento de 1 373 ha, así como la superficie de suelo urbano, con 189 ha.



Conclusiones

En el estado de Morelos, las actividades agrícolas tienen un papel preponderante en el periodo 2000-2009, presentan un crecimiento considerable en los años evaluados,. Dicho suceso es entendible desde el punto de vista socioeconómico, ya que representan una fuente de ingreso a corto plazo para la población. Sin embargo, su intensidad ha provocado una pérdida de cobertura natural (selvas y bosques), lo cual puede incidir en la fertilidad y erosión del suelo. Por otra parte, también hay una importante transición de selvas y bosques a vegetación con disturbio, y esta a su vez en pastizales y suelo agrícola, lo que refleja la sucesión ecológica que experimenta la vegetación natural.

Los resultados muestran que hay un aumento notable en la agricultura de riego (11 % en el 2000; 13 % en el 2009) y de temporal (18 % en el 2000; 19 % en el 2009) a costa de la selva baja caducifolia, cuya disminución porcentual es de 22 % (año 2000) a 18 % (año 2009). La superficie urbana evidencia un incremento importante. Por lo tanto, se sugiere que las fuerzas conductoras de la disminución de la selva baja caducifolia en el estado de Morelos se relacionan con las ganancias económicas generadas por las actividades agrícolas, así como con el crecimiento de las zonas urbanas. Los resultados indican que las políticas públicas, relacionadas con la conservación y manejo de los bosques, están canalizadas hacia el norte del estado (sierra del Chichinautzin), con insuficiente cobertura en las regiones donde prevalece la selva baja caducifolia.

El uso e integración de nuevas herramientas, como los sistemas de información geográfica (SIG) y la teledetección, permiten estimar la magnitud de los cambios asociados a procesos diferenciales del cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo; además de, precisar el crecimiento de las actividades antrópicas a costa de la vegetación natural existente durante el periodo 2000-2009.

Agradecimientos

Al programa de investigación en cambio climático de la Universidad Nacional Autónoma de México por su apoyo. A Servicios Ambientales y Cambio Climático, SACC, A.C., por su apoyo y acompañamiento, RENICYT 2015/20930. Proyecto Papiit IN303817 Huertos familiares y afines en México, coordinado por la Dra. María de Jesús Ordoñez Díaz, CRIM, UNAM. A las comunidades por las facilidades durante la realización del estudio y en particular a los árbitros de la Revista Mexicana de Ciencias Forestales.

Conflicto de intereses

La Dra. María Cecilia del Carmen Nieto de Pascual Pola declara no haber participado en ninguna de las actividades del proceso editorial del presente documento.

Contribución por autor

Jorge Escandón Calderón: desarrollo del proyecto de investigación, estructura y cotejo en campo de las diferentes coberturas vegetales y uso del suelo; José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz: análisis de resultados y corrección del manuscrito; María Cecilia del Carmen Nieto de Pascual Pola: revisión y corrección del manuscrito; María de Jesús Ordóñez Díaz: interpretación de resultados y corrección del manuscrito.

Referencias

- Alatorre, L.C., E. Sánchez, J. P. Amado, L. C. Wiebe, M. E. Torres, H. L. Rojas, L. C. Bravo and E. López. 2015. Analysis of the temporal and spatial evolution of recovery and degradation processes in vegetated areas using a time series of Landsat TM images (1986-2011): Central region of Chihuahua, Mexico. *Open Journal of Forestry* 5(2): 162-180.
- Bolstad, P. V., P. Gessler and T. M. Lillesand. 1990. Positional uncertainty in manually digitized map data. *International Journal of Geographical Information Systems* 4: 399-412.
- Brown, D. G., B. C. Pijanowski and J. D. Duh. 2000. Modeling the relationships between land use and land cover on private lands in the Upper Midwest, USA. *Journal of Environmental Management* 59(4): 247-263.
- Cervantes G., V., M. López G., N. Salas N. y G. Hernández C. 2001. Técnicas para propagar especies nativas de selva baja caducifolia y Criterios para establecer áreas de reforestación. Facultad de Ciencias de la UNAM. México, D.F., México. 174 p.
- Challenger, A. 1998. Utilización y conservación de los Ecosistemas terrestres de México. Pasado, presente y futuro. Conabio, Instituto de Ecología y Sierra Madre. México. México, D.F., México. 847 p.
- Chuvieco, E. 2000. Fundamentos de Teledetección Espacial. Ed. Rialp. Madrid, España. 568 p.
- Colditz, R., R. M. Llamas and R. A. Ressler. 2015. Land cover change analysis in Mexico using 30m Landsat And 250m Modis Data. *In: 36th International Symposium on Remote Sensing of Environment. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences.* 11-15 May 2015. Berlin, Germany.

https://admin.egal2017.bo/static/archivos_publicos/2168.pdf (12 de febrero de 2018).

Congalton, R. G. and K. Green. 1999. Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and practices. Lewis Publisher. Boca Raton, FL, USA. 137 p.

Congalton, R. G. and K. Green. 2009. Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices. 2nd ed. CRC/Taylor & Francis. Boca Raton, FL, USA. 178 p.

Congalton, R. G. 2004. Putting the map back in map accuracy assessment. *In*: Lunetta, R. S. and J. G. Lyon (eds.). Remote sensing and GIS accuracy assessment. CRC Press. Boca Raton, FL, USA. pp. 1-11.

Flamenco-Sandoval, A., M. Martínez R. and O. R. Masera. 2007. Assessing implications of land-use and land-cover change dynamics for conservation of a highly diverse tropical rain forest. *Biological Conservation* 138(1-2): 131 –145.

Galicia, L. and A. García-Romero. 2007. Land Use and Land Cover Change in Highland Temperate Forest in the Izta-Popo National Park, Central Mexico. *Mountain Research and Development* 27(1):48-57.

García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, UNAM. México, D.F., México. 98 p.

George, J., L. Baby, A. P. Arickal and J. Dev Vattoly. 2016. Land Use/Land cover Mapping With Change Detection Analysis of Aluva Taluk Using Remote Sensing and GIS. *International Journal of Science, Engineering and Technology* 4(2): 383-389.

Guerra M., V. y S. Ochoa G. 2006. Evaluación espacio-temporal de la vegetación y uso del suelo en la Reserva de la Biósfera Pantanos de Centla, Tabasco (1990-2000). *Investigaciones Geográficas* 59: 7-25.

Foody, G. M. 2002. Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment* 80(1): 185–201.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2015. México en cifras.

<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?e=17>
(5 de mayo de 2016).

Karl, J. W. and B. A. Maurer. 2010. Multivariate correlations between imagery and field measurements across scales: comparing pixel aggregation and image segmentation. *Landscape Ecology* 25: 591–605.

Lambin, E. F., H. Geist and R.R. Rindfuss. 2006. Introduction: local processes with global impacts. *In: Lambin, E.F. and H. J. Geist (ed.). Land-use and land-cover change*. Springer. Berlin, Heidelberg. Germany. pp- 1-8.

Lillesand, T. M., R. W. Kiefer and J. W. Chipman. 2004. Remote sensing and image interpretation. 5th ed. Wiley. Great Britain, New York. 763 p.

Lunetta, R. S. and J. G. Lyon. 2004. Remote Sensing and GIS Accuracy Assessment. Lewis Publishers. Boca Raton, FL, USA. 292 p.

Mas, J. F. and R. González. 2015. Change detection and land use / land cover database updating using image segmentation, GIS analysis and visual interpretation. *In: ISPRS Geospatial Week. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 28 September–3 October. La Grande Motte, France. pp. 61-65.

Morales-Barquero, L., A. Borrego, M. Skutsch, C. Kleinn and J. R. Healey. 2015. Identification and quantification of drivers of forest degradation in tropical dry forests: A case study in Western Mexico. *Land Use Policy* 49: 296-309.

Nguyen, L. T., W. Pang, W. Chan, W. Peng and Y. Zhang. 2012. Predicting collective sentiment dynamics from time-series social media. *In: Cambria, E., Y. Zhang, Y. Xia and N. Howard. (comps.). Proceedings of the First International Workshop on Issues of Sentiment Discovery and Opinion Mining (Wisdom '12)*. ACM. New York, NY, USA. doi: 10.1145/2346676.2346682.

Ordóñez, J. A. B., B. H. J. de Jong, F. García-Oliva, F. L. Aviña, J. V. Pérez, G. Guerrero, R. Martínez and O. Masera. 2008. Carbon content in vegetation, litter,

and soil under 10 different land-use and land-cover classes in the Central Highlands of Michoacan, Mexico. *Forest Ecology and Management* 255(7):2074-2084.

Overmars, K. P. and P. H. Verburg. 2005. Analysis of land use drivers at the watershed and household level: Linking two paradigms at the Philippine forest fringe. *International Journal of Geographical Information* 19: 125–152.

Palacio-Prieto, J. L., M. T. Sánchez-Salazar, J. M. Casado I., E. Propin F., J. Delgado C., A. Velásquez M., L. Chias B., M. I. Ortiz Á., J. González S., G. Negrete F., J. Gabriel M. y R. Márquez H. 2004. Indicadores para la caracterización y ordenamiento del territorio. Semarnat-INE-UNAM. México, D.F., México. 161 p.

Programa de Ordenamiento Ecológico Regional del Estado de Morelos. 2013. Secretaría de Desarrollo Sustentable y Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

http://obum.zmcuernavaca.morelos.gob.mx/MORELOS/OET/POEREM_DIA_GNOSTICO.pdf (12 de febrero de 2018).

Qasim, M., K. Hubacek, M. Termansen and A. Khan. 2011. Spatial and temporal dynamics of land use pattern in District Swat, Hindu Kush Himalayan region of Pakistan. *Applied Geography* 31(2): 820-828.

Richards, J. A. 1986. *Remote Sensing Digital Image analysis. An Introduction*, Springer. Berlin, Germany. 454 p.

Richards, J. A. and X. Jia. 1999. *Remote sensing digital image analysis*. Springer. Berlin, Germany. 363 p.

Serra, P., X. Pons and D. Saurí. 2008. Land-cover and land-use change in a Mediterranean landscape: A spatial analysis of driving forces integrating biophysical and human factors. *Applied Geography* 28(3): 189-209.

Sierra-Soler A., J. Adamowski, Z. Qi, H. Saadat, and S. Pingale. 2015. High accuracy Land Use Land Cover (LULC) maps for detecting agricultural drought effects in rainfed agro-ecosystems in central Mexico. *Journal of Water and Land Development* 26 (7-9): 19-35.

Tran, H., T. Tran and M. Kervyn. 2015. Dynamics of Land Cover/Land Use Changes in the Mekong Delta, 1973–2011: A Remote Sensing Analysis of the Tran Van Thoi District, Ca Mau Province, Vietnam. *Remote Sensing* 7(3):2899-2925.

Trejo, I. y J. Hernández. 1996. Identificación de la selva baja caducifolia en el estado de Morelos, México, mediante imágenes de satélite. *Investigaciones Geográficas* (Es5): 11-18.

Trimble, S. W. and P. Crosson. 2000. U.S. soil erosion rates. Myth and reality. *Science* 289(5477): 248–250.

Vega G., A., J. López-García y L. Manzo Delgado. 2008. Análisis espectral y visual de vegetación y uso del suelo con imágenes Landsat ETM+ con apoyo de fotografías aéreas digitales en el Corredor Biológico Chichinautzin, Morelos, México. *Investigaciones Geográficas* 67:59-75.

Viera, A. J. and J. M. Garrett. 2005. Understanding interobserver agreement: the kappa statistic. *Family Medicine* 37(5): 360-363.

Zepeda G., C., X. A. Nemiga, A. Lot H. y D. Madrigal U. 2012. Análisis del cambio del uso del suelo en las ciénegas de Lerma (1973-2008) y su impacto en la vegetación acuática. *Investigaciones Geográficas* 78:48-61.