

Perspectiva del diseño cartográfico para estudios de uso del suelo y ordenamiento territorial: una revisión internacional, técnica y normativa

Perspective of cartographic design for land use and land management studies: an international, technical and policy review

Laura Cano Salinas^{1‡}, Rodrigo Rodríguez Laguna², José René Valdez Lazalde³,
Rosa Icela Beltrán Hernández¹, César Abelardo González Ramírez¹ y
Otilio Arturo Acevedo Sandoval²

¹ Área Académica de Química, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Carretera Pachuca-Tulancingo km. 4.5. 42186 Mineral de la Reforma, Hgo., México.

² Área Académica de Ciencias Agrícolas y Forestales, Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Av. Universidad km. 1, Ex-Hacienda de Aquetzalpa Apartado Postal 32. 43600 Tulancingo, Hgo., México.

[‡] Autora responsable (lau.cano@yahoo.com.mx)

³ Postgrado Forestal. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km. 36.5. 56230 Montecillo, Estado de México, México.

RESUMEN

Además de las actividades básicas en la ordenación del territorio, como la generación de mapas temáticos y las consultas espaciales, es importante aplicar normas y regulaciones sobre el uso del suelo y planeación territorial. La creciente diversidad de estudios que analizan el cambio de uso del suelo, pone de manifiesto que la configuración espacial del uso del suelo es un factor clave en la resolución de muchos problemas ambientales. Sin embargo, en la revisión llevada a cabo, se encontraron diseños cartográficos, variados y definidos en función de las necesidades y propósitos de cada estudio. La evolución y expansión de la normatividad que regule el diseño cartográfico, es el primer paso para lograr un vínculo científico entre las políticas actuales de ordenamiento territorial y las evaluaciones de uso del suelo. De esta manera, las predicciones del cambio de uso del suelo serán más acertadas y permitirán el establecimiento de fronteras de cambio. Por otra parte, con el constante desarrollo de las nuevas tecnologías de percepción remota se han puesto al descubierto debilidades en los resultados cartográficos, y es imprescindible estandarizar algunos aspectos como la tipificación de la vegetación de acuerdo a un fin específico. La metodología CORINE Land Cover utilizada en toda Europa es un buen ejemplo de ello. Este trabajo reveló la necesidad de construir una base cartográfica adaptable y funcional a distintas situaciones, cuyos resultados puedan ser comparados con otros periodos estudiados. Es por ello,

que se presenta una propuesta inicial sobre los aspectos técnicos a considerar en el diseño cartográfico, cuyo desarrollo permitirá a largo plazo, la actualización de bases de datos históricos sobre el cambio de uso del suelo y cobertura vegetal con fines de planeación territorial.

Palabras clave: *dinámica de la cobertura del suelo; criterios cartográficos; política ambiental; percepción remota.*

SUMMARY

Besides the basic activities in regional planning, such as generation of thematic maps and spatial queries, it is important to apply rules and regulations to land use and territorial planning. The increasing diversity of studies analyzing land use change shows that spatial configuration of land use is a key factor in solving many environmental problems. However, our review found that cartographic designs varied and were defined according to the needs and purposes of each study. The evolution and expansion of regulations governing cartographic design is the first step towards a scientific link between current planning policies and land use assessments. This will allow predictions of land use change to be more accurate and to establish frontiers of change. Moreover, with its constant development, new remote sensing technologies have uncovered weaknesses in mapping, and thus, it is imperative to standardize some aspects such as

Como citar el artículo:

Cano Salinas, L., R. Rodríguez Laguna, J. R. Valdez Lazalde, R. I. Beltrán Hernández, C. A. González Ramírez y O. A. Acevedo Sandoval. 2016. Perspectiva del diseño cartográfico para estudios de uso del suelo y ordenamiento territorial: una revisión internacional, técnica y normativa. *Terra Latinoamericana* 34: 409-417.

Recibido: noviembre de 2015. Aceptado: agosto de 2016.
Publicado en *Terra Latinoamericana* 34: 409-417.

definition of vegetation according to a specific purpose. The CORINE Land Cover methodology across Europe is the best example. This work revealed the need to build a functional cartographic database adaptable to different situations, and whose results would enable comparison among periods. For this reason, we present here an initial proposal for technical aspects to be considered in cartographic design, whose development will allow long-term updating of historical databases on land use change and vegetation cover to support territorial planning.

Index words: *land cover dynamic; mapping criteria; environmental policy; remote sensing.*

INTRODUCCIÓN

El diseño de políticas para normar el cambio de uso del suelo, es uno de los desafíos en la planeación territorial de cualquier región. Las modificaciones no reguladas del uso del suelo, son una causa local de origen humano y sus consecuencias se ven reflejadas a nivel regional. Por esta razón, es importante tener una interpretación del problema con mayores y mejores elementos técnicos para la toma de decisiones. Sin embargo, la disponibilidad de datos históricos y la escasa precisión de los escenarios predictivos han sido factores limitantes en este tipo de estudios (de Chazal y Rounsevell, 2009). Por otro lado, la gestión del territorio, aplicada al análisis de los cambios de cobertura y uso del suelo, es importante para una caracterización integral del problema. La legislación ambiental debe adaptarse a cada caso con el fin de implementar un marco jurídico congruente con las condiciones de cada región. De esta manera, se puede vincular el ordenamiento territorial con la evaluación de uso del suelo para asignar usos adecuados a la tierra, dentro de un marco legal (Salas- Bourgoïn *et al.*, 2008).

Por otra parte, la evolución tecnológica y la disponibilidad de imágenes de satélite de mayor resolución han sido aprovechadas por México para mejorar el proceso de cuantificación de los recursos naturales (FAO, 2010). Sin embargo, con el procesamiento digital de imágenes se han puesto al descubierto las debilidades de los datos generados, y la necesidad de utilizar normas y estándares para documentar la calidad cartográfica y la de los productos derivados de tales mapas (Fallas, 2002).

En este contexto, el objetivo del presente estudio es mostrar los hallazgos acerca de la experiencia técnica y normativa de las regiones de Norteamérica, Latinoamérica y Europa en materia de uso del suelo y ordenamiento territorial, que contribuya al conocimiento de los criterios y el diseño cartográfico de evaluación de la cobertura de la tierra por percepción remota.

Normativa Internacional sobre Cambio de Uso del Suelo

La legislación ambiental es un factor indirecto de suma importancia en la ordenación del territorio porque permite entender la trayectoria del manejo del suelo. Los Cuadros 1, 2 y 3 presentan el marco jurídico vigente en distintas partes del mundo.

De la información presentada en el Cuadro 2 resulta un dato evidente, los países europeos cuentan con una base de datos común (CORINE Land Cover) que define los usos y coberturas terrestres de forma generalizada para toda la comunidad europea. La trascendencia de esta metodología deriva en ventajas sobre la organización del territorio, no obstante, el ordenamiento territorial europeo es guiado por la “Carta Europea de Ordenación del Territorio” actualizada hasta el año 1993, y la planificación de las tierras en cada país es reproducida y adaptada a cada uno de los niveles de organización territorial.

CORINE Land Cover (Programa de coordinación de información del medio ambiente, por sus siglas en inglés) es un proyecto desarrollado en Europa en el año 1987 con el fin de estandarizar las nomenclaturas de las coberturas terrestres para los países europeos, que permitiera hacer una comparación entre los usos de los suelos y facilitara la toma de decisiones tanto regionales como globales. Uno de sus objetivos principales es compilar la información sobre el estado del ambiente en toda la Unión Europea y asegurar que la información obtenida sea consistente y compatible (Agencia Ambiental Europea, 1994). La nomenclatura de dicha metodología se basa en 44 clases de uso y cobertura y la determinación de la escala establecida (1:100 000) permite una representación amplia y semidetallada de la información. Adicionalmente, en términos de factibilidad se ajusta a restricciones de presupuesto y límites de tiempo de estudio promedios (Agencia Ambiental Europea, 1994).

Cuadro 1. Escala cartográfica y legislación en materia de ordenamiento territorial y uso del suelo en Norteamérica.

Sistema Norteamericano		
Escala	País	Soporte jurídico / Instrumentos de gestión
Cartografía diversa. Escalas desde 1:17,000,000 hasta 1:2,400	Estados Unidos de América	La Ley de Política Nacional en Materia de Medio Ambiente /National Environmental Policy Act (NEPA) 1969, Ley de Manejo Orgánico (Organic Administration Act) de 1987, Ley de Uso Múltiple y Rendimiento Sostenido (Multiple-Use Sustained-Yield Act, MUSYA) de 1960, Ley Taylor sobre Pastoreo (Taylor Grazing Act) de 1934.
	Canadá	Ley Canadiense de Protección Ambiental, 1999 (Canadian Environmental Protection Act, CEPA 1999), Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente (Environmental Protection and Enhancement Act).

Fuente: Commission for Environmental Cooperation (<http://www.cec.org/lawdatabase>).

Cuadro 2. Metodología cartográfica y legislación en materia de ordenamiento territorial y uso del suelo en Europa.

Sistema Europeo		
Metodología cartográfica de uso del suelo	País	Soporte jurídico / Instrumentos de gestión
CORINE Land Cover escala 1:100,000 (Landsat y SPOT)	Alemania	Carta Europea de Ordenación del Territorio (1983), Planes de Uso de la Tierra y Planes de Ordenamiento Ambiental a nivel distrital y local.
	Suiza	Ley Federal de Planificación Territorial (1979), Lineamientos para el Desarrollo Espacial de Suiza (1995), Plan Director Cantonal con escalas definidas de 1:50,000 y 1:25,000.
	Italia	Ley Urbanística de 1942, Ley 1150 de 1942, Planes territoriales regionales y provinciales con escalas definidas de 1:250,000, 1:50,000 y 1:25,000.
	Portugal	Decreto Ley 176-A de 1988 sobre planes regionales, Decreto Ley 794/76 sobre política de suelos, Decreto Ley 69/90 sobre la formulación de planes de OT, Decreto Ley 448/91 sobre régimen de parcelaciones urbanas.
	Holanda	Ley del Plan Nacional de Ordenación Territorial (1950), Ley de OT (1962, reformada en 1985 y 1994), Informe anual: "Cuarta Nota Sobre la Planificación Territorial de los Países Bajos" con dos representaciones cartográficas: "Estructura Espacial Actual" y "Escenario de Desarrollo Espacial".
	Francia	Ley de Orientación del Suelo de 1967, Ley de Montaña de 1985, Ley 95-115 sobre orientación para la Ordenación y el Desarrollo del Territorio, Informe: Diseñar la Francia del año 2015 de la DATAR (Delegación para el Manejo del Territorio y la Acción Regional), Planes de Ocupación del Suelo a nivel local con escalas definidas de 1:5,000.
	Grecia	Decreto Ley del 17 de julio de 1923 sobre formas de uso de la tierra, Ley de Expansión de Ciudades y Desarrollo Urbano (1337/1983), Ley General de Construcción (1577/1985).
	España	Ley del Suelo de 1956 (reformada en 1975 y 1990), Ley de Régimen del Suelo y Ordenación Urbana de 1992, Leyes regionales sobre Ordenamiento Territorial en cada provincia.

Fuente: European Commission (http://europa.eu/eu-law/legislation/index_es.htm).

Cuadro 3. Escala cartográfica y legislación en materia de ordenamiento territorial y uso del suelo en México y Latinoamérica.

Sistema Latinoamericano		
Escala	País	Soporte Jurídico / Instrumentos de Gestión
Cartografía 1:1,000,000 y 1:250,000	† México	Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) última reforma 2014, Ley General de Asentamientos Humanos de 1993, Ley General de Cambio Climático de 2012, Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable de 2003.
	‡ Venezuela	Ley Orgánica de OT de 1983, Planes departamentales con escalas definidas de 1:250,000 y planes municipales 1:25,000.
	‡ Bolivia	Marco General de Ordenamiento Territorial (MARGOT).
	‡ Colombia	Decreto 2811, 1974: Código Nacional de Recursos Naturales, Renovables y de Protección del Medio Ambiente, Ley del Mar (Ley 10, 1978): bases para el OT marino, Ley de Reforma Urbana (Ley 9, 1989), Decreto 1333, 1986 sobre OT urbano, Ley Ambiental (Ley 99, 1993), Ley Orgánica de Áreas Metropolitanas (Ley 128, 1994), Ley de Organización y Funcionamiento de los Municipios (Ley 136, 1994), Ley Orgánica del Plan de Desarrollo (Ley 152, 1994), Ley 388, 1997: marco conceptual e instrumental para formular y ejecutar planes municipales y distritales de Ordenamiento Territorial.
	‡ Costa Rica	Ley Orgánica Ambiental No. 7554, Decreto de Plan de Ordenamiento Ambiental Nacional, Ley de Uso y Conservación de Suelos.
	‡ Uruguay	Directrices de Ordenamiento Territorial y Desarrollo del Uruguay (1996).
	‡ Brasil	Artículo 30 de la Constitución Federal (1988), Ley 6.766 regulatoria del uso de suelo urbano.
	‡ Argentina	Decreto Ley 8912 sobre OT y uso del suelo de la Provincia de Buenos Aires

Fuentes: † Diario Oficial de la Federación. México (<http://dof.gob.mx/ley-reg.php>), ‡ Massiris-Cabeza, 2002.

Por otra parte, en Latinoamérica las políticas de uso del suelo y ordenamiento territorial son notablemente más recientes que en Europa (Cuadro 1). De acuerdo con este cuadro, la legislación en materia de uso del suelo y ordenamiento territorial se encuentra en constante formulación y perfeccionamiento. En este aspecto, México ha sido un país activo en la legislación ambiental de Latinoamérica, sin embargo, fue uno de los últimos países en instituir una ley ambiental integrada (LGEEPA, 1988), comparado con Colombia y Venezuela, por ejemplo, cuyas leyes equivalentes fueron instauradas en 1974 y 1976 respectivamente.

Para finalizar este breve análisis, es importante resaltar el modelo mexicano de legislación ambiental, el cual distribuye las competencias de la materia en los tres niveles de gobierno (nacional, estatal y municipal), lo que permite una forma de gestión ambiental más eficaz. Esta política ha quedado establecida en la LGEEPA, pero ha tenido mayor énfasis dentro de la Ley General de Cambio Climático (2012), la cual estipula que las acciones para la solución de problemas ambientales, así como la realización de inventarios y manejo de recursos naturales será competencia y obligación del nivel de organización territorial correspondiente.

Estudios de Cambio de Uso del Suelo

Debido a que el uso del suelo es una de las 13 variables climáticas esenciales definidas por el Sistema de Observación Climática Global (GCOS, por sus siglas en inglés), los estudios sobre cambio de uso del suelo y vegetación deben ser actualizados constantemente. La ausencia de tal expresión cartográfica en un estudio de cambio de uso del suelo, hace difícil visualizar la relación entre los procesos de cambio (causas, efectos, escenarios probables) y los fenómenos asociados, no solo ecológicos, sino económicos y sociales (Mas *et al.*, 2009).

Uno de los aspectos esenciales en el diseño cartográfico del análisis de cambio de uso del suelo es el tipo de insumo. Por un lado, se tienen las tradicionales fotografías aéreas (ortofotos). No obstante, el uso de las imágenes satelitales ha desplazado a las ortofotos por varias ventajas. Entre ellas, la capacidad de monitoreo terrestre, cuya característica permite que actualmente los estudios de deforestación y cambio de uso del suelo a partir de imágenes de satélite, puedan ser repetidos mucho más rápidamente que con el cotidiano y costoso método de fotointerpretación (NASA, 2010).

En México, la generación de información para el conocimiento y evaluación del uso del suelo y vegetación han avanzado conforme a las técnicas modernas mundiales (FAO, 2010). Los sensores Landsat han monitoreado la superficie terrestre las últimas cuatro décadas. En febrero del 2013 fue lanzado el sensor Landsat 8 con un mayor número de bandas espectrales, lo que representa una enorme ventaja en el procesamiento de imágenes porque es posible identificar distintos tipos de cobertura más específicamente. Por esta razón, las imágenes Landsat constituyen una fuente de datos confiable para la extracción de información valiosa. Los Cuadros 4 y 5 muestran la popularidad del uso de escenas Landsat.

Un segundo criterio fundamental es la escala cartográfica, cuya selección está basada principalmente en el nivel de resolución espacial de las imágenes. Por lo tanto, cada escala de trabajo tiene una aplicación específica porque responde a la necesidad de representar una situación particular (Colditz *et al.*, 2012). La escala 1:100 000 es útil para el manejo de cuencas hidrológicas, zonificación de riesgos y detección de

la expansión urbana o agrícola (Tarantino *et al.*, 2007; Oñate-Valdivieso y Bosque-Sendra, 2010; Salvati *et al.*, 2012).

Paralelo a la definición de la escala, es necesario adecuar una nomenclatura temática acorde al objeto de estudio. Cada uno de los diferentes sistemas de clasificación de cobertura, internacionales como el de la Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas (FAO, por sus siglas en inglés) y nacionales como los del Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI) o el utilizado por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) para el Inventario Nacional Forestal (INF), responden a necesidades y escalas específicas de representación. Sin embargo, las experiencias de los estudios de evaluación del cambio de cobertura (Cuadro 5) han hecho necesario establecer sistemas comparables y adaptables para una amplia variedad de propósitos, ya que con frecuencia se confunden y generan errores como la sobre-evaluación en las estimaciones de determinados tipos de cobertura (Mas *et al.*, 2009). El Cuadro 4 muestra la inquietud en conocer cómo afectan distintos factores de las técnicas

Cuadro 4. Estudios científicos que evalúan técnicas o parámetros de percepción remota en el análisis de uso del suelo y cobertura vegetal.

Evaluación de técnicas de percepción remota				
Objetivo	Tipo de imagen (resolución espacial)	Periodo de estudio	No. clases extraídas	Autor
Comparar el rendimiento de dos técnicas de mejora de cambio y dos técnicas de clasificación para la identificación de cambios en la cubierta vegetal de California.	Landsat TM (30 m)	1990-1996	5	Rogan <i>et al.</i> , 2002
Determinar la magnitud del error y precisión del monitoreo de los cambios de uso de suelo, debido a la frecuencia de adquisición de imágenes.	Landsat TM (30 m)	1987-2000 (5 series)	6	Lunetta <i>et al.</i> , 2004
Evaluar la efectividad de 4 métodos de detección de cambios de uso de suelo en el este del Mediterráneo, Turquía.	Landsat TM (30 m)	1985-2005 (2 series)	12	Berberoglu y Akin, 2009
Comparar tres algoritmos de clasificación de imágenes Landsat para estudios de uso del suelo en EEUU.	Landsat TM y ETM+ (30 m)	2002-2010	5	Srivastava <i>et al.</i> , 2012
Mejorar la comprensión de cómo el cambio de políticas forestales afecta la gestión local de los bienes comunes en 4 comunidades de Michoacán, México.	Landsat TM y ETM+ (30 m), Ortofotos	1990-2006	5	Barsimantov y Antezana, 2012
Presentar la metodología para elaborar la cartografía de cobertura terrestre del año 2005 de México así como un análisis espacial.	MODIS (250 m), Google Earth	2005	19	Colditz <i>et al.</i> , 2012
Evaluar dos algoritmos de clasificación de imágenes y analizar los cambios de uso de suelo en el Delta del Nilo.	Landsat TM y ETM+ (30 m)	1984-2005	5	Elhag <i>et al.</i> , 2013
Presentar la metodología para desarrollar una serie anual de cobertura del suelo en Canadá.	MODIS (250 m)	2000-2011	25	Pouliot <i>et al.</i> , 2014

Cuadro 5. Estudios científicos que aplican técnicas de percepción remota para el análisis de uso del suelo y cobertura vegetal.

Aplicación las técnicas de percepción remota				
Objetivo	Tipo de imagen (resolución espacial)	Periodo de estudio	No. clases extraídas	Autor
Describir el desarrollo de una base de datos multitemporal de cubierta vegetal adecuada para el análisis de motores de cambio de uso de suelo (urbanos y rurales) en Chihuahua, México.	Landsat MSS (30 m), Cartografía de USV del INEGI	1986-1992	15	Currit, 2005
Analizar la asociación de la migración y los cambios de uso de suelo a nivel de cuenca en Michoacán, México.	Ortofotos (1:50,000 y 1:37,000)	1975-2000	12	López <i>et al.</i> , 2006
Explorar las tendencias a corto plazo de los procesos que determinan el cambio de uso del suelo en la Sierra Norte de Oaxaca, México.	Landsat ETM+ (30m), Mapas de USV del INEGI	1980-2000	15	Gómez-Mendoza <i>et al.</i> , 2006
Generar mapas de cambio de uso del suelo para apoyar los estudios de prevención de deslizamientos en Caramanico, Italia.	Landsat TM (30 m)	1987-2000	4	Tarantino <i>et al.</i> , 2007
Cuantificar la biomasa aérea de bosque en tres estados de EE UU y determinar los efectos de la resolución espacial en las estimaciones.	Modis (250 m) y AVHRR (1 km)	1992-2001	17	Zheng <i>et al.</i> , 2008
Analizar el impacto del cambio de uso del suelo en términos de prestación de servicios ecosistémicos en el Golfo de México.	Landsat (30 m)	1973-1989	10	Martínez <i>et al.</i> , 2009
Analizar la dinámica del cambio de uso del suelo en Hangzhou, China.	SPOT (10 m), Landsat ETM+ (30 m)	2001-2003	10	Jin-Song <i>et al.</i> , 2009
Calcular los cambios en el uso del suelo en México mediante la integración de mapas y datos de las reservas de carbono derivados de los inventarios forestales y de suelo.	Cartografía USV del INEGI	1993-2002	18	de Jong <i>et al.</i> , 2010
Generar un escenario de uso del suelo en una cuenca hidrográfica de América del Sur.	Landsat TM (30 m)	1986-2001 (2 series)	4	Oñate-Valdivieso y Bosque, 2010
Analizar el efecto del cambio de uso de suelo en la temperatura de la superficie terrestre en Beijing, China.	Landsat TM y ETM+ (30m)	1995-2000	6	Jiang y Tian, 2010
Estudiar los cambios de cobertura terrestre en los últimos 50-70 años en Zanzibar Tanzania	Ortofotos (1:14,000, 1:20,000, 1:25,000)	1930-2004 (5 series)	9	Käyhkö <i>et al.</i> , 2011
Evaluar el crecimiento de población y el cambio de uso de suelo en Delhi, India.	ASTER (15 m)	1972-2003	8	Rahman <i>et al.</i> , 2012
Calcular el valor de los cambios de uso del suelo en términos de servicios ambientales en tres localidades costeras de Veracruz.	Ortofotos 1:75,000 (0.8 m)	1995-2006	5,6 y 8	Mendoza-González <i>et al.</i> , 2012
Evaluar la asociación entre el régimen de tenencia de la tierra y los cambios en la cubierta boscosa a nivel municipal en la República Mexicana.	MODIS (250 m), Google Earth	2001-2010	8	Bonilla-Moheno <i>et al.</i> , 2013
Evaluar los cambios en la cobertura de la tierra en España mediante el análisis de series de tiempo de imágenes satelitales para distinguir el uso del suelo de origen humano de los cambios impulsados por el cambio climático.	AVHRR (1 km ²), MODIS (250 m), Mapas CORINE Land Cover España	1989-2006	16	Stellmes <i>et al.</i> , 2013

del procesamiento de imágenes en la efectividad de los métodos de percepción remota y los resultados cartográficos.

La información presentada en los Cuadros 4 y 5, representa el panorama general del alcance de los estudios del cambio de uso del suelo y cobertura vegetal no solo en México, sino en varias partes del mundo y con distintos fines. Por lo tanto, es claro que el análisis del cambio de uso de suelo y cobertura vegetal es una variable indispensable para la toma de decisiones referentes a distintos aspectos ambientales en cualquier nivel territorial.

Criterios Técnicos para la Cartografía de Uso del Suelo y Vegetación con Fines de Planificación Territorial

El desarrollo de una región demanda la clasificación de su territorio como uno de los primeros pasos para la delimitación de unidades de cobertura y uso del suelo. Esta labor es indispensable para el establecimiento de modelos de ordenamiento territorial y para la planeación de múltiples actividades sociales y económicas. En nuestro país, la centralización del poder en el gobierno federal ha generado que la regulación de los cambios de uso del suelo dependa de la legislación nacional. Por ello, la elaboración de normatividad a nivel estatal o municipal en éste ámbito se ha visto muy limitada. En este contexto, es necesario comenzar a generar normas técnicas que establezcan los criterios básicos que permitan la construcción de una base de datos históricos sobre uso del suelo y vegetación a distintos niveles de organización, que se caracterice por ser adaptable y comparable. No obstante, la elaboración de cartografía

de uso del suelo y cobertura vegetal es difícil debido a la extensión del territorio, la topografía, la gran diversidad vegetal, la dinámica de los paisajes, entre otros. Esta es una de las razones por las que en amplias extensiones del territorio (un estado por ejemplo) resulta difícil poder contar con insumos de la resolución espacial adecuada. Es decir, a una escala muy pequeña se perdería la enorme cantidad de procesos locales sobre la dinámica de uso del suelo, mientras que a una escala muy grande resultaría muy costoso mantener la base de datos actualizada. Un factor más que incide es la selección de categorías de la nomenclatura temática, ya que es un proceso que aún no ha sido estandarizado. Para abordar este aspecto, es importante señalar que existen procedimientos cartográficos del Sistema Nacional de Información Geográfica (SNIG) a través del INEGI, para la generación de cartografía temática pero solo se disponen para las escalas de 1:250 000 y 1:50 000. Sin embargo, el cubrimiento nacional para la segunda escala no está completo ni actualizado en México.

De esta manera, surgió el propósito de plantear algunos criterios técnicos que permitan construir un procedimiento eficaz que facilite la obtención de resultados satisfactorios y comparables entre los diversos productos cartográficos de uso del suelo y vegetación (Cuadro 6). Cabe señalar, que los insumos propuestos constituyen información actualizada y gratuita en México. Es por ello que la ventaja de utilizar este tipo de información satelital radica en su facilidad de adquisición.

No cabe duda que este tipo de propuestas representa un reto ambicioso de implementar, no obstante, el mismo SNIG de nuestro país, se está involucrando en

Cuadro 6. Criterios técnicos básicos para el diseño cartográfico de los estudios de uso del suelo con fines de planeación territorial en 3 niveles de organización.

Criterio	Nivel		
	Nacional	Estatal/Regional	Municipal
Escala cartográfica	1:250,000 o menor	1:100,000	1: 25,000 o mayor
Tipo de insumo	Landsat, MODIS, Google Earth	Landsat, Google Earth	SPOT, Aster, Google Earth
Unidad mínima cartografiable	1 km ²	0.16 km ²	0.01 km ²
Nomenclatura de clases	Primer nivel	Segundo nivel (1 subdivisión)	Tercer nivel (2 subdivisiones)
Nivel de nomenclatura	Formación vegetal	Formación vegetal + Tipo de vegetación	Formación vegetal +Tipo de vegetación + Comunidad

el manejo de nuevas técnicas de producción y edición de la cartografía que satisfagan la amplia gama de necesidades en cuestión de recursos naturales.

CONCLUSIONES

- La gran variedad de aplicaciones a las evaluaciones de la tasa de cambio en la cobertura terrestre ha sido constante en las últimas tres décadas, sin embargo, los estudios de este tipo con fines de planeación territorial son escasos. Esta revisión científica y normativa permitió conocer la necesidad de visualizar escenarios basados no solo en las tendencias de cambio sino también en objetivos políticos específicos, es decir, es necesaria la aplicación de criterios técnicos unificados en el diseño cartográfico de los estudios de uso de suelo. Esto representaría una enorme ventaja ya que sería posible comparar resultados entre distintos estudios con fines semejantes.

- En conclusión, vincular la política ambiental con los aspectos técnicos es tarea difícil en el actual mundo globalizado. No obstante, es digno de reconocer los progresos de la normatividad ambiental no solo en México sino en toda América Latina. Además, la creciente y mejorada base de datos satelital de Landsat, por ejemplo, representa una gran ventaja para este tipo de estudios al momento de extraer la información. Es por ello que se recomienda continuar incorporando nuevas ideas y aportaciones que vinculen los instrumentos políticos con los reglamentos técnicos para que la legislación ambiental garantice su efectividad y de esta manera, la información generada de certidumbre a las acciones de desarrollo del gobierno a través de bases de datos con alta capacidad de adaptación.

LITERATURA CITADA

- Barsinmantov, J. and J. N. Antezana. 2012. Forest cover change and land tenure change in Mexico's avocado region: Is community forestry related to reduced deforestation for high value crops? *Appl. Geogr.* 32: 844-853.
- Berberoglu, S. and A. Akin. 2009. Assessing different remote sensing techniques to detect land use/cover changes in the eastern Mediterranean. *Int. J. Appl. Earth Observat. Geoinformat.* 11: 46-53.
- Bonilla-Moheno, M., D. J. Redo, T. M. Aide, M. L. Clark, and H. R. Grau. 2013. Vegetation change and land tenure in Mexico: A country-wide analysis. *Land Use Policy* 30: 355-364.
- CEC (Commission for Environmental Cooperation). 1999. Disponible en: (<http://www.cec.org/lawdatabase>). (Consulta: mayo 5, 2014).
- Colditz, R. R., G. López Saldaña, P. Maeda, J. Argumedo Espinoza, C. Meneses Tovar, A. Victoria Hernández, C. Zermeño Benítez, I. Cruz López, and R. Ressler. 2012. Generation and analysis of the 2005 land cover map for Mexico using 250 m MODIS data. *Remote Sens. Environ.* 123: 541-552.
- Currit, N. 2005. Development of a remotely sensed, historical land-cover change database for rural Chihuahua, Mexico. *Int. J. Appl. Earth Observat. Geoinformat.* 7: 232-247.
- de Chazal, J. and M. Rounsevell. 2009. Land-use and climate change within assessments of biodiversity change: A review. *Global Environ. Change* 19: 306-315.
- de Jong, B., C. Anaya, O. Masera, M. Olguín, F. Paz, J. Etchevers, R. D. Martínez, G. Guerrero, and C. Balbontín. 2010. Greenhouse gas emissions between 1993 and 2002 from land-use change and forestry in Mexico. *For. Ecol. Manage.* 260: 1689-1701.
- Diario Oficial de la Federación. 2014. Disponible en (<http://dof.gob.mx/ley-reg.php>). (Consulta: abril 30, 2014).
- EEA (European Environment Agency). 1994. CORINE Land Cover. Copenhagen K, Denmark.
- Elhag, M., A. Psilovikos, and M. Sakellariou-Makrantonaki. 2013. Land use changes and its impacts on water resources in Nile Delta region using remote sensing techniques. *Environ. Dev. Sustain.* 15: 1189-1204.
- EC (European Commission). 2014. European Union law, legislation. Disponible en (http://europa.eu/eu-law/legislation/index_es.htm). (Consulta: mayo 10, 2014).
- Fallas, J. (2002). Normas y estándares para datos geoespaciales. Laboratorios de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica. Escuela de Ciencias Ambientales y Programas Regional en Manejo de Vida Silvestre. Universidad Nacional Heredia, Costa Rica. Disponible en <http://www.una.ac.cr/ambi/telesig>. (Consulta: abril 30, 2014).
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2010. Evaluación de los recursos forestales mundiales: Informe Nacional México. Roma.
- Gómez-Mendoza, L., E. Vega-Peña, M. I. Ramírez, J. L. Palacio-Prieto, and L. Galicia. 2006. Projecting land-use change processes in the Sierra Norte of Oaxaca, Mexico. *Appl. Geogr.* 26: 276-290.
- Jiang, J. and G. Tian. 2010. Analysis of the impact of land use/land cover change on land surface temperature with remote sensing. *Proc. Environ. Sci.* 2: 571-575.
- Käyhkö, N., N. Fagerholm, B. S. Asseid, and A. J. Mzee. 2011. Dynamic land use and land cover changes and their effect on forest resources in a coastal village of Matemwe, Zanzibar, Tanzania. *Land Use Policy* 28: 26-37.
- Ley General de Asentamientos Humanos. 1993. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión Secretaría General. Secretaría de Servicios Parlamentarios. México. Disponible en: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/133.pdf>. (Consulta: abril 30, 2014).
- Ley General de Cambio Climático. 2012. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión Secretaría General. Secretaría de Servicios Parlamentarios. México. Disponible en: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC.pdf>. (Consulta: abril 30, 2014).
- Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. 2003. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión Secretaría General. Secretaría de Servicios Parlamentarios. México. Disponible

- en: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/259.pdf>. (Consulta: abril 30, 2014).
- Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. 1988. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión Secretaría General. Secretaría de Servicios Parlamentarios. México. Disponible en: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148.pdf>. (Consulta: abril 30, 2014).
- López, E., G. Bocco, M. Mendoza, A. Velázquez, and J. R. Aguirre-Rivera. 2006. Peasant emigration and land-use change at the watershed level: A GIS-based approach in central México. *Agric. Syst.* 90: 62-78.
- Lunetta, R. S., D. M. Johnson, J. G. Lyon, and J. Crowell. 2004. Impacts of imagery temporal frequency on land-cover change detection monitoring. *Remote Sens. Environ.* 89: 444-454.
- Martínez, M. L., O. Pérez-Maqueo, G. Vázquez, G. Castillo-Campos, J. García-Franco, K. Mehltreter, M. Equihua, and R. Landgrave. 2009. Effects of land use change on biodiversity and ecosystem services in tropical montane cloud forests of Mexico. *For. Ecol. Manage.* 258: 1856-1863.
- Mas, J. F., A. Velázquez y S. Couturier. 2009. La evaluación de los cambios de cobertura/uso del suelo en la República Mexicana. *Invest. Amb.* 1: 23-39.
- Massiris-Cabeza, A. 2002. Ordenación del territorio en América Latina. *Scripta Nova. Rev. Elect. Geogr. Cienc. Soc.* 6. ISSN: 1138-9788.
- Mendoza-González, G., M. L. Martínez, D. Lithgow, O. Pérez-Maqueo, and P. Simonin. 2012. Land use change and its effects on the value of ecosystem services along the coast of the Gulf of Mexico. *Ecol. Econom.* 82: 23-32.
- NASA (National Aeronautics and Space Administration). 2010. Landsat's critical role in urban planning: Hot times in the city. pp. 109-112. *In*: R. K. McHale (ed.). *Landsat and its valuable role in satellite imagery of earth*. Nova. New York, NY, USA.
- Oñate-Valdiviesco, F. and J. Bosque Sendra. 2010. Application of GIS and remote sensing techniques in generation of land use scenarios for hydrological modeling. *J. Hydrol.* 395: 256-263.
- Pouliot, D., R. Latifovic, N. Zabic, L. Guindon, and I. Olthof. 2014. Development and assessment of a 250 m spatial resolution MODIS annual land cover time series (2000–2011) for the forest region of Canada derived from change-based updating. *Remote Sens. Environ.* 140: 731-743.
- Rahman, A., S. Kumar, S. Fazal, and M. A. Siddiqui. 2012. Assessment of land use/land cover change in the north-west district of delhi using remote sensing and GIS techniques. *J. Indian Soc. Remote Sens.* 40: 689-697.
- Rogan, J., J. Franklin, and D. A. Roberts. 2002. A comparison of methods for monitoring multitemporal vegetation change using thematic mapper imagery. *Remote Sens. Environ.* 80: 143-156.
- Salas-Bourgoin, M., F. Delgado-Espinoza, Y. Esteva y M. Sampson-Sandia. 2008. La ordenación del territorio y la vocación de uso agrícola de la tierra en Venezuela. *Rev. Geogr. Venez.* 49: 267-288.
- Salvati, L., M. Munafo, V. Gargiulo Morelli, and A. Sabbi. 2012. Low-density settlements and land use changes in a Mediterranean urban region. *Landscape Urban Plan.* 105: 43-52.
- Srivastava, P. K., D. Han, M. A. Rico-Ramírez, M. Bray, and T. Islam. 2012. Selection of classification techniques for land use/land cover change investigation. *Adv. Space Res.* 50: 1250-1265.
- Stellmes, M., A. Röder, T. Udelhoven, and J. Hill. 2013. Mapping syndromes of land change in Spain with remote sensing time series, demographic and climatic data. *Land Use Policy* 30: 685-702.
- Tarantino, C., P. Blonda, and G. Pasquariello. 2007. Remote sensed data for automatic detection of land-use changes due to human activity in support to landslide studies. *Nat. Hazards* 41: 245-267.
- Zheng, D., L. S. Heat, and M. J. Ducey. 2008. Satellite detection of land-use change and effects on regional forest aboveground biomass estimates. *Environ. Monit. Assess.* 144: 67-79.