

# Dinámica espacio-temporal de la cobertura y uso del suelo en una cuenca hídrica

*Dynamic spatio-temporal coverage and land use in a water basin*

**Areli González García Sancho**

Universidad Autónoma de Nayarit, México

[areliggs@hotmail.com](mailto:areliggs@hotmail.com)

**Oyolsi Nájera González**

Universidad Autónoma de Nayarit, México

[oyolsi92@gmail.com](mailto:oyolsi92@gmail.com)

**Rafael M. Murray Núñez**

Universidad Autónoma de Nayarit, México

[ramurray\\_13@hotmail.com](mailto:ramurray_13@hotmail.com)

**Susana María Lorena Marcelaño Flores**

Universidad Autónoma de Nayarit, México

[smlmarcel@hotmail.com](mailto:smlmarcel@hotmail.com)

## Resumen

Este trabajo contribuye al conocimiento del cambio de cobertura y uso del suelo, su dinámica y proyección en una cuenca. Para ello se utilizó una combinación de herramientas de percepción remota, sistemas de información geográfica y técnicas de análisis de dinámica de cambio (tasa de cambio, procesos de transición, índice de permanencia y escenarios tendenciales).

Los resultados y su análisis sugieren que la dinámica espacio temporal de la cobertura y uso del suelo en la cuenca del río Mololoa en Nayarit, México, puede definirse en cuatro procesos: degradación antrópica/deforestación, revegetación, conversión y permanencia,

con tasa de cambio anual (TCA) de -1.4 % para rasgos naturales y 0.9 % para rasgos antrópicos; disminución de 4162 ha de vegetación secundaria; porcentaje de permanencia arriba de 90 para las diferentes coberturas, excepto vegetación secundaria (56 %). Se concluye que la cuenca del río Mololoa presenta un proceso acelerado de transformación de la cobertura vegetal a usos del suelo antrópicos, que pone en riesgo los servicios ecosistémicos y, por lo tanto, la capacidad de abastecimiento.

**Palabras clave:** paisaje, cambio de cobertura, uso del suelo, dinámica espacial, cuenca, SIG.

### Abstract

This work contributes to the knowledge of the change in coverage and use of soil, its dynamics and projection in a basin. It was a combination of tools from remote sensing, geographic information systems and analysis techniques of dynamics of change (rate of change, processes of transition, rate of permanence and trend scenarios).

Results and their analysis suggest that the dynamic space temporary coverage and land use in the basin of the Mololoa River in Nayarit, Mexico, can be defined in four processes: anthropogenic degradation / deforestation, revegetation, conversion and permanence, with Rate of Annual Change (TCA) - 1.4% for natural features and 0.9% for anthropic features; decrease of 4162 has secondary vegetation; percentage of staying above 90 for the different coverages, except secondary vegetation (56%). It is concluded that the Mololoa River basin presents an accelerated process of transformation of vegetative cover to anthropogenic land uses, which puts at risk the services ecosystem and, therefore, the ability to supply.

**Key words:** landscape, coverage, soil, spatial dynamics, watershed, GIS.

**Fecha Recepción:** Julio 2015 **Fecha Aceptación:** Diciembre 2015

---

## Introducción

Los cambios en la cobertura y uso del suelo han sido reconocidos desde hace más de dos décadas como causa importante de cambios en el ambiente global (Chen y Yang, 2008), con implicaciones diversas a prácticamente todas las escalas (García y Mas, 2008; Rosete et al., 2009). A nivel regional provoca cambios en los ciclos hídricos, alteraciones en los regímenes de temperatura y precipitación, favoreciendo con ello el calentamiento global, la disminución en el secuestro de bióxido de carbono y la pérdida de hábitats y biodiversidad. Localmente, inducen el deterioro y degradación de suelos, cambios en el microclima y modificaciones en los ciclos hídricos a nivel de cuenca (Masis y Vargas, 2014).

En México este problema ha ido en aumento en las últimas décadas; los 52 millones de hectáreas de bosques y selvas que había en el año 2000, presentaron una tasa de deforestación promedio de 631 mil ha/año (FAO, 2005) (Velázquez et al., 2002); considerado uno de los rangos extremos reportados para México por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) en 2006 (316-800 mil ha/año).

La disminución de la cobertura vegetal tiene implicaciones que inciden en la disponibilidad y calidad de los bienes y servicios ambientales que ofrecen. Entre otros, afecta la infiltración del agua de lluvia, así como la recarga de los mantos hídricos y el equilibrio en el ciclo del agua (Mendoza et al., 2010) y, en consecuencia, la seguridad social relacionada con el acceso a este recurso vital (Gómez et al., 2014), lo cual puede derivar en el agotamiento hídrico (Loya-Carrillo et al., 2013). Los procesos de cambio de cobertura y uso de suelo se han convertido en un tema central dentro de la investigación ambiental actual debido a su importancia en los ámbitos gubernamental, académico y social (García y Mas, 2008). Su análisis permite entender los mecanismos de deterioro (Hernández- Gómez y Valdez-Reyna, 2012) y constituye una guía útil para la toma de decisiones sobre el uso del territorio (Chen y Yang, 2008), particularmente a nivel de cuenca como unidad territorial básica para la gestión de los recursos hídricos (Cotler y Caire, 2009).

La cuenca del río Mololoa en Nayarit, México, ha sido fuente de bienes y servicios para los habitantes de las 34 localidades asentadas en el lugar, las cuales representan más del 50 % de la población total del estado. Dicha relación con la naturaleza ha sido llevada a cabo sin ninguna planeación que tome en cuenta criterios ambientales, derivando en el deterioro acelerado de los recursos naturales y propiciando un bajo nivel de vida.

El presente trabajo tiene como objetivo generar conocimiento de línea base para la integración de instrumentos de gestión-planificación del territorio y de los recursos naturales y contribuir así a una toma de decisiones planificadas en el sector. Para ello evalúa la dinámica espacio-temporal de la cobertura y uso del suelo de la cuenca del río Mololoa en Nayarit, México, entre los años 2000- 2011 y su tendencia al 2021.

**Metodología**

Se realizó un levantamiento de cobertura de uso del suelo con imágenes de sensores remotos Landsat TM de fechas febrero 2000 y febrero 2011, obtenidas del servidor del Servicio Geológico de Estados Unidos. Las imágenes fueron georreferidas usando coordenadas en la proyección cartográfica Universal Transversa de Mercator (UTM) (Zona 13 norte) para su integración dentro del entorno del Sistema de Información Geográfica (SIG).

Se determinó el nivel de detalle del levantamiento, el cual corresponde al Reconocimiento (cuadro 1), que está orientado a estudiar las clases del segundo nivel jerárquico de la clasificación de cobertura y uso de la tierra según el sistema del Centro de Investigación y Desarrollo de Información Geográfica (CIAF) (Melo y Camacho, 2005).

Para el análisis de cada una de las coberturas y usos del suelo en el periodo 2000-2011, se utilizó la metodología de clasificación supervisada de máxima verosimilitud; en esta los datos siguen una función de distribución normal para asignar la probabilidad de que un pixel pertenezca a cada una de las clases. El pixel se asigna de este modo a la clase a la que más probablemente pertenezca (Eastman, 2012).

**Cuadro 1.** Clasificación de la Cobertura y Uso del Suelo según el Sistema CIAF

Nivel 1 Exploratorio Gran Grupo	Nivel 2 Reconocimiento Grupo
Rasgos Naturales	Vegetación Natural Vegetación Secundaria Cultivos
Rasgos Antrópicos	Asentamientos e Infraestructura Tierras sin vegetación aparente

Se seleccionaron campos de entrenamiento por medio de análisis visual utilizando los compuestos en falso color RGB (red, green, blue) 321, color verdadero RGB 432 que resaltan la vegetación, y RGB 542 para distinguir suelos y zonas urbanas (Melo y Camacho, 2005), con el apoyo de ortofotos digitales de la zona en estudio y datos de campo.

En el análisis y cuantificación de los cambios de cobertura y usos del suelo se utilizó la ecuación propuesta por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en 1996 (Ruiz et al., 2013), y así calcular la tasa de cambio anual (TCA):

$$Tasa = \left[ \frac{S_2}{S_1} \right]^{1/n} - 1$$

Donde: S2 = superficie fecha 2, S1 = superficie en la fecha 1, n = es el número de años entre las dos fechas, multiplicado por 100 para expresarlo como porcentaje.

La dinámica en los cambios de cobertura y usos del suelo se determinó a partir del Modelo de Evaluación de Cambio de Uso de Suelo (LCM: *Land Change Modeler for Ecological Sustainability*) integrado en el SIG, con lo que se evaluaron las tendencias de cambio (Eastman, 2012) y se obtuvo el mapa de las zonas de transición de coberturas del 2000-2011 y las tablas de pérdida, ganancia e índice de permanencia (Braimoh, 2006). Para generar una proyección de 20 años, se utilizó el método de cadenas de Markov, el cual asume que el uso del suelo es un proceso estocástico donde el cambio de distintas categorías de uso del suelo depende del estado inmediatamente anterior al cambio (Balzter, 2000).

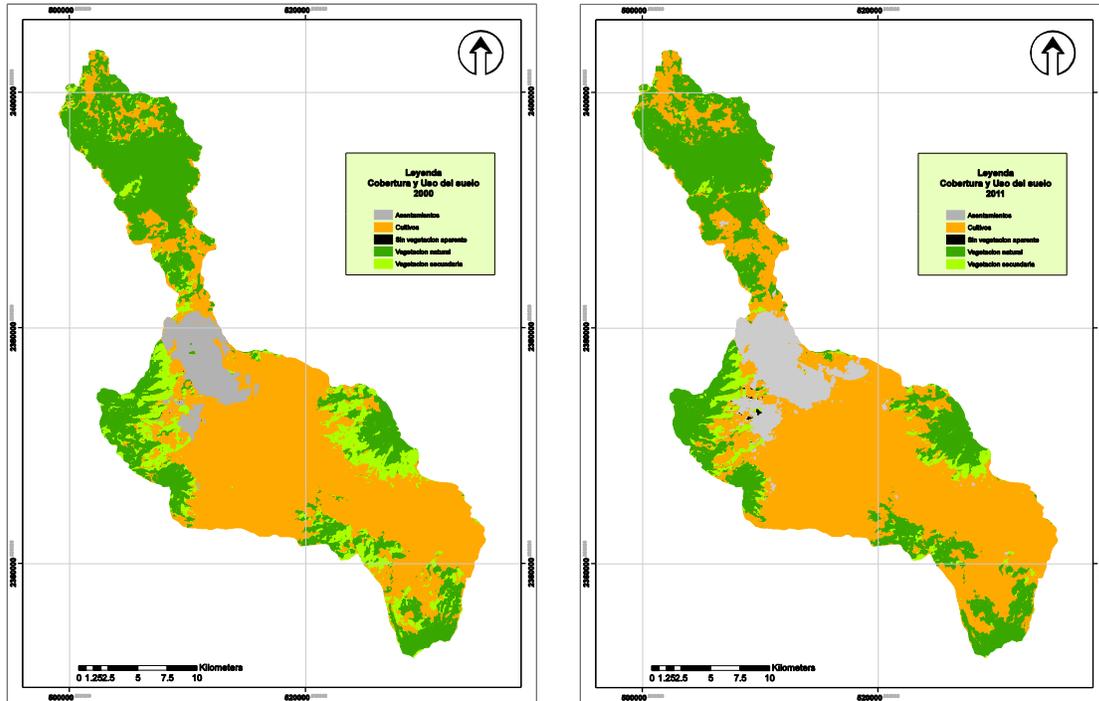
## Resultados

### *Tasa de cambio*

El análisis de los levantamientos de cobertura y uso del suelo muestra que los rasgos naturales de vegetación representaron para el año 2000, 44.3 % de la superficie total de la cuenca; mientras que los rasgos antrópicos, 55.7 %. Para 2011, estos porcentajes cambiaron

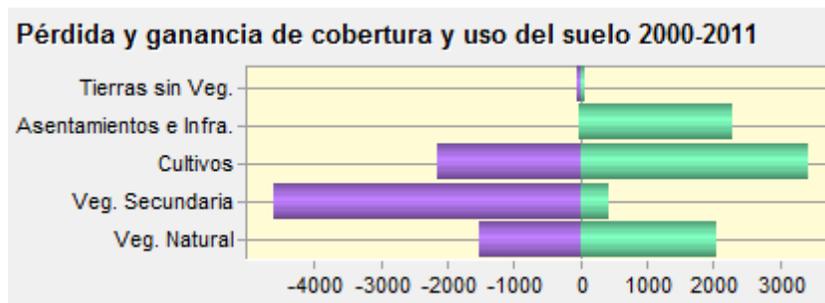
al disminuir los rasgos naturales a 37.9 % y aumentar los rasgos antrópicos a 62.1 % (figura 1, cuadro 2).

Figura 1. Cobertura y uso del suelo para el año 2000 y 2011



A nivel de Gran grupo se obtuvo una tasa de cambio anual (TCA) para rasgos naturales de 1.4 %, donde la vegetación secundaria es la más impactada (TCA -4.6 %) con un cambio neto negativo de 4 162 ha (ver gráfica 1 y cuadros 2 y 3).

Grafica 1. Pérdida y ganancia de la Cobertura y uso del suelo del 2000-2011



**Cuadro 2.** Cobertura y uso del suelo con tasa de cambio anual (TCA) en el periodo 2000-2011

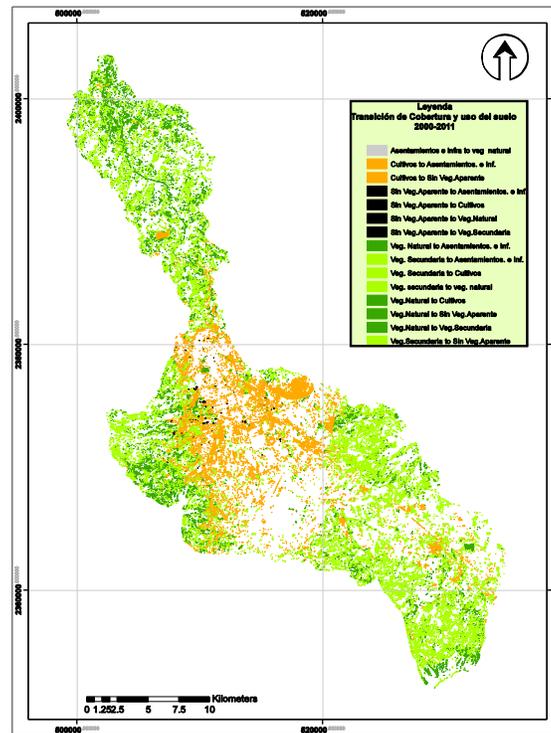
GRAN GRUPO	GRUPO	Superficie (ha) 2000	Porcentaje de Superficie %	Superficie (ha) 2011	Porcentaje de Superficie %	TCA
Rasgos Naturales	Vegetación Natural	15 017	26.3	15 550	27.3	0.3
	Vegetación Secundaria	10 215	17.9	6054	10.6	-4.6
	Subtotal	25 233	44.3	21 604	37.9	-1.4
Rasgos Antrópicos	Cultivos	28 107	49.3	29 372	51.6	0.4
	Asentamientos e Infraestructura	3574	6.2	5898	10.3	4.6
	Tierras sin Vegetación	46	0.1	86	0.1	5.8
	Subtotal	31 728	55.7	35 356	62.1	0.9
TOTAL		56 960	100	56 960	100	

**Cuadro 3.** Pérdida y ganancia de la Cobertura y uso del suelo del 2000- 2011

Coberturas y Uso del Suelo	Pérdida hectáreas	Ganancia hectáreas	Cambio neto hectáreas
Vegetación Natural	-1 511	2 044	533
Vegetación Secundaria	-4 596	434	-4 162
Cultivos	-2 155	3 420	1 265
Asentamientos e Infraestructura	0	2324	2324
Tierras sin Vegetación	39	79	40

Los resultados sobre el índice de permanencia arrojan que 91 % de vegetación natural y 56 % de vegetación secundaria son las coberturas que no presentan ningún tipo de transformación en el periodo de análisis. De lo anterior se deduce que la vegetación secundaria fue más impactada por cambios de uso del suelo en el periodo 2000-2011 (ver figura 2 y cuadro 4).

Figura 2. Transición de Cobertura y uso del suelo del 2000-2011



Cuadro 4. Permanencia de Cobertura y uso del suelo del 2000-2011

Cobertura vegetal y uso del suelo	Hectáreas	Porcentaje de superficie de permanencia %
Vegetación Natural	13 725.8	91
Vegetación Secundaria	5 685.6	56
Cultivos	26 200.6	93
Asentamientos e Infraestructura	3 583.9	100
Sin Vegetación Aparente	7.4	16

Con respecto a la cobertura de asentamientos e infraestructura, su permanencia es de 100 %, grupo que en el 2011 aumentó 2 324 ha a las existentes del 2000. Por su parte, los cultivos se mantienen en 96 % y en las zonas sin vegetación aparente solamente 7.4 ha son permanentes, es decir, la ganancia de 40 ha en el 2011 se realizó principalmente sobre la cobertura vegetal, que cambia a minas de material pétreo (ver cuadros 3 y 4).

### Transición de cambio de cobertura y uso del suelo

Los resultados obtenidos indican que la dinámica de cambio es mayor sobre las coberturas vegetales (natural y secundaria), las cuales cambian a otros usos de suelo (cultivos, asentamiento e infraestructura y minas) (cuadro 5).

**Cuadro 5.** Transición de la Cobertura y uso del suelo de 2000-2011

<b>Cobertura y Uso del Suelo</b>	<b>Cobertura y Uso del Suelo</b>	<b>Hectáreas</b>
2000	2011	
Vegetación Secundaria	Vegetación Natural	2 044
Vegetación Natural	Vegetación Secundaria	433
Vegetación Natural	Cultivos	1 060
Vegetación Secundaria	Cultivos	2 335
Tierras sin Vegetación	Cultivos	25
Vegetación Natural	Asentamientos e Infraestructura	17
Vegetación Secundaria	Asentamientos e Infraestructura	191
Cultivos	Asentamientos e Infraestructura	2 104
Tierras sin Vegetación	Asentamientos e Infraestructura	13
Vegetación Secundaria	Tierras sin Vegetación	27
Cultivos	Tierras sin Vegetación	51
<b>Total</b>		<b>8 299</b>

Con el modelo de evaluación de cambio de uso de suelo (LCM, por sus siglas en inglés), se obtuvo la transición de cobertura y uso del suelo, de este se desprende que en el periodo de análisis la vegetación natural es sustituida por vegetación secundaria (433 ha), a cultivos (1 060 ha), y asentamientos e infraestructura (17 ha) (cuadro 5).

### Proyección al 2021-2041

La tendencia de permanencia en las coberturas naturales disminuye conforme avanzan los años, es decir, para el año 2021 se espera que permanezca el 90 % de la vegetación natural existente de 2011, pero en 20 años (2041), solo continuará el 74 % (ver cuadros 6 y 7). Este mismo comportamiento se presenta en vegetación secundaria pero con un impacto mayor: al disminuir de 56 % en 2011 a 18 % para 2041; y al disminuir cultivos de 92 % en 2021 a 79 % para 2041, cediendo superficie para asentamientos e infraestructura.

Cuadro 6. Tendencias de cobertura y uso del suelo para 2021 en la cuenca del río Mololoa

Cadena de Markov para 2021					
	Vegetación Natural	Vegetación Secundaria	Cultivos	Asentamientos e Infraestructura	Tierras sin vegetación
Vegetación Natural	0.9	0.0	0.1	0.0	0.0
Vegetación Secundaria	0.2	0.5	0.2	0.0	0.0
Cultivos	0.0	0.0	0.9	0.1	0.0
Asentamientos e Infraestructura	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0
Tierras sin vegetación	0.0	0.0	0.5	0.3	0.2

Cuadro7. Tendencias de cobertura y uso del suelo para 2041 en la cuenca del río Mololoa.

Cadena de Markov para 2041					
	Vegetación Natural	Vegetación Secundaria	Cultivos	Asentamientos e Infraestructura	Tierras sin vegetación
Vegetación Natural	0.7	0.0	0.2	0.0	0.0
Vegetación Secundaria	0.3	0.2	0.4	0.1	0.0
Cultivos	0.0	0.0	0.8	0.2	0.0
Asentamientos e Infraestructura	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0
Tierras sin vegetación	0.0	0.0	0.5	0.4	0.0

## Discusión

Los resultados muestran una disminución en las coberturas vegetales y un aumento en las coberturas de origen antrópico, tendencia mundial en deforestación ocasionada por cambios de uso agrícola y urbano (FAO, 2010). Asimismo, coinciden con trabajos similares reportados para el periodo 1995-2005 (Nájera et al., 2010) a nivel local; FAO (2010) para el periodo 1990-2010; Céspedes-Flores y Moreno-Sánchez (2010) para 2000-2005, y los reportados por SEMARNAT (2012) para el periodo 2005-2010 a nivel nacional.

La dinámica de presión sobre las coberturas de vegetación natural y secundaria, se explica a partir del índice de presión económica a la deforestación (IPED) reportado por el Instituto

Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC, 2011); este índice se basa en modelos tipo Von Thünen, donde la motivación del cambio de uso del suelo es dedicar la tierra a actividades que generen mayores ingresos a sus propietarios. En este sentido y puesto que la vegetación natural y secundaria existente en la cuenca se localiza en zonas cercanas a áreas agrícolas y urbanas, presenta un IPED muy alto, volviéndose rentable al cambio de uso del suelo y por lo tanto, con mayor probabilidad de deforestación.

Por su parte, el incremento en la cobertura de *Asentamientos e infraestructura* está relacionado con el crecimiento demográfico, que en la zona muestra una tendencia acelerada a partir del año 1940, que en ese entonces tenía una población de 23 901 habitantes que después aumentó a 429 351 habitantes en 2010. Asimismo, muestra una marcada tendencia migratoria de la población rural a las ciudades (Marceleño et al., 2014).

### **Conclusiones**

La dinámica espacio temporal de la cobertura y uso del suelo en la cuenca del río Mololoa se define en cuatro procesos. *Degradación antrópica/deforestación*: presente en 38 % de la superficie de la cuenca en 2011, con una tasa de deforestación anual negativa de 1.4 %, mayor que la media nacional reportada en 2005. Los agentes de cambio vinculados a este proceso son la urbanización, la creación de servicios y minas de material pétreo, así como la ampliación de áreas agrícolas. *Revegetación*: este proceso se asocia a las políticas de conservación al declarar a esta zona como área natural protegida y aplicar el programa de manejo correspondiente, para recobrar cerca del 1 % de la superficie forestal en 10 años. *Permanencia*: la totalidad (100 %) de los asentamientos e infraestructura se encuentran constantes, mientras que 93 % de los cultivos permanecen; 91 % de la vegetación natural que se ubica en las zonas altas de la cuenca presenta continuidad, mientras que la vegetación secundaria persiste en 56 %.

*Conversión entre coberturas antrópicas* (cambios entre los usos del suelo antrópicos): los cultivos son el grupo que presentan mayor dinamismo al perder 2 155 ha y ganar 3 420 ha en el periodo de análisis, con una ganancia neta de 1 265 ha.

Finalmente, la cuenca del río Mololoa, donde se asienta 56 % de la población del Estado de Nayarit, presenta un proceso acelerado de transformación de la cobertura vegetal a usos

del suelo antrópicos, poniendo en riesgo los bienes y servicios ecosistémicos para la población.

## Bibliografía

- Balzter, H. Markov (2000). Chain models for vegetation dynamics. *Ecological Modelling* 126: 139-154.
- Braimoh, A.K.(2006). Random and systematic land-cover transitions in northern Ghana. *Agriculture, Ecosystems and Environmen.* 113: 254-263.
- Campos, R. M., y Picado, H. V. (2014). Incremento de áreas impermeables por cambios de usos de la tierra en la microcuenca del río Burío. *Revista Reflexiones*, 93 (1) 33-46.
- Céspedes-Flores, S. E., y Moreno-Sánchez, E. (2010). Estimación del valor de la pérdida de recurso forestal y su relación con la reforestación en las entidades federativas de México. *Investigación Ambiental*, 2 (2), 5-13.
- Cotler, H., y Caire, G. (2009). Lecciones aprendidas del manejo de cuencas en México. Instituto Nacional de Ecología, México.
- Chen LY, Yang HCH. (2008). Scenario simulation and forecast of land use/cover in northern China. *Chines Science Bulletin*. 53: 1401-1412.
- Eastman Ronald J. IDRISI Selva, Guía para SIG y Procesamiento de Imágenes. Manual Versión 17. IDRISI Production. Clark University. Junio 2012.
- García, M. T,y Mas, J. F. (2008). Comparación de metodologías para el mapeo de la cobertura y uso del suelo en el sureste de México. *Investigaciones Geográficas*. 67: 7-19.
- Gómez, G. C., Santos, R. G., Cerrón, R. M., Capcha, T. M., & Villavicencio, C. O. (2014). Evaluación de la tasa de infiltración en tierras agrícolas, forestales y de pastoreo en la subcuenca del río Shullcas. *Apuntes de Ciencia y Sociedad*. 4 (1) 32-43.

- Hernández-Gómez, M. Á., y Valdés-Reyna, J. Á. V. Q. (2012). Análisis Multitemporal del Cambio de Uso de Suelo y Vegetación en las Áreas Naturales Protegidas con Perrito Llanero Mexicano (*Cynomys mexicanus* Merriam) en el Estado de Nuevo León, México. *Revista Agraria*, 9 (2), 63-71.
- Loya-Carrillo, J. O., Aguilar-Estrada, S. A., Bravo-Peña, L. C., y Sánchez-Flores, E. (2013). Evaluación espacio-temporal del impacto del crecimiento urbano sobre la cobertura vegetal en la región fronteriza Nogales, México y Arizona, Estados Unidos, durante el periodo 1995-2010. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 9 (1): 124-140.
- Marceleño Flores, S., Haro Mota, R., y Nájera González, O. (2014). Indicadores demográficos de la cuenca del río Mololoa. La cuenca del río Mololoa y su problemática socioambiental. Universidad Autónoma de Nayarit. Nayarit, México. pp. 95-106.
- Mendoza, M. E., Bocco, G., Lopez-Granados, E. and Bravo-Espinoza, M. (2010). Hydrological implications of land use and land cover change: Spatial analytical approach at regional scale in the closed basin of the Cuitzeo Lake, Michoacan, Mexico. *Singapore Journal of Tropical Geography*. Volume 31, Issue 2, pages 197–214.
- Melo L.H., y Camacho M.A. (2005). Interpretación visual de imágenes de sensores remotos y su aplicación en levantamientos de cobertura y uso de la Tierra. Santa Fe de Bogotá: Centro de Investigación y Desarrollo de Información Geográfica, p. 138.
- Masís Campos, R., y Vargas Picado, H. (2014). Incremento de áreas impermeables por cambios de usos de la tierra en la microcuenca del río Burío. *Rev. Reflexiones* 93 (1): 33-46.
- Nájera-González, O., Bojórquez-Serrano, J. I., Cifuentes-Lemus, J. L., y Marceleno-Flores, S. (2010). Cambio de cobertura y uso del suelo en la cuenca del río Mololoa, Nayarit. *Revista Bio Ciencias*, 1 (1) 19-29.
- Ruiz, V., Savé, R., y Herrera, A. (2013). Análisis multitemporal del cambio de uso del

- suelo, en el Paisaje Terrestre Protegido Miraflor Moropotente Nicaragua, 1993-2011. *Ecosistemas* 22 (3):117-123.
- SEMARNAT (2006). La gestión ambiental en México. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales México, D.F: SEMARNAT.
- SEMARNAT (2012). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales México, D.F: SEMARNAT.
- Velázquez, A., Mas, J. F., Gallegos, J. R. D., Mayorga-Saucedo, R., Alcántara, P. C., Castro, R., y Palacio, J. L. (2002). Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta ecológica*, (62), 21-37.
- FAO. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010. Informe principal. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Programa de Evaluación de los Recursos Forestales. Documento de Trabajo 52. 2010. Disponible en: <http://www.fao.org>. [consultado marzo 2014].
- FAO. Forest Resource Assessment 2005. Disponible en: <http://www.fao.org>. [consultado marzo 2014].
- INECC, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Índice de Presión Económica (Riesgo) de la Deforestación (IRDef 2.0.1). <http://www.inecc.gob.mx/irdef-usos> [consultado marzo 2014].