

La evaluación de los cambios de cobertura/ uso del suelo en la República Mexicana

Jean-François Mas,¹ Alejandro Velázquez¹ y Stéphane Couturier²

Resumen

Como muchos países tropicales, México presenta importantes procesos de cambio de uso/cobertura del suelo, dentro de los cuales destaca la deforestación. Como en la mayor parte del mundo, aún no existe en México la cultura de someter las bases de datos cartográficas a una evaluación rigurosa de su fiabilidad, lo cual abre la puerta a cuestionamientos y polémicas acerca de la calidad de los datos derivados de las mismas (superficies y tasas de cambio). En este artículo se presenta un análisis del cambio en la cobertura y uso del suelo, los ejercicios de evaluación de su calidad que lo acompañaron y se discute la importancia de estas evaluaciones.

Palabras clave

Cambio de coberturas del suelo, deforestación, sistemas de información geográfica, evaluación de la fiabilidad.

Abstract

As in many subtropical countries, important processes of land use / cover change, including deforestation, occur in the United States of Mexico. However, as in most countries of the world, submitting the data production process to a rigorous accuracy assessment is absent from cartographic practices in Mexico. This state of affairs opens the way to polemics about the quality of the information derived from these database (such as total surfaces and rates of change). This article presents an analysis of land use / cover change in Mexico, the accuracy assessment steps which backed up the analysis and a discussion about the importance of such assessments.

Key words

Land use/cover change, deforestation, Geographic information system, accuracy assessment.

¹ Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Antigua Carretera a Pátzcuaro No. 8701. Col. Ex-Hacienda de San José de La Huerta. C.P. 58190 Morelia, Michoacán, México.

² Laboratorio de Análisis Geoespacial-Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Circuito exterior s/n Ciudad Universitaria. C.P. 04510 Del. Coyoacán México DF, México.

INTRODUCCIÓN

Es indisputable que durante los últimos 50 años se transformaron los ecosistemas en magnitudes inimaginables. Entre los cambios más destacados se enlista la pérdida de la mitad de la cubierta forestal mundial oriunda, y la devastación o perturbación irreversible de 30% de los ecosistemas (www.millenniumassessment.org/en/index.aspx). El incremento poblacional (de un billón a finales del siglo XIX a 6.5 billones a principios de siglo XXI) aunado a las tasas de consumo son patrones asociados a estos procesos de degradación. ¿Dónde ocurren estos cambios, de qué magnitud son y cuáles serán los escenarios posibles, son preguntas recurrentes y relevantes para cada país? Esto es crucial para aquellos países donde por un lado se concentra la mayor riqueza natural y cultural así como las mayores tasas de pérdida y degradación de los ecosistemas (Los trópicos). Lambin *et al.* (2001), consideran que buena parte de estas preguntas se cubren en un análisis del cambio en la cobertura y uso del suelo (ACCUS). Vitousek y colaboradores (1997) documentan que este tipo de análisis permite entender las causas y consecuencias de las tendencias de los procesos de degradación, desertificación, disminución de la biodiversidad, y en general, pérdida del capital natural y cultural. Así, desde una perspectiva puramente académica resulta obvia la relevancia de las bases de datos de cambio de cobertura y uso del suelo para documentar los procesos antes descritos (Mas y Fernández 2003). A partir de éstas, se deducen escenarios sobre la pérdida del capital natural o biodiversidad, se generan modelos sobre los posibles efectos del cambio global y se fundamentan las estrategias de planificación de uso del suelo.

México no escapa de las tendencias mundiales antes descritas ya que dentro de sus casi dos millones de kilómetros cuadrados de superficie se observan una gran cantidad de cambios que en general están por arriba de la media mundial en cuanto a tasas de deforestación, incremento de las áreas de cultivo y pastoreo, expansión urbana y muchos otros bien documentados (Mas *et al.*, 2004; Sánchez-Colon *et al.* 2008). El análisis de cambio de cobertura y uso del suelo (ACCUS), por lo tanto, se ha convertido en México un insumo fundamental y las bases de datos tanto de los insumos como las derivadas del mismo análisis, no son perfectas. La evaluación de la calidad de la información es crucial y ocupa hoy día una posición central en las agendas de las instancias que deben su existencia a la generación de insumos propios para

elaborar ACCUS. En México, como en la mayor parte del mundo, aún no existe la cultura de someter una base de datos cartográfica a una evaluación rigurosa. A la fecha son prácticamente nulas las experiencias que incluyen un diseño estadísticamente robusto (Couturier y Mas 2009). Esta tarea es sin duda ardua dada la complejidad de condiciones que prevalecen en el territorio nacional (Couturier, 2007). Debido a la extensión del territorio, la topografía montañosa, la gran diversidad de tipos de coberturas vegetales, la fragmentación y la dinámica de los paisajes, la elaboración de cartografía sobre uso/cobertura del suelo en México es difícil. En su enorme superficie es todo un reto poder contar con insumos de la resolución espacial adecuada, dado que por un lado a una escala muy pequeña (*e.g.*, 1:1,000,000) se perdería la enorme cantidad de procesos locales sobre la dinámica de la cubierta y uso del suelo. Por otro lado, a una escala muy grande (1:50,000) resultaría muy costoso mantener la base de datos actualizada.

La tipificación y nomenclatura temática, a su vez, es un tema aparentemente resuelto pero no estandarizado. Las propuestas sobre sistemas de clasificación de la vegetación no han sido propiamente desarrolladas para hacerlas coincidir rigurosamente con las tipologías de coberturas y usos del suelo. De hecho, a menudo se confunden y con esto se acarrearán múltiples errores temáticos. El error referente al procesamiento y capacitación conlleva un supuesto para una solución fácil. El trabajo estrecho entre el experto en manejo de bases de datos geoespaciales (*e.g.*, el geógrafo o el geólogo) junto con el experto en estudios de vegetación y/o de usos del suelo (*e.g.*, biólogo o el agrónomo) conduciría a evitar dicha fuente de error. El supuesto, aunque trivial, no parece prevalecer en el ámbito académico en donde abundan experiencias con fuertes sesgos mono disciplinarios y los consecuentes errores inherentes al desconocimiento de alguna de las partes.

La mejor evidencia de lo antes descrito se muestra en la diversidad de tendencias de cambio publicadas, en especial sobre tasas de deforestación (Cuadro 1). Con base en Velázquez (2008) se observó que al menos existen 16 fuentes diferentes de tasa de deforestación para el país, que hay enormes inconsistencias entre cada una de las estimaciones y que las fuentes de error antes descrita no se han atendido de manera profunda.

Los estudios restringidos a una región generalmente permiten que las bases de datos puedan ser evaluadas por medio de un esquema de visitas a campo. Esto pue-

Cuadro 1. Comparación entre tasas de deforestación de México. La fila izquierda incluye datos reportadas por académicos, mientras que la fila de la derecha contiene datos derivados de instancias de gobierno o de FAO (modificado de Velázquez 2008)

Fuentes académicas		Fuentes oficiales	
Fuente	Tasa (ha/alo)	Fuente	Tasa (ha/año)
Repetto, 1988	460,000	CONAFOR, 2004	260,000
Masetta et al., 1997	668,000	SEMARNAT, 2006	365,000
Velázquez et al., 2002	550,000	SARH, 1992	365,000
Myers, 1989	700,000	SARH, 1994	370,000
Castillo et al., 1989	746,000	FAO, 1997	508,000
Toledo, 1989	1,500,000	FAO, 1988	615,000
Crainger, 1984	1,600,000	FAO, 1995	678,000
Sánchez et al., 2008	484,000	FAO (Torres), 2004	775,800
Media	838,500	Media	492,100
Desviación estándar	451,417	Desviación estándar	181,851

de ayudar a reducir los errores antes descritos ya que, en general, se utilizan insumos de alta resolución como las fotografías aéreas y el trabajo de campo, que permiten discernir mejor entre las categorías. No obstante, las experiencias divergen tanto en sus métodos como en sus resultados (Cuadro 2), lo que pone en evidencia que ni los métodos, ni las bases de datos están exentos de incertidumbres o errores.

Una regla general es que la gran mayoría de los datos tanto del cuadro 1 como del cuadro 2 (con sus decorosas excepciones como lo son las bases de datos del INEGI, las producidas por la UNAM y las de reciente elaboración de la SEMARNAT) deriven de extrapolaciones sin representación cartográfica. Sin una expresión cartográfica, resulta difícil entender la relación entre los procesos de cambio (causas, efectos, escenarios probables) y los fenómenos asociados, tales como ciclo hidrológicos, fragmentación de los hábitat, pérdida de biodiversidad, emisión de carbono, pérdida de servicios ambientales entre muchos otros temas de relevancia económica y social (Pérez Vega 2008, Ghilardi Álvarez 2008, Soares Filho *et al.* 2006, Masera *et al.* 2005). Resulta también imposible llevar a cabo una evaluación de la fiabilidad de las estimaciones de la tasa de cambio.

El análisis cartográfico de los cambios de cobertura y uso del suelo se obtiene a través de la comparación de mapas de diferentes fechas. Esta comparación cartográfica es una operación sencilla desde la plataforma de un sistema de información geográfica (SIG): al sobreponer dos mapas de diferentes fechas se obtienen

los tipos de cambio, su superficie y localización. Sin embargo, en la práctica este método puede conducir a una sobre-evaluación de los cambios ya que los errores temáticos (polígonos con atributos erróneos) y de posición (delimitación incorrecta de los polígonos o desfases) crean falsos cambios (Mas y Fernández 2003). Han sido propuestos diversos métodos para detectar y aminorar estos problemas (Aspinal y Pearson 1995, Carmel *et al.* 2001, Mas 2005, Pontius 2001 y 2002, Pontius y Lippitt 2006). A la fecha, aún no existe el hábito de evaluar la confiabilidad de los mapas (mapas de cobertura/uso del suelo para una fecha o mapa de cambio) y esto se considera la principal limitante a la presentación de datos robustos sobre cambios (Couturier y Mas 2009). La confiabilidad de un mapa es el grado de correspondencia entre los fenómenos geográficos *in situ* y sus representaciones en el mapa. La confiabilidad de mapas de cambio se evalúa a través de la comparación de la información del mapa con información de referencia de mayor detalle que los insumos utilizados para generar dicho mapa (típicamente se usan fotografías aéreas y datos de campo para evaluar un mapa elaborado con base en imágenes de satélite tipo Landsat, por ejemplo).

Con base en lo anterior, este artículo tiene dos objetivos: 1) presentar un ACCUS basado en la comparación cartográfica entre las bases de datos del INEGI (serie I y II, de 1976 y 1993, respectivamente) y la del Inventario Forestal Nacional 2000 (Palacio *et al.* 2000) y; 2) analizar los esfuerzos realizados para evaluar la calidad informativa de estas bases de datos.

Cuadro 2. Tasa de deforestación derivadas de estudios regionales por tipo de cobertura y para cada periodo evaluado (tomado de Flamenco 2007). Todas las tasas reflejan pérdida a pesar de ser denotadas por números positivos

Fuente	Cobertura	Tasa
Selvas		
Mas et al., 1996	Selva alta y mediana	8.7 (1982-1992)
Mas et al., 1996	Selva baja	10.4 (1982-1992)
Trejo y Dirzo, 2000	Selva baja caducifolia (escala local)	1.4 (1973-1989)
Bocco et al., 2001	Selva baja caducifolia	1.0 (1975-1993)
Cuarón, 1991	Selva tropical húmeda	7.7 (1974-1986)
Dirzo y García, 1992		4.2 (1967-1976)
		4.3 (1976-1986)
		8.15 (1974-1984)
Mendoza y Dirzo, 1999		7.9 (1984-1991) ^a
Cortina et al., 1998	Selvas, sabana y vegetación secundaria	0.24 (1975-1984)
		0.04 (1984-1990)
Bosques		
Bocco et al., 2001	Bosque templado	1.8 (1975-1993)
Mas et al., 1996	Bosque de pino	2 (1982-1992)
Mas et al., 1996	Bosque de pino-encino	2 (1982-1992)
Mas et al., 1996	Bosque de encino	3.4 (1982-1992)
Mas et al., 1996	Oyamel	2.4 (1982-1992)
Mas et al., 1996	Bosque de táscate	10.1 (1982-1992)
Mas et al., 1996	Mesófilo	10.1 (1982-1992)
Otras transformaciones		
Ramírez-García et al, 1998	Manglar	1.4 (1970-1993)
Cortina et al., 1998	Agricultura mecanizada	5.22 (1975-1984)
		1.39 (1984-1990)
	Agricultura manual	1.38 (1975-1984)
		0.99 (1984-1990)

a Estos valores se obtuvieron en cuadrantes de 5 x 5 km catalogados como áreas de alta deforestación. Sin embargo, las tasas calculadas para la región son de 2.1% para el periodo 1974-84 y 1.6% para 1984-91.

MATERIALES Y MÉTODOS

Insumos, homologación y corrección

Se llevó a cabo una revisión de la cartografía de acceso público a nivel nacional con el fin de seleccionar mapas compatibles en cuanto al sistema clasificatorio, la escala y los métodos de clasificación. De esta naturaleza existían cuatro bases de datos sobre uso del suelo y vegetación a nivel nacional y a una escala semi-detallada

(1:250,000).¹ Dos provienen del INEGI y se les denomina Series I (1968-1986) y II (1993-1996). La calidad de la información del INEGI es ampliamente reconocida aunque ninguna de estas dos bases de datos ha sido sometida a un análisis riguroso de su confiabilidad. Las otras dos provienen de la cartografía de los inventarios nacionales forestales (uno en 1994 y otro en el 2000) realizados por el Instituto de Geografía de la UNAM (Sorani y Álvarez 1996, Palacio et al. 2000). De estas

¹ Posteriormente a la fecha de realización de este estudio, el INEGI publicó el mapa de uso del suelo y vegetación serie III.

dos últimas, el IFN 2000 fue sometido a evaluaciones estadísticamente rigurosas pero parciales, en el norte del país (Mas *et al.* 2001, Peralta-Higuera *et al.* 2001) y en cuatro regiones representando una amplia gama de ecosistemas forestales del país (Couturier y Mas 2009). Los resultados de esta última evaluación se presentan más adelante. Las particularidades de cada una de estas bases de datos, sus bondades, limitaciones y diferencias se encuentran en Velázquez *et al.* (2002), Mas *et al.* (2004), SEMARNAT (2005) y Sánchez-Colon *et al.* (2008).

La diversidad de categorías cartográficas de las Series I y II del INEGI (INEGI 1980) se homologó al sistema clasificatorio IFN 2000. Eso consistió en agrupar en cuatro niveles a las más de 300 categorías de la Serie I y a las más de 600 de la Serie II. Así se procedió a hacer una comparación preliminar con énfasis en tres aspectos: El primer aspecto fue la evaluación de la confiabilidad de la digitalización de la Serie I, con base en 100 puntos aleatorios para los cuales se comparó la versión digital y los mapas impresos; el segundo aspecto fue la identificación de cambios improbables a partir de los cruces entre mapas. Un caso ilustra que los “Pastizales alpinos”, por ejemplo, nunca pudieron haber sido transformados a una “Selva” o a un “Manglar”. Cuando había incongruencias se recurrió a la imagen que fue la fuente de información para hacer el re-etiquetamiento correspondiente. El tercer aspecto consistió en que se decidió trabajar con los niveles superiores de agregación ya que las categorías menores encierran una mayor afinidad y por ende mayor probabilidad de error. Las diferencias entre “Bosques de pino” y “Bosques de pino-encino” son discutibles y para tal fin, ambas quedaron en la categoría de bosques. Los detalles de cada una de estas operaciones y su programación en la plataforma SIG se presentan en Mas *et al.* (2004).

Una vez homologados y corregidos los insumos de diferentes fechas se cruzaron en el sistema de información geográfica para generar mapas y matrices de cambio. Las tasas de cambio se calcularon utilizando la siguiente ecuación (Nascimento 1991):

$$t = 1 - ((S_1 - S_2)/S_1)^{(1/n)} - 1$$

Donde: “*t*” es la tasa de cambio, “*S*₁” la superficie en la fecha 1, “*S*₂” la superficie en la fecha 2 y “*n*” el número de años del periodo estudiado (fecha 1 – fecha 2).

Evaluación de confiabilidad

La evaluación de la confiabilidad de las bases de datos y el cambio resultante de sus cruces se realizó en dos etapas.

La primera etapa se realizó en cuatro áreas eco-geográficas de México (Couturier 2007 y Couturier y Mas 2009). Estas áreas están caracterizadas por diferentes situaciones de cobertura vegetal y de uso de suelo, representando, hasta cierto punto, la complejidad del territorio nacional. Dos áreas mayoritariamente templadas, la cuenca cerrada del lago de Cuitzeo (referida después como Cuitzeo), y la región del Pico de Tancítaro; un área con condiciones cálido-húmedas (región de Los Tuxtlas) y una con climas sub-húmedos (cuenca del río Candelaria). Las áreas del Pico Tancítaro y del río Candelaria se caracterizan por la dominancia de cobertura naturales arbóreas (con y sin manejo intensivo humano, respectivamente). Las regiones de Cuitzeo y de Los Tuxtlas están caracterizadas por modificaciones antrópicas por cultivo anual y uso agropecuario, respectivamente. El insumo base para la verificación en cada área eco-geográfica fue la fotografía aérea (el archivo INEGI para dos áreas y vuelos independientes para las restantes).

La segunda etapa fue a partir de dos áreas piloto a) la región del sureste de México (16,200,000 de has) y b) el Estado de Michoacán (6,000,000 de has); lo que equivale al 12% de la superficie terrestre del país con excelente representatividad para la mayoría de los ecosistemas. Para este fin se construyeron dos bases de datos: una que fue resultado de los mapas de cambio derivadas del cruce (llamada contextual) y otra independiente con base en fotografías aéreas del INEGI escala 75,000 y las fotografías aéreas digitales tomadas en el ámbito del IFN 2000 (Peralta-Higuera *et al.* 2001), denominada de referencia. Con base en un muestreo aleatorio (por basarse en una tabla de números al azar) estratificado (para incluir un número suficiente de sitios de verificación para cada categoría independientemente de su superficie, ver Stehman y Czaplewski 1998) se seleccionaron 43 y 55 pares (dos fechas diferentes) de fotografías de un mismo sitio para el sureste y Michoacán, respectivamente. Para cada sitio correspondiendo a un par de fotografías, se hizo la interpretación visual de las fotografías y se estimó la proporción de cada proceso de cambio. Los datos se analizaron a través de matrices de confusión considerando dos enfoques, a) el enfoque Booleano, en el cual se consideró que un sitio de verificación está correctamente

clasificado únicamente cuando el proceso de cambio con la mayor superficie en la foto (base de datos de referencia), corresponde con el proceso de cambio con mayor superficie en el mapa de cambios (base de datos contextual), y b) el enfoque difuso (“fuzzy”) en el cual, los sitios de verificación donde coincidieron con más de 40% de la superficie un mismo proceso tanto en el mapa de cambios como en las fotos, se consideraron aceptables (Woodcock y Gopal 2000).

Para ambas etapas, el grado de confiabilidad se expresó en tres índices: el de la confiabilidad global (proporción del mapa correctamente clasificado); el de la confiabilidad del usuario (que mide la proporción de sitios de cierta categoría en el mapa que están correctamente clasificados al ser verificados en la base de datos de referencia); y el de la confiabilidad del productor (proporción de sitios de cierta categoría en las fotografías que están correctamente clasificados en la base de datos contextual). Debido a que el muestreo fue aleatorio estratificado, para calcular los índices de confiabilidad sin sesgo, las matrices fueron ponderadas con la proporción que ocupó cada categoría en el mapa según el método propuesto por Card (1982). Estos cálculos permiten evaluar el intervalo de confianza alrededor de la estimación de la confiabilidad (los detalles metodológicos se presentan en Mas y Couturier 2009). Los resultados se discuten a la luz de las ventajas y limitaciones de las diversas bases de datos existentes.

RESULTADOS

Homologación y corrección

El proyecto del IFN 2000 incluyó la construcción de un marco conceptual que asegurara la compatibilidad temática con las bases de datos existentes. Para el año 2000 no existía en el país una conformación de leyenda que resolviera la amplia diversidad de tipos de vegetación y su potencial de ser delineados en cartas a escala 1:250,000. Para INEGI la cantidad de categorías entre sus series divergía enormemente ya que la Serie I consideró más de 300 y la Serie II más de 600. Las leyendas, no obstante, presentan categorías de coberturas que hacen compleja la organización y estandarización. Por ejemplo:

1. El uso de términos toponímicos (v. gr. Matorral Tamaulipeco)
2. El uso del género arbóreo dominante antes de la fenología (v. gr. bosque de encino con al me-

nos tres connotaciones, caducifolia, perenne y subperennifolia)

3. El uso de la condición mesoclimática (v. gr. bosque mesófilo, matorral xerófilo, vegetación de desiertos áridos)
4. El uso de términos geomorfológicos o fisiográficos (v. gr. dunas costeras, vegetación de desiertos áridos arenosos)
5. El usos de nombres o vocablos locales tales como: “tetechera”, “nopalera”, “popal”, “tular”, “izotal”, “carrizal”, entre otros

La segunda tarea fue referente a la jerarquización, es decir, conceptos como bioma, tipo de vegetación, formación vegetal, comunidad vegetal, asociación y otros (usados de manera distinta por cada autor y no incorporados en la construcción de las leyendas del INEGI) fueron sistematizados y a partir de estos se propuso un sistema jerárquico que prevalece hasta hoy día. Se puso además énfasis en adaptar el alcance temático de este sistema jerárquico con la capacidad de discernimiento del soporte de percepción remota (imágenes Landsat), lo que no había sido un énfasis de la estrategia de mapeo de la Serie II.

Otro aspecto del IFN 2000 que tuvo implicaciones en la calidad de la información fue la estrategia metodológica para la obtención, corrección geométrica, mejoramiento, visualización e impresión del insumo principal (Landsat ETM+). Para el procesamiento de los insumos se construyó una base de datos de puntos de control (derivada de las cartas topográficas de INEGI escala 1: 50,000) para asegurar que los posibles errores por distorsión y desplazamiento no fueran mayores a los recomendables para la escala de trabajo (\leq a 50 metros). Para la delineación de polígonos se contó con la asesoría y supervisión de expertos regionales, siempre uno del INEGI para asegurar la comparabilidad y uno de alguna institución académica. Los aspectos más innovadores y rigurosos se generaron con las metodologías propias para evaluar y corregir errores de etiquetamiento y de incompatibilidad de polígonos vecinos (Palacio *et al.* 2000).

Análisis de procesos de deforestación

Los mapas de 1976, 1993 y 2000 se cruzaron para generar dos mapas de cambio para los periodos 1976-1993 y 1993-2000 de los cuales se derivaron los mapas, las matrices y las tasas de cambio. En la figura

Figura 1. Superficie (km²) de los principales tipos de vegetación y uso del suelo en 1976, 1993 y 2000. B: bosque; S: selva; M.: matorral; P.N.: pastos naturales; Pz: pastizales; C: cultivos

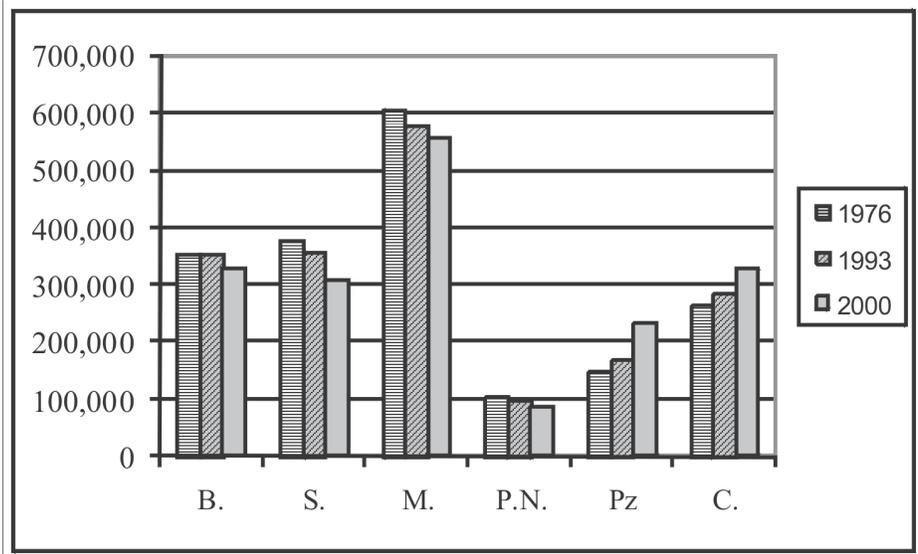
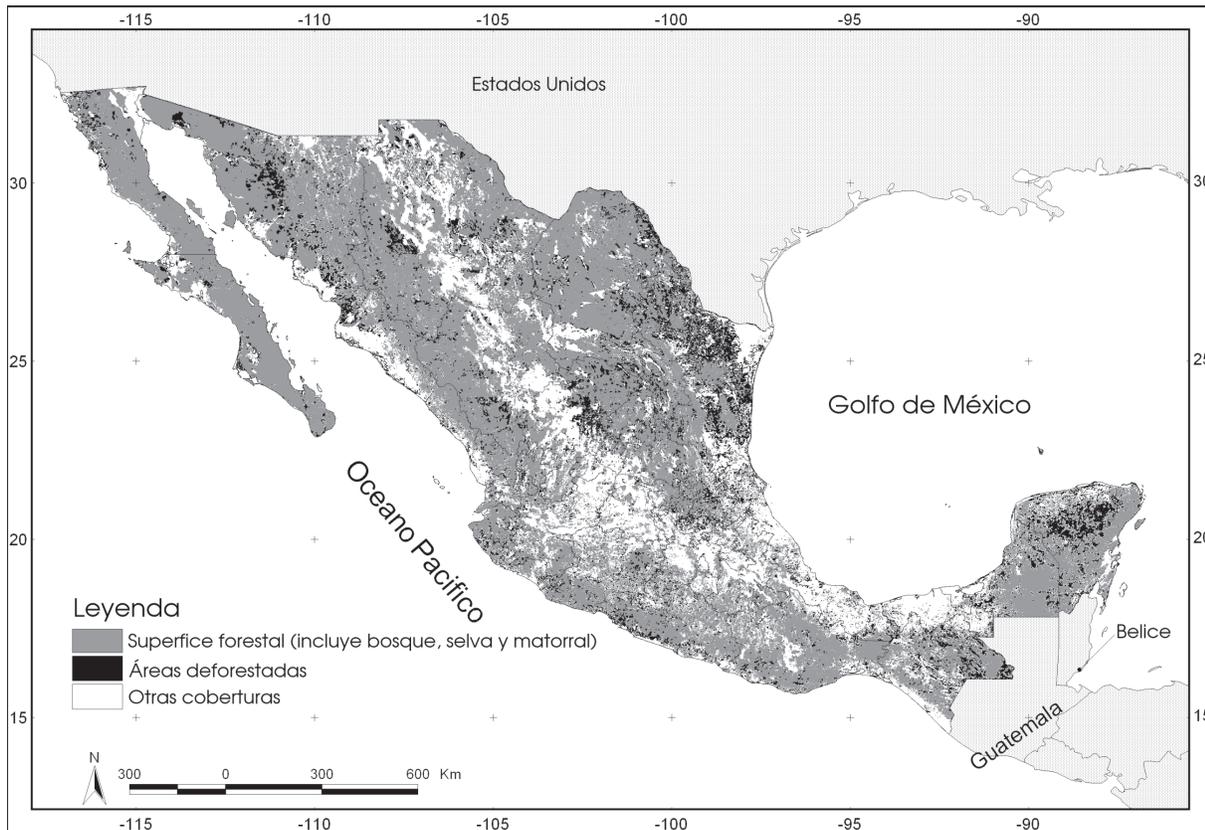


Figura 2. Mapa de deforestación (1976-2000)



1 se presentan las superficies de los principales tipos de vegetación y uso del suelo. Se puede observar un importante incremento de los pastizales y cultivos, así como un importante decremento de las áreas forestales. Entre 1976 y 2000 fueron más de 20,000 km² de bosque, 60,000 km² de selva y 45,000 km² de matorrales desmontados, lo que representa tasas de deforestación de 0.25, 0.76 y 0.33 % por año, respectivamente. La figura 2 representa la distribución espacial de las áreas forestales y deforestadas. Para fines de claridad en la representación en blanco y negro, se juntaron bosques templados, selvas y matorrales en una sola categoría. Se puede observar que la deforestación fue particularmente elevada en ciertas regiones.

Evaluación de la confiabilidad fase I

En el cuadro 3 se presentan los índices globales y por categoría de la confiabilidad del mapa del IFN 2000 para cada área eco-geográfica.

Observamos que las categorías “manglar” y “otros tipos de cobertura” (sin vegetación aparente, cuerpo de agua y asentamiento humano) están cartografiadas con muy alta confiabilidad (generalmente superior a 79%). Por lo contrario, se pueden registrar altos niveles de error en las categorías de vegetación acuática no arbolada (popal-tular y vegetación halófila). En contraste con las altas confiabilidades generalmente obtenidas para las categorías cartografiadas de vegetación poco modificada (categorías sin “vegetación secundaria”), numerosos errores afectan las categorías de vegetación muy modificada (categorías denominadas “con vegetación secundaria”). Por ejemplo, en Cuitzeo, las categorías matorral subtropical (78%), bosque de pino-encino (97%), bosque de encino (92%), bosque de pino (79%) y bosque de oyamel (76%) se encuentran muy confiables, mientras las categorías de bosque de encino con vegetación secundaria (46%), pino con vegetación secundaria (12%) y bosque mixto con vegetación secundaria (45%) están cartografiadas con baja confiabilidad. Tanto desde el punto de vista taxonómico como de los elementos del paisaje, las categorías de vegetación muy modificada se encuentran cercanas a categorías de uso de suelo y a categorías de vegetación poco modificada. Por lo tanto, son más propicias a confusión con otras categorías que las categorías de vegetación

poco modificada. Esta baja confiabilidad arroja retos de mejoramiento de la futura cartografía por la importancia que reviste la vegetación muy modificada en estudios de degradación de los ecosistemas.

Los índices globales de confiabilidad (IGC) al nivel de subcomunidad por área eco-geográfica oscilan entre 64.4% (Candelaria) y 77.9% (Los Tuxtlas), los cuales se revelan muy aceptables comparados con niveles de confiabilidad registrados en las pocas evaluaciones estadísticamente válidas de mapas regionales en el mundo (Couturier y Mas 2009). Por ejemplo, el IGC del IFN2000 en las dos áreas densamente forestadas (Tancítaro y Candelaria), de 64.4% y 67.3%, es comparable con el resultado de un estudio con alto número de clases de bosque, en Canadá (67%, véase Wulder *et al.* 2007). Por otra parte, los valores de IGC en las áreas en donde prevalecen clases de uso de suelo (Cuitzeo y Los Tuxtlas), de 74.6% y 77.9%, son comparables con el resultado del estudio de la cartografía Corine Land Cover 2000 (Büttner y Maucha 2006), enfocada en usos de suelo, en Europa (74.8%), y con el resultado de TREES2000 en Asia del Sur y Sureste (72%, véase Stibig *et al.* 2007), y superan el rango del estudio estadísticamente válido en las regiones administrativas de los Estados Unidos de América (46% a 66%, véase Stehman *et al.* 2003). Un análisis comparativo más detallado entre las evaluaciones se puede consultar en Couturier y Mas (2009).

Evaluación de la confiabilidad fase II

En el sureste, la fiabilidad global obtenida a través del enfoque booleano fue de 72.6% y con el enfoque difuso de 88% considerando solo tres procesos: permanencia forestal, permanencia antrópica y deforestación (Cuadros 4 y 5) (Díaz-Gallegos y Mas 2008). En el estado de Michoacán, la fiabilidad global del mapa de cambio alcanzó 68 y 85% (enfoque Booleano y difuso, respectivamente) considerando cuatro procesos de cambio (permanencia de coberturas forestales, permanencia antrópica, deforestación y recuperación de vegetación natural) (Fernández 2006).

En la evaluación de la fiabilidad del mapa de cambio solo se verificaron un número limitado de sitios (43 y 55) por lo cual los intervalos de confianza alrededor de la estimación de fiabilidad es grande (Cuadro 6).

Cuadro 3. Índices de confiabilidad (del usuario y del productor) por categoría del inventario forestal nacional (nivel comunidad con alteración) en las cuatro zonas eco-geográficas

Código	Nombre de la categoría	Nivel de confiabilidad con alteración	Cuitzeo		Tancítaro		Tuxtla		Candelaria		Área total por categoría (km ²)
			usuario	productor	usuario	productor	usuario	productor	usuario	productor	
100	Agricultura de riego	Agricultura	87	90	22	23					578.42
110	Agricultura de humedad		63	75							19.04
130	Pastizal cultivado						83	90	69	78	3748.01
200	Agricultura de temporal permanente		99	100	86	84	57	9			415.13
210	Agricultura de temporal anual		71	78	87	64	52	99	75	9	1658.51
300	Plantación forestal		83	33							28.24
410	Bosque de oyamel	Bosque templado	76	100							14.72
420	Bosque de pino		79	59	41	44	85	31			229.67
421	Bosque de pino & veg sec		12	5	8	44	0	-			97.90
510	Bosque de pino-encino		96	92	77	67					624.82
511	Bosque de pino-encino & veg sec		45	68	56	55	6	83			301.31

Cuadro 3. Continúa

Código	Nombre de la categoría	Nivel formación	Cuitzeo		Tancítaro		Tuxtías		Candelaria		Área total por categoría (km ²)
			usuario	productor	usuario	productor	usuario	productor	usuario	productor	
600	Bosque de encino		92	40	-		28	32			96.32
601	Bosque de encino & veg sec		46	95	5	100	70	82			236.20
700	Bosque mesófilo de montaña	Bosque tropical	0	-			100	100			22.51
800	Selva med y alta perennifolia						92	66			368.43
801	Selva med y alta perennifolia & veg sec						63	42			88.56
820	Selva med y alta sub-perennifolia								70	89	5595.31
821	Selva med y alta sub-perennifolia & veg sec								55	45	982.82
830	Selva baja sub-perennifolia								52	61	1971.60
831	Selva baja sub-perennifolia & veg sec								32	1	27.57
920	Matorral sub-tropical	Matorral	78	29							77.58

Cuadro 3. Continúa

Código	Nombre de la categoría	Nivel formación	Cuitzeo		Tancitaro		Tuxtías		Candelaria		Área total por categoría (km ²)
			usuario	productor	usuario	productor	usuario	productor	usuario	productor	
921	Matorral sub-tropical & veg sec		88	63							307.25
1200	Chaparral			-							0.00
1320	Sábana	Pastizal							22	-	120.13
1330	Pastizal inducido		60	91	36	66	69	11	67	26	686.80
1400	Manglar	Vegetación higrófila					86	99	87	96	87.08
1410	Popal-tular		47	68			53	100	70	44	340.60
1510	Vegetación halófila	Otro tipo de vegetación	25	21					9	41	71.34
1600	Sin vegetación aparente	Otro tipo de cobertura		0	82	92	87	100			51.54
1700	Asentamiento humano		100	63	97	88	92	92	80	72	163.62
1800	Cuerpo de agua		89	92			100	98	48	96	462.87
	Total		74.6		67.3		77.9		64.4		19475.41

Cuadro 4. Matriz de confusión para el sureste de México (enfoque booleano)

Mapa de cambio \ Sitio de verificación	1	2	3	Total	Fiabilidad del productor (1 - error de omisión)
Sitios de verificación					
1. Coberturas antrópicas sin cambio	0.142	0.017	0.058	0.216	0.65
2. Deforestación		0.137	0.115	0.252	0.54
3. Bosques sin cambios	0.035	0.034	0.462	0.531	0.87
Total	0.177	0.188	0.635		
Fiabilidad del usuario (1 - error de comisión)	0.80	0.73	0.73		Fiabilidad global 0.74

Cuadro 5. Matriz de confusión para el sureste de México (enfoque difuso)

Mapa de cambio \ Sitio de verificación	1	2	3	Total	Fiabilidad del productor (1 - error de omisión)
Sitios de verificación					
1. Coberturas antrópicas sin cambio	0.157	0.008	0.058	0.223	0.70
2. Deforestación	0.020	0.155		0.175	0.89
3. Bosques sin cambios		0.025	0.577	0.602	0.96
Total	0.177	0.188	0.635		
Fiabilidad del usuario (1 - error de comisión)	0.89	0.82	0.91		Fiabilidad global 0.89

DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

Consecuencias de la falta de evaluación para la cartografía del IFN2000

El mapa del IFN no está exento de error dado que existen limitaciones que deben considerarse. Por ejemplo la falta de un mecanismo de verificación completa y expedita al momento de ser liberado obligó a depender de la Serie

II como única fuente de información para la asignación de etiquetas a cada polígono. Los errores fueron diversos y a la luz del tiempo se han detectado que para ciertas regiones como el centro occidente (Oaxaca, Guerrero, Michoacán y Jalisco), así como para regiones del sureste (Yucatán y Quintana Roo), los errores fueron más notorios sin llegar a ser significativamente importantes (Mas y Fernández, 2003; Velázquez *et al.* 2003).

Un punto de confusión adicional lo representa el nivel taxonómico de mayor detalle de la leyenda utilizada

Cuadro 6. Valores estimados de la fiabilidad y sus respectivos intervalos de confianza (enfoque difuso)

Tipo de cambio	Fiabilidad del productor (%)	Medio intervalo de confianza (%)	Fiabilidad del usuario (%)	Medio intervalo de confianza (%)
1. Coberturas antrópicas sin cambio	70.4	34.8	88.7	19.6
2. Deforestación	88.6	15.3	82.4	15.9
3. Bosques sin cambios	95.8	17.7	90.9	17.0

Cuadro 7. Comparación entre estadísticas derivadas del IFN 2000 y la Serie III de INEGI (2003)

	IFN 2000 (%)	Serie III (%)	Diferencia (%)	Diferencia (ha)
Bosques	16.9	17.6	-0.7	-1,302,616
Selvas	15.9	16.2	-0.4	-699,029
Matorrales	28.5	26.2	2.3	4,507,257
Pastizales	9.7	5.3	4.4	8,553,469
Cultivos	23.5	27.5	4.0	-7,775,881

en el IFN 2000 (nivel denominado subcomunidad). Se intentó incluir en este nivel un grado de dominancia de alta o baja modificación antrópica (con o sin vegetación secundaria) para aquellas coberturas de vegetación que podían ser clasificadas como tal. La nomenclatura de dicho nivel y su rigurosa aplicación para cada una de las categorías presentaron deficiencias de inteligibilidad para los lectores ajenos al proceso mismo de categorización de los polígonos, y deficiencias de confiabilidad a la luz de los resultados presentados de confiabilidad por clase (la cartografía de las coberturas “con vegetación secundaria” resulta poco confiable).

Otra limitación de la ausencia de un esquema de evaluación del mapa IFN 2000 fue la carencia de un análisis de intervalos de error estadístico, propio de la escala y que se puede derivar de los ejercicios de evaluación. Esta carencia no permitió que se generaran escenarios prospectivos confiables al momento de la entrega y obligó a presentar la información como un dato “duro” a pesar de conocer las posibles fuentes de error. Las superficies reportadas en este estudio, no obstante, fueron comparables con las estadísticas publicadas para los tres grupos de leñosas del país. Se observan diferencias importantes en los pastizales naturales y los cultivos (que incluyen a los asentamientos humanos dentro de la categoría). Para los primeros el IFN reporta por arriba de 8 millones de lo reportado por la Serie III; mientras ésta última base de datos reporta que los cultivos cubren una extensión de

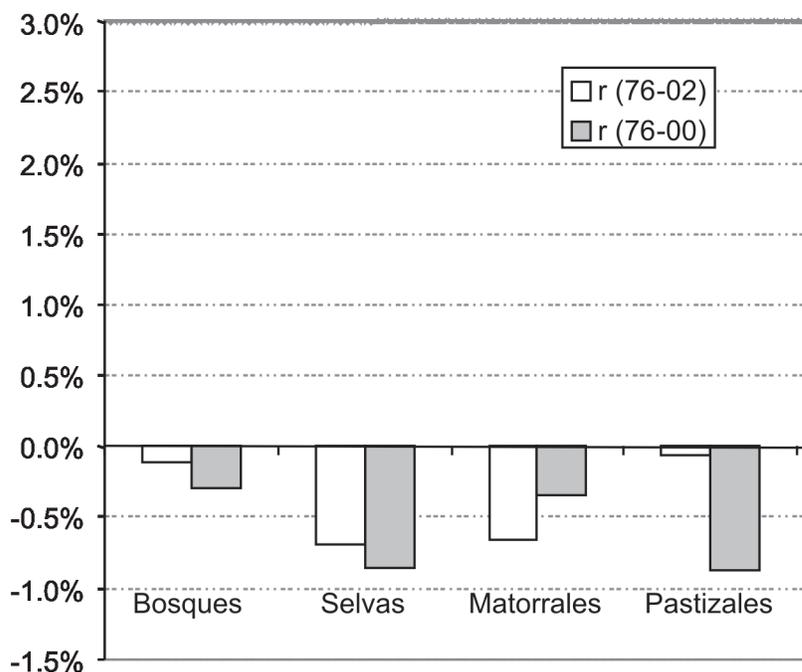
más de 7 millones por arriba a lo reportado por el IFN 2000 (Cuadro 7).

El análisis de cambio de uso del suelo derivado del IFN 2000

Por mandato del INE-SEMARNAT, el Instituto de Geografía-UNAM entre el 2001 y 2002 realizó una investigación enfocada a comparar (cartográfica y estadísticamente) las bases de datos disponibles a escala 1:250,000 para poder obtener predicciones que describieran la dinámica de la cubierta del suelo y por ende las tasas de pérdida del capital natural (Velázquez *et al.* 2002). Para fines de este estudio resulta relevante destacar que por primera vez en la historia del país y por iniciativa de dependencias oficiales (INEGI, SEMARNAP e INE), se pudo llevar a cabo un análisis de cambio de uso de suelo basado en información con expresión cartográfica robusta, compatible en sus leyendas y comparable en sus escalas. Entre los resultados más conspicuos, se cita que las tasas de cambio de mayor grado de confianza se observaron al tomar la Serie I como base de datos de referencia. La serie II aún mostraba muchas incongruencias para poder considerarse una base de datos adecuada para un cálculo robusto (Velázquez *et al.* 2002)².

2 El INEGI elaboró posteriormente una versión reestructurada (serie IIR).

Figura 3. Tasas de cambio (% por año) comparativas entre la Serie I del INEGI (1976) como base de referencia y el IFN 2000 y la Serie III del INEGI (2002)



Con base en lo anterior, resulta interesante comparar lo que resultó de los cruces entre la Serie I, el IFN 2000 y la Serie III. Para hacerlo más objetivo se calcularon las tasas de cambio (eje vertical) y los resultados (figura 3) mostraron que las tasas derivadas de la comparación con el IFN son superiores para los bosques, selvas y pastizales; y más bajas para los matorrales y los cultivos (que incluyen a los asentamientos humanos dentro de la categoría).

Las diferencias aunque pequeñas nos dejan ver tendencias diferentes. Sánchez Colón et al. (2008) documentaron en detalle la condición y tendencias de los ecosistemas de México con base en la comparación de las series I, II y III del INEGI. En este estudio se observa que en la última década las tasas de pérdida de las cubiertas naturales se han disminuido drásticamente comparadas con lo que se reporta antes de los 70 y entre los 70 y los 90. El estudio de Mas et al. (2004) no hace dicha distinción pero se infiere de sus bases de datos que las tasas más que disminuir se han estabilizado.

Consecuencias de la falta de evaluación para el análisis nacional de cambios de uso del suelo

Una de las políticas que merece una reflexión profunda es el tema de conservación ya que es deseable que una buena base de datos pueda contribuir a desarrollar políticas de conservación *ad hoc* para cada tipo de vegetación y ponderadas para cada región de un país como México.

Para fines de elaboración de escenarios en el país las dos situaciones consideradas en este trabajo resultan contrastantes y merecen ser evaluadas antes de que una u otra de las dos sea adoptada como verdad irrefutable. Por lo tanto, las bases de datos futuras deben por convicción contar con un mecanismo de evaluación de su calidad de información. Tal evaluación permite no solamente conocer el grado de fiabilidad con el cual el mapa presenta la distribución de las coberturas del suelo, o los cambios de cobertura, sino también sus sesgos y defectos específicos. Sólo así, se podrán atender de manera rigurosa los aspectos de la planificación territorial o mejor conocido en México como el proceso de Ordenamiento Ecológico Territorial (OET). Hoy día no menos de la mitad de los insumos en sus fases de diagnóstico o caracterización, de integración o análisis y de pronóstico o proyección, re-

curren al uso de la cartografía de los tipos de vegetación para entender la condición, la tendencia y el potencial de uso de un territorio.

México tendrá que apostarle a contar con bases de datos congruentes y con una sólida expresión territorial o permanecer al margen de poder profundizar en el conocimiento del territorio y la generación de información que coadyuve a definir estrategias y políticas de manejo y conservación de los recursos naturales y culturales en tiempo real.

AGRADECIMIENTOS

Parte de este estudio se llevó a cabo en el ámbito del proyecto Regionalización ecológica a nivel regional: Análisis del cambio de uso del suelo (Instituto de Geografía - Instituto Nacional de Ecología (INE) y del proyecto SEP-CONACyT Un sistema de monitoreo de la deforestación en México (clave 47198).

BIBLIOGRAFÍA

- Aspinal, R.J. y D.M. Pearson. 1995. Describing and managing uncertainty of categorical maps in GIS. En: P Fisher. *Innovations in GIS 2*. Taylor and Francis, Londres.
- Bocco, G., M. Mendoza y O. Masera. 2001. La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. *Investigaciones Geográficas* 44:18-38
- Büttner, G. y G. Maucha. 2006. The thematic accuracy of CORINE Land Cover 2000: Assessment using LUCAS. Reporte técnico de la Unión Europea, Report No7. Disponible en: <http://reports.eea.europa.eu>. Consultado en marzo de 2007.
- Card, H.D. 1982. Using known map category marginal frequencies to improve estimates of thematic map accuracy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 48(3): 431-439.
- Carmel Y., D.J. Dean y H. F. Curtis. 2001. Combining Location and Classification Error Sources for Estimating Multi-Temporal Database Accuracy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 67(7): 865-872.
- Castillo Santiago, M.A., G. García-Gil, I.J. March, J.C. Fernández, E. Valencia, M. Osorio y A. Flamenco. 1998. Diagnóstico geográfico y cambios de uso del suelo en la Selva El Ocote, Chiapas. Informe Final. El Colegio de la Frontera Sur-World Wildlife Found-México, Biodiversity Support Program, U.S. AID. San Cristóbal de las Casas. Disponible en: http://200.23.34.25/final_ocote.pdf. Consultado en julio de 2008.
- Castillo, P.E., P. Lehtonen, M. Simula, V. Rosa y R. Escobar. 1989. Proyecciones de los principales indicadores forestales de México a largo plazo (1988-2012). Reporte interno. Subsecretaría forestal, cooperación México-Finlandia, SARH, México.
- CONAFOR. 2004. Baja el índice de deforestación en México. Disponible en: <http://fox.presidencia.gob.mx/buenasnoticias/?contenido=16205&pagina=308>. Consultado en septiembre de 2008.
- Cortina Villar S., P. Macario Mendoza e Y. Ogneva Himmelberger. 1999. Cambios en el uso del suelo y deforestación en el sur de los estados de Campeche y Quintana Roo, México. *Investigaciones Geográficas* 38:41-56.
- Couturier, S. 2007. Evaluación de errores de cartas de cobertura vegetal y uso del suelo con enfoque difuso y con la simulación de imágenes de satélite. Programa de Doctorado en cotutela UNAM-UPS (Universidad P. Sabatier, Francia). Doctorado en Geografía, Facultad de Filosofía y Letras de la UNAM, Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Couturier S. y J.F. Mas. 2009. ¿Qué tan confiable es una tasa de deforestación? Cómo evaluar nuestros mapas con rigor estadístico. *Investigación ambiental* 1(2).
- Couturier S., J.F. Mas, E. López, J. Benítez, V. Tapia, y A. Vega, en prensa, Accuracy assessment of the Mexican National Forest Inventory map: a study in four eco-geographical areas, *Singapore Journal of Tropical Geography*.
- Díaz-Gallegos J.R. y J.F. Mas. 2008. Deforestation monitoring and its accuracy assessment: The case of Southeast Mexico. En: I.B. Sanchez y C.L. Alonso (eds.). *Deforestation Research Progress*. Nova Sciences Publishers, EUA. Pp. 109-126.
- FAO. 1988. An interim report of on the state of forest resources in the developing countries, Forest Resource Division, Forestry Department, Italia.
- . 1995. *Forest Resources assessment 1990*. Global synthesis, Forestry paper n° 124, Roma, Italia. 44 pp.
- . 1997. *State of the world forest 1997*. FAO, Roma.
- . 2007. *State of the world forest 2007*. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/009/a0773e/a0773e00>. HTML, Consultado en agosto de 2008.
- Fernández, T. 2006. Estimación de la confiabilidad de mapas de cambio de uso del suelo y vegetación, tesis de licenciatura, Facultad de Filosofía y Letras (Geografía), UNAM, 99 pp.
- Flamenco, A. 2007. Dinámica y escenarios sobre los procesos de cambio de cobertura y uso del terreno en el sureste de México: el caso de la selva El Ocote, Chiapas. Tesis de doctorado en ciencias biomédicas, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ghilardi Alvarez, A., 2008, Análisis multi-escalar de los patrones espaciales de oferta y demanda de leña para uso residencial en México. Posgrado en Ciencias biológicas, UNAM, México. 227 pp.

- Gopal, S. y C.E. Woodcock. 1994. Accuracy of Thematic Maps using fuzzy sets I: Theory and methods. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 58: 35-46.
- Grainger A., 1984, Rates of deforestation in the humid tropics: overcoming current limitations, *Journal of Forestry Resources Management* 1: 3-63.
- Lambin, E. F., B. L. Turner II, H. Geist, S. Agbola, A. Angelsen, J. W. Bruce, O. Coomes, R. Dirzo, G. Fischer, C. Folke, P. S. George, K. Homewood, J. Imbernon, R. Leemans, X. Li, E. F. Moran, M. Mortimore, P. S. Ramakrishnan, J. F. Richards, H. Skånes, W. Steffen, G. D. Stone, U. Svedin, T. Veldkamp, C. Vogel y J. Xu. 2001. The Causes of Land-Use and -Cover Change: Moving beyond the Myths. *Global Environmental Change* 11: 261-269.
- INEGI. 1980. Sistema de Clasificación de Tipos de Agricultura y Tipos de Vegetación de México para la Carta de Uso del Suelo y Vegetación del INEGI, escala 1:250 000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Aguascalientes, México.
- Mas, J.F. 2005. Change estimates by map comparison: A method to reduce erroneous changes due to positional error. *Transactions in GIS* 9(4):619-629.
- Mas J.F. y S. Couturier, en prensa, Evaluación de bases de datos cartográficas, en *Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales*, INE-UNAM, México.
- y T. Fernández. 2003. Una evaluación cuantitativa de los errores en el monitoreo de los cambios de cobertura por comparación de mapas. *Investigaciones Geográficas* 51:73-87.
- , A. Velázquez, J.L. Palacio-Prieto, G. Bocco, A. Peralta y J. Prado. 2002. Assessing forest resources in Mexico: Wall-to-wall land use/cover mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 68(10): 966-968. Disponible en: <http://www.asprs.org/publications/pers/2002journal/october/highlight.html>. Consultado en julio de 2008.
- , A. Velázquez, J.R. Díaz-Gallegos, R. Mayorga-Saucedo, C. Alcántara, G. Bocco, R. Castro, T. Fernández y A. Pérez-Vega. 2004. Assessing land use/cover changes: a nationwide multi-date spatial database for Mexico. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 5(4):249-261.
- , Sorani, V., Alvarez, R. 1996. Elaboración de un modelo de simulación del proceso de deforestación. *Investigaciones Geográficas Boletín* 5:43-57.
- Masera, O. R., M. J. Ordóñez y R. Dirzo 1997. Carbon emissions from Mexican forests: current situation and long-term scenarios. *Climatic Change* 35: 265-295.
- Masera, O., G. Guerrero, A. Ghilardi, A. Velázquez, J.F. Mas, M.J. Ordóñez, R. Drigo y M.A. Trossero. 2005, Fuelwood "Hot Spots" in Mexico, a case study with WISDOM, FAO Word Energy Programme, Roma. 89 pp.
- Myers, N. 1989. *Deforestation rates in tropical forests and their climate implications*. Friends of the Hearth, Gran Bretaña.
- Nascimento, R.J. 1991. Discutiendo números do desmatamento. *Interciencia* 16(5): 232-239.
- Palacio-Prieto, J.L., G. Bocco, A. Velázquez, J.F. Mas, F. Takakai Takaki, A. Victoria, L. Luna-González, G. Gómez Rodríguez, J. López-García, M. Palma Muñoz, Irma Trejo-Vázquez, A. Peralta Higuera, J. Prado-Molina, A. Rodríguez-Aguilar, R. Mayorga-Saucedo, F. González Medrano. 2000. La condición actual de los recursos forestales en México: resultados del Inventario Forestal Nacional 2000. *Investigaciones Geográficas* 43:183-203 (nota técnica).
- Peralta-Higuera, A.; J.L. Palacio, G. Bocco J.F. Mas, A. Velázquez, A. Victoria, R. Bermúdez, U. Martínez, y J. Prado. 2001. Nationwide Sampling of Mexico with Airborne Digital Cameras: an Image Database to Validate the Interpretation of Satellite Data. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. 18th Biennial Workshop on Color Photography & Videography in Resource Assessment. Amherst, Massachusetts, Mayo 16-18, 2001. Trabajo no. 20, pp 1-9.
- Pérez-Vega, A. 2008. La contribución de los atributos del relieve para explicar la distribución espacial de la vegetación: estudio de caso en una zona de montaña de alta diversidad. Tesis de doctorado, Posgrado de Geografía, UNAM, México. 222 pp.
- Pontius, G.M. y C.D. Lippitt. 2006. Can error explain map differences over time? *Cartography and Geographic Information Science* 33(2):159-171.
- Pontius R.G. 2002. Statistical methods to partition effects of quantity and location during comparison of categorical maps and multiple resolutions. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 68(10):1041-1049.
- . 2000. Quantification error versus location error in comparison of categorical maps. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 66(8): 1011-1016.
- Ramírez-García, P., J. López-Blanco y D. Ocana. 1998. Mangrove vegetation assessment in the Santiago River Mouth, Mexico, by means of supervised classification using LandsatTM imagery. *Forest Ecology and Management* 105(1-3):217-229.
- Repetto, R. 1998. *The forests for the trees? Governement policies and the misuse of forrest resources*, World Resources Institute, Washington D.C., EUA.
- Sánchez Colón, S., A. Flores Martínez, I. A. Cruz-Leyva y A. Velázquez. 2008. *Estado y transformación de los ecosistemas terrestres por causas humanas. II Estudio de país*. CONABIO, México.
- SARH. 1994. Inventario Forestal Nacional Periódico, México 94, Memoria Nacional Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre, México. 81 pp.

- SEMARNAT. 2006, Inventarios forestales y tasas de deforestación. Disponible en: http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_04/02_vegetacion/recuadros/c_rec3_02.htm. Consultado en agosto de 2008.
- Soares-Filho, B.S., D. Curtis Nepstad, L.M. Curran, G. Coutinho Cerqueira, R. Alexandrino Garcia, C. Azevedo Ramos, E. Voll, A. McDonald, P. Lefebvre y P. Schlesinger. 2006. Modelling conservation in the Amazon basin. *Nature* 440: 520-523.
- Sorani, V. y R. Alvarez. 1996. Hybrids maps: a solution for updating of forest cartography with satellite images and existing information. *Geocarto Internacional* 11(4): 17-23.
- Stehman, S.V. y R.L. Czaplewski. 1998. Design and Analysis for Thematic Map Accuracy Assessment: Fundamental Principles. *Remote Sensing of Environment* 64: 331-344.
- , J. D. Wickham, J. H. Smith y L. Yang. 2003. Thematic accuracy of the 1992 National Land-Cover Data for the eastern United-States: Statistical methodology and regional results. *Remote Sensing of Environment* 86: 500-516.
- Stibig H. J., A. S. Belward, P. S. Roy, U. Rosalina-Wasrin et al. 2007. A land-cover map for South and Southeast Asia derived from SPOT- VEGETATION data. *Journal of Biogeography* 34: 625-637.
- Toledo, V.M. 1989. Bio-economic costs of transforming tropical forest to pastures in Latinoamérica. En: S. Hecht (editor). *Cattle ranching and tropical deforestation in Latinoamerica*. Westview Press, Boulder, Colorado, EUA.
- Trejo I. y R. Dirzo 2000. Deforestation of seasonally dry tropical forest a national and local analysis in Mexico. *Biological Conservation* 94(2): 133-142.
- Velázquez, A., J.F. Mas, J.R. Díaz-Gallegos, R. Mayorga-Saucedo, P.C. Alcántara, R. Castro, T. Fernández, G. Boccoy J.L. Palacio, 2002. Patrones y tasas de cambio del uso del suelo en México. *Gaceta ecológica* 62, 21-37.
- , E. Durán. I. Ramírez, J.F: Mas, G. Bocco, G. Ramírez y Palacio. 2003. Land use-cover change processes in highly biodiverse areas: the case of Oaxaca, Mexico. *Global Environmental Change* 13: 175-184.
- Velázquez, A. 2008. La dinámica de la cubierta forestal de México. Página de la Sociedad Mexicana de Física (<http://www.smf.mx/C-Global/webCubFor.htm>).
- Vitousek, P.M., H.A. Mooney, J. Lubchenco y J.M. Melillo 1997. Human domination of Earth's ecosystems. *Science* 277: 494-499.
- Woodcock, C. y S. Gopal. 2000. Fuzzy set theory and thematic maps: accuracy assessment and area estimation. *International Journal of Geographical Information Science* 14(2): 153-172.
- Wulder, M. A., J. C. White, S. Magnussen y S. McDonald. 2007. Validation of a large area land cover product using purpose-acquired airborne video. *Remote Sensing of Environment* 106: 480-491.