

ANÁLISIS SOBRE CAMBIO DE USO DE SUELO EN DOS ESCALAS DE TRABAJO

Analysis of Land Use Change in Two Working Scales

Ramón Trucíos Caciano^{1*}, Miguel Rivera González¹, Gerardo Delgado Ramírez¹,
Juan Estrada Ávalos¹ y Julian Cerano Paredes¹

RESUMEN

Las zonas con vegetación natural son parte de la mega-biodiversidad por la cual México es considerado uno de los principales países con esta diversidad biológica. Sin embargo, la diversidad está siendo amenazada, en estudios a nivel nacional se evidencia la pérdida de cubierta vegetal como un proceso de cambio de uso de suelo para el desarrollo de actividades que representen mayor satisfacción social. El objetivo de este estudio fue conocer el estado que guarda la vegetación de la cuenca de San Cristóbal de las Casas, Chiapas, en respuesta al cambio de uso predominante hacia actividades agropecuarias, a través de un análisis de cambio de uso de suelo, para dos escalas de trabajo, con el uso de sistemas de información geográfica como herramienta de análisis. Para la escala 1:250 000 de 1976 a 2002, se encontró que la pérdida de cobertura vegetal es evidente ya que se cuantificaron incrementos mayores a 5000 ha para agricultura de temporal, relacionados a disminución de superficies de bosques y pastizales. En esta misma escala, las áreas urbanas se incrementaron en más de 10 veces su superficie en el mismo periodo de tiempo, de 149 ha a 1903 ha. Por otra parte, a escala 1:10 000, de 1996 al 2010, las superficies con vegetación natural disminuyeron 493 ha, mientras que se cuantificó un incremento de áreas agrícolas y urbanas de 3926 y 1791 ha respectivamente.

Palabras clave: *sistemas de información geográfica, interpretación monoscópica, cuantificación de áreas.*

¹ INIFAP-CENID-RASPA. Km. 6.5 margen derecha Canal Sacramento. 35140 Gómez Palacio, Durango, México.

* Autor responsable (trucios.ramon@inifap.gob.mx)

Recibido: marzo de 2013. Aceptado: septiembre de 2013.

Publicado como nota de investigación en
Terra Latinoamericana 31: 339-346.

SUMMARY

Areas with natural vegetation are part of the mega-biodiversity for which Mexico is considered one of the most biologically diverse countries in the world. This diversity is threatened; national studies have revealed loss of plant cover as a process of change in land use for development of activities that are of greater social satisfaction. The aim of this study was to determine the state of the vegetation in the San Cristobal de las Casas watershed, Chiapas, in response to change in land use to mainly agricultural activities. This was done through an analysis of land use change at two working scales using the geographic information system as an analytical tool. At the 1:250 000 scale for 1976 to 2002, the loss of plant cover is evident since increases larger than 5000 ha of rain fed agriculture were quantified; these increases were related to a decrease in forest areas and grasslands. On the same scale, urban areas increased more than 10 times in the same period, from 149 to 1903 ha. At 1:10 000 in 1996 to 2010, natural vegetation areas decreased by 493 ha, while agricultural and urban areas increased by 3926 and 1791, respectively.

Index words: *geographic information system, monoscopic interpretation, quantification of areas.*

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas terrestres han sido el sustento y abrigo de especies animales a lo largo del tiempo. Las asociaciones entre animales, plantas y la interrelación existente, han formado una gran diversidad, asociada también a las condiciones climáticas y topográficas, México tiene el cuarto lugar a nivel mundial en diversidad de recursos naturales, el 1.5% del planeta, México cuenta con más del 10% de las especies conocidas en el mundo (Elvira, 2006, SEMARNAT, 2009, CONABIO, 2012). Sin embargo, se ha llevado a cabo un desmedido

aprovechamiento de los recursos naturales que ha propiciado un avance de la pérdida de especies animales y vegetales del territorio, provocado principalmente por la deforestación, prácticas agrícolas inadecuadas, sobre pastoreo, extracción de leña y urbanización (Elvira, 2006). Al respecto, la Organización de las Naciones Unidas para Agricultura y la Alimentación señala como causas del cambio de uso de suelo en América del norte: el incremento poblacional, el bajo desarrollo económico, la falta de políticas e instituciones basadas en la comunidad y la falta de impulso a la ciencia y tecnología (FAO, 2009).

El uso de suelo, en su sentido más amplio, son las diferentes formas en que se emplea un terreno y su cubierta vegetal. El territorio nacional no se explota con la misma intensidad ni con los mismos propósitos en toda su superficie. Algunas porciones son modificadas profundamente al ser utilizadas con fines agropecuarios o como asentamientos humanos; otras han permanecido relativamente inalteradas por las actividades de la sociedad (SEMARNAT, 2012). Por su parte, el suelo es el medio en donde las plantas obtienen los nutrientes que requieren para su desarrollo; por lo tanto, el conocimiento que se tenga de las características morfológicas, físicas y químicas de este elemento es de gran importancia para planear su uso más racional, especialmente en las actividades relativas a la explotación agrícola y pecuaria, así como en las labores de reforestación (INEGI, 2012).

En un estudio de cambio de uso de suelo (SEMARNAT, 2008), el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) reporta la pérdida de 222 mil km² de selva, 129 mil de bosque, 51 mil de matorrales y 60 mil de pastizales, tan solo de 1970 a 1993, 14 millones de ha de bosques, selvas, matorrales y pastizales fueron alterados y remplazados por comunidades secundarias a un ritmo de 823 mil ha año⁻¹ afectando principalmente a bosques y selvas. Dicha pérdida implica problemáticas en azolvamiento de cuerpos superficiales y disminución de la recarga de los acuíferos por las características que tiene la vegetación respecto al escurrimiento superficial (López, 1998; Viramontes *et al.*, 2004).

Para evaluar el manejo de recursos naturales se recomienda el uso de herramientas como los sistemas de información geográfica (SIG) (Trucíos *et al.*, 2010a), en estudios que den a conocer la ubicación y cuantificación de áreas que definan las tendencias de posibles procesos de deforestación, degradación y

pérdida de biodiversidad (Palacio *et al.*; 2004, Berlanga *et al.*, 2009).

El objetivo de este estudio fue conocer el estado que guarda la vegetación de la cuenca de San Cristóbal de las Casas, Chiapas, en respuesta al cambio de uso predominante hacia actividades agropecuarias, a través de un análisis de cambio de uso de suelo, para dos escalas de trabajo, con el uso de sistemas de información geográfica como herramienta de análisis.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio comprendió la cuenca de San Cristóbal de las Casas que tiene una superficie de 29 730 ha y se ubica al centro del estado de Chiapas. Los municipios que se encuentran parcialmente comprendidos en esta área son: San Juan Chamula, Tenejapa, Huixtán y San Cristóbal de las Casas. La conformación de la base de datos para el estudio se realizó en el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica, Agua y Suelo del INIFAP CENID-RASPA, en Gómez Palacio, Durango.

La primera base de datos de uso de suelo corresponde a la interpretación que realiza el INEGI de imágenes de satélite y genera productos denominados uso de suelo y vegetación, escala 1:250 000. Se llevó a cabo un análisis de cambio de uso de suelo con tres diferentes épocas: Serie I (1976), Serie II (1993) y Serie III (2002).

La segunda base de datos utilizada tiene como origen la digitalización e interpretación monoscópica del mosaico de ortofotos a escala 1:75 000 (Trucíos *et al.*, 2010a) con fechas de 1991 al 2000 (predominando 1996), considerándose como la imagen origen, en comparación con la digitalización e interpretación de la imagen de satélite, de alta resolución, con información de 2010, haciendo referencia a la información actual. Las categorías utilizadas fueron vegetación, parcelas agrícolas, pastizales, área desmontada, caminos y área urbana.

Para generar la información de 2010 se utilizó un mosaico elaborado a partir de imágenes de satélite Quickbird en modo multiespectral. Son tres escenas las que conforman dicho mosaico con fechas del 28 de enero, 11 de mayo y 23 de abril, con una resolución espacial de 60 × 60 cm y una resolución espectral de 3 bandas (B1: Azul: 450-520 μm, B2: Verde: 520-600 μm y B3: Rojo: 630-690 μm), además de una sección

en pancromática Worldview con fecha del 19 de enero del 2010, con resolución de 50×50 cm.

La adquisición de una imagen de alta resolución permitió conocer a mayor detalle (escala 1:10 000) la distribución de la vegetación en el área de estudio. Como punto de comparación de esta imagen se generó un mosaico de ortofotos (antes mencionado) mismos que se interpretaron y digitalizaron para cuantificar la superficie por tipo de uso para 1996 y 2010 (Trucíos *et al.*, 2010b).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo al levantamiento de campo realizado en la década de los 80's por parte del INEGI, el 35.5%, que corresponde a 10 554 ha de área de estudio, tuvo un uso de suelo como agricultura de temporal, mismas que deben estar dedicadas a esta actividad por lo menos en el 80% de los años en un tiempo determinado, según el INEGI (2005). En este mismo uso de suelo, en las Series II y III, hubo un incremento considerable en 1992 y 2002 ocupó el 52 y 53.3%, 15 460 y 15 846 ha respectivamente. Esta misma tendencia se ha presentado a nivel nacional de acuerdo a SEMARNAT (2009), en donde se enmarca como una consecuencia del incremento poblacional y su demanda de productos primarios.

Para 1976 el 57.5%, es decir, 17 095 ha de la superficie, estaba cubierta por Bosque, predominando el Bosque de pino-encino con el 23.1% lo cual representa 6 868 ha. La población de este tipo de bosques se redujo al 15.6% en 2002 siendo esto 4638 ha; de igual manera el área de Bosque de encino se redujo de 11.5% en 1976 a 3.9% en 2002, lo cual representa una disminución de 2260 ha. El mismo comportamiento se ha encontrado a nivel nacional (SEMARNAT, 2009), en regiones como la Sierra de Lobos en Guanajuato (Trucíos *et al.*, 2011).

Con respecto a pastizal inducido, este uso ocupó un 6.5%, es decir, 1932 ha de la superficie en 1976. En 1992 y 2002 las series de uso de suelo y vegetación de INEGI no contabilizaron áreas de pastizal. Esta desaparición de pastizales corresponde posiblemente a un error de asignación de categoría en la interpretación realizada a la imagen de satélite, ya que a nivel nacional este uso de suelo reporta un incremento en superficie en los últimos años (SEMARNAT, 2009). Al respecto, se han realizado estudios como el desarrollado por Mas *et al.* (2009), quienes realizaron una evaluación de cambios de cobertura y usos de suelo e implementaron un análisis de errores en la asignación de categorías para

las series de vegetación del INEGI y el inventario Nacional Forestal de 2000.

Los asentamientos humanos en 1976 abarcaron el 0.5% del área de estudio, sin embargo, con el incremento poblacional se ha aumentado también su superficie, reportando para el año 2002 una superficie del 6.4% de la cuenca, lo anterior hace referencia a un crecimiento de 149 a 1903 ha.

El cambio en superficie para el uso de suelo y vegetación en la Cuenca de San Cristóbal de las Casas de 1976 a 2002 se observa en la Figura 1.

Respecto al crecimiento del área urbana, las proyecciones de crecimiento de la población hasta 2030 se basan en estimaciones del plan de desarrollo de la ciudad de San Cristóbal y proyecciones de ECOSUR (Benez *et al.*, 2010). Estas estimaciones (Figura 2), muestran que la ciudad de San Cristóbal tendrá una población de entre 230 000 y 375 000 habitantes en el año 2030 (Bencala *et al.*, 2006).

Además de las diferencias en cobertura vegetal, en los recorridos de campo se observaron áreas de aprovechamiento e incluso áreas desprovistas de vegetación lo cual denota una falta de manejo forestal en el área estudiada (Figura 3).

Uso de Suelo Actual

Al igual que la información analizada para las series de vegetación del INEGI, se analizaron los resultados de la interpretación de uso de suelo de 1996 y 2010 para la Cuenca de San Cristóbal de las Casas, Chiapas. En esta información se agrupó la vegetación de bosque (pino, pino-encino, encino-pino, encino y mesófilo de montaña) denominándole solo como vegetación. Se identificaron, con el auxilio de recorrido de campo, áreas de pastizales principalmente utilizadas para pastoreo de borregos y finalmente áreas agrícolas. Respecto a las áreas urbanas, se pudo distinguir, en la imagen de 2010, zonas habitadas (manzanas), áreas en construcción, caminos e incluso áreas desmontadas posiblemente para crecimiento urbano. Sin embargo, este detalle de información no lo tiene la ortofoto de 1996, por lo cual en ésta únicamente se identifica lo que corresponde a área urbana (manzanas).

La interpretación monoscópica de la información en la imagen de satélite establece un claro crecimiento del área urbana que en 1996 ocupaba 1311 ha, lo cual equivale al 4% de la cuenca, en 2010 el área urbana ocupó 3102 ha equivalente al 10%, es decir, aumentó 2.5 veces

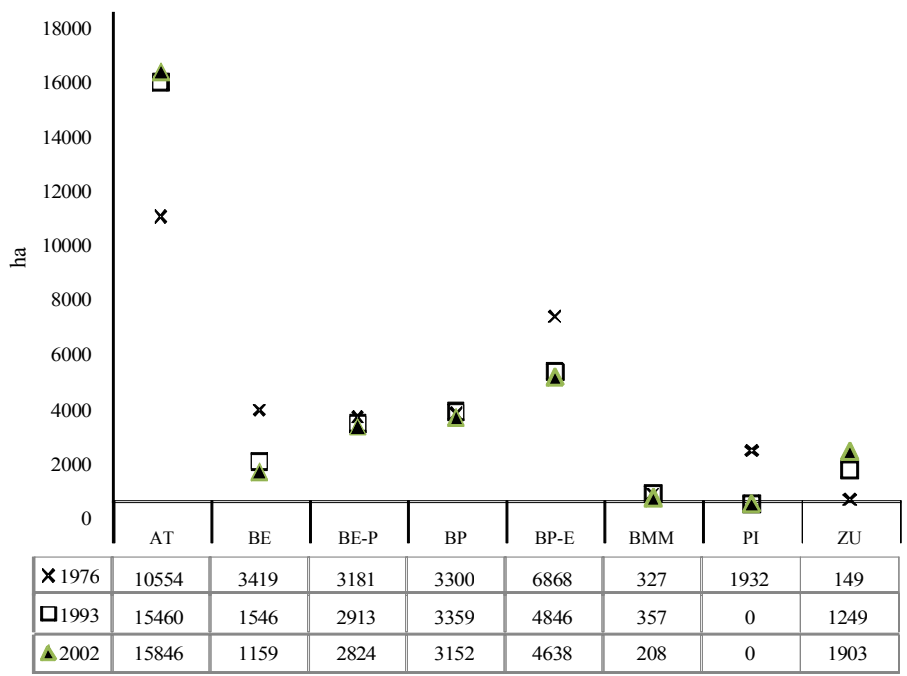


Figura 1.- Análisis de cambio de uso de suelo y vegetación, superficie en hectáreas en la cuenca de San Cristóbal de las Casas, Chiapas; para las tres series de datos disponibles en INEGI. AT= agricultura de temporal, BE = bosque de encino, BE-P = bosque de encino pino, BP = bosque de pino, BP-E = bosque de pino encino, BMM = bosque mesófilo de montaña, PI = pastizal inducido, ZU = zona urbana.

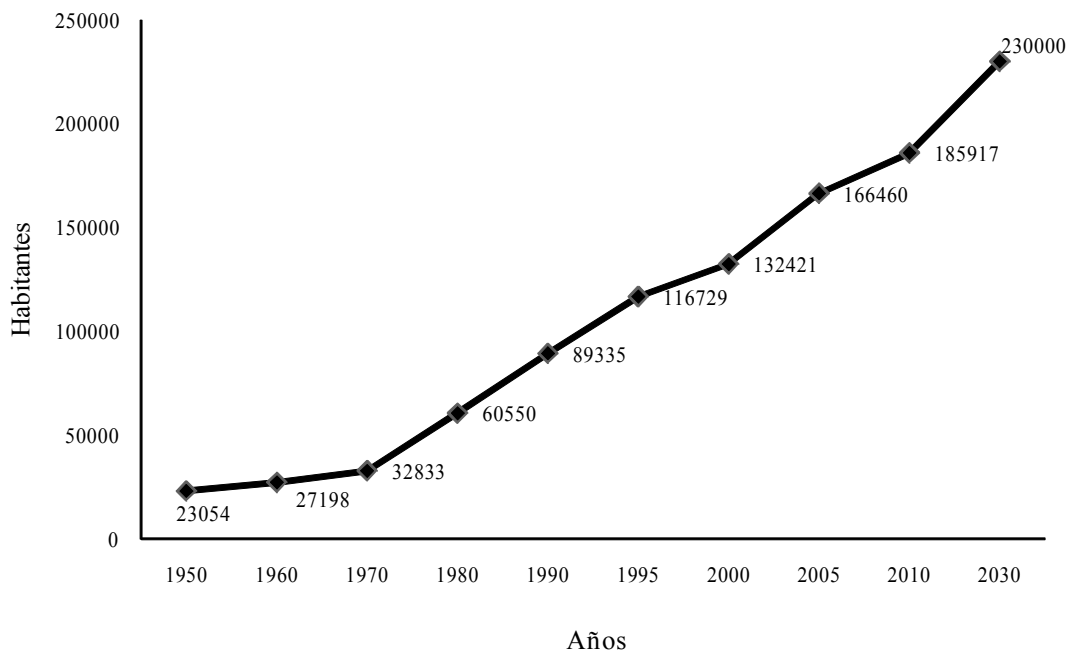


Figura 2. Gráfico de crecimiento poblacional con base en la información del INEGI y el plan de desarrollo de la ciudad de San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México (la figura fue realizada por el autor con información de Academic, 2012 y Bencala *et al.*, 2006).

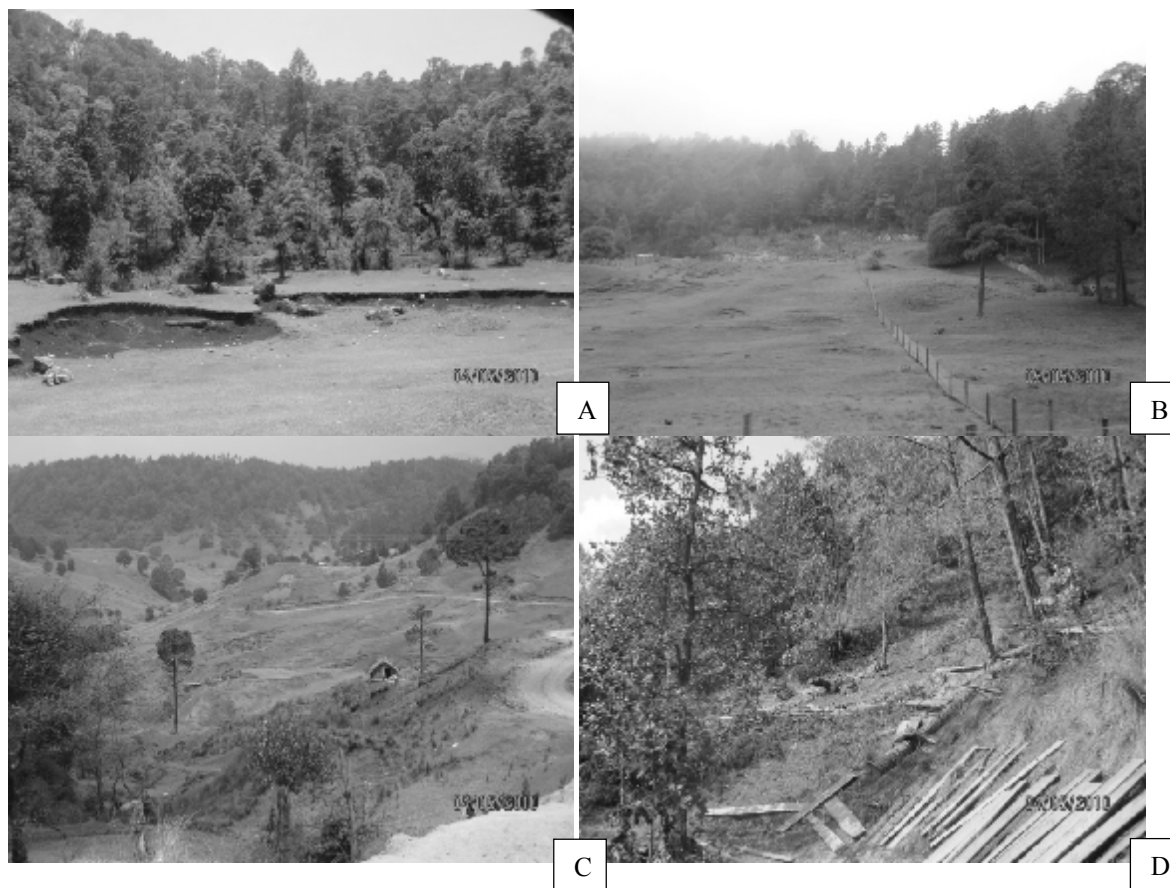


Figura 3. Áreas de pastizales con pérdida de cobertura vegetal (A, B y C) y áreas con aprovechamiento forestal (D).

la superficie en 14 años considerando las nuevas áreas que se están preparando para la construcción, misma tendencia observada en estudios similares en la región de la costa norte de Nayarit (Berlanga *et al.*, 2009) o en la zona metropolitana de la ciudad de México, con un incremento de 201 ha en la década de los 90's (López y Plata, 2009). Las áreas agrícolas, por su parte, tuvieron un incremento pasando de 5% en 1996 a 19% en 2010, es decir, de 1599 a 5525 ha. Para el área con vegetación se contabilizaron 17 335 ha en 1996 y disminuyó a 16 842 ha en 2010, lo que implica una tasa anual de 0.11% de cambio en tasa anual, lo cual es consistente con la información que SEMARNAT (2012) publicó con respecto a la tasa de cambio en las áreas con vegetación a nivel nacional. Se han desarrollado estudios al respecto para explicar la disminución en las tasas de cambio de vegetación como los realizados por González *et al.* (2009) y Cayuela *et al.* (2006), encontrando que en un período de 30 años anterior a 1995, el 50% del área forestal en los Altos de Chiapas cambió hacia áreas agrícolas y potreros. Por lo tanto, se puede interpretar que se

sustituyeron pastizales cultivados o inducidos y no áreas de vegetación natural, situación similar a la presentada en la subcuenca del río San Marcos en Puebla (Castelán *et al.*, 2007), en donde se sustituyeron pastizales para el desarrollo de áreas agrícolas tanto permanentes como anuales.

La información del uso de suelo interpretada para el año 2010, con base en la información de imagen de satélite de alta resolución, y su comparación con el cambio en el año de referencia utilizado, interpretado del mosaico de ortofotos de 1996, está contenida en el Cuadro 1.

Superficies sin Vegetación

Una de las áreas de interés son las superficies sin vegetación, producto de actividades de aprovechamiento desmedido como el desmonte o abandono de tierras de cultivo, lo cual puede provocar una pérdida de suelo por efectos del golpe de lluvia y el escurrimiento superficial (Viramontes *et al.*, 2004). Para la detección de estas

Cuadro 1. Uso de suelo y vegetación en la cuenca de San Cristóbal de las Casas, Chiapas de 1996 a 2010.

Tipo de uso de suelo	Año			
	1996		2010	
	Hectáreas	Porcentaje	Hectáreas	Porcentaje
Vegetación	17335	58	16842	57
Agrícola	1599	5	5525	19
Manzanas	1311	4	2378	8
Construcción	0		724	2
Caminos	0		682	2
Pastizal	0		3491	12
Área desmontada	0		88	0
Otros usos	9485	32	0	
Total	29730		29730	

áreas se utilizó el método de clasificación supervisada, el cual se basa en el conocimiento de la zona de estudio, adquirido por experiencia previa o por trabajos en campo (Chuvieco, 2008). La superficie con pérdida de vegetación o suelo desnudo se contabilizó en 648 ha, en la imagen Worldview de 2010, y se encuentra asociada

a usos de suelo agrícola y terrenos con pendiente de 5 a 40% (Figura 4).

Si comparamos la superficie de suelo desnudo con 648 ha, obtenida con la clasificación supervisada, con la superficie de área desmontada con 88 ha, obtenida en la clasificación monoscópica, se observa una

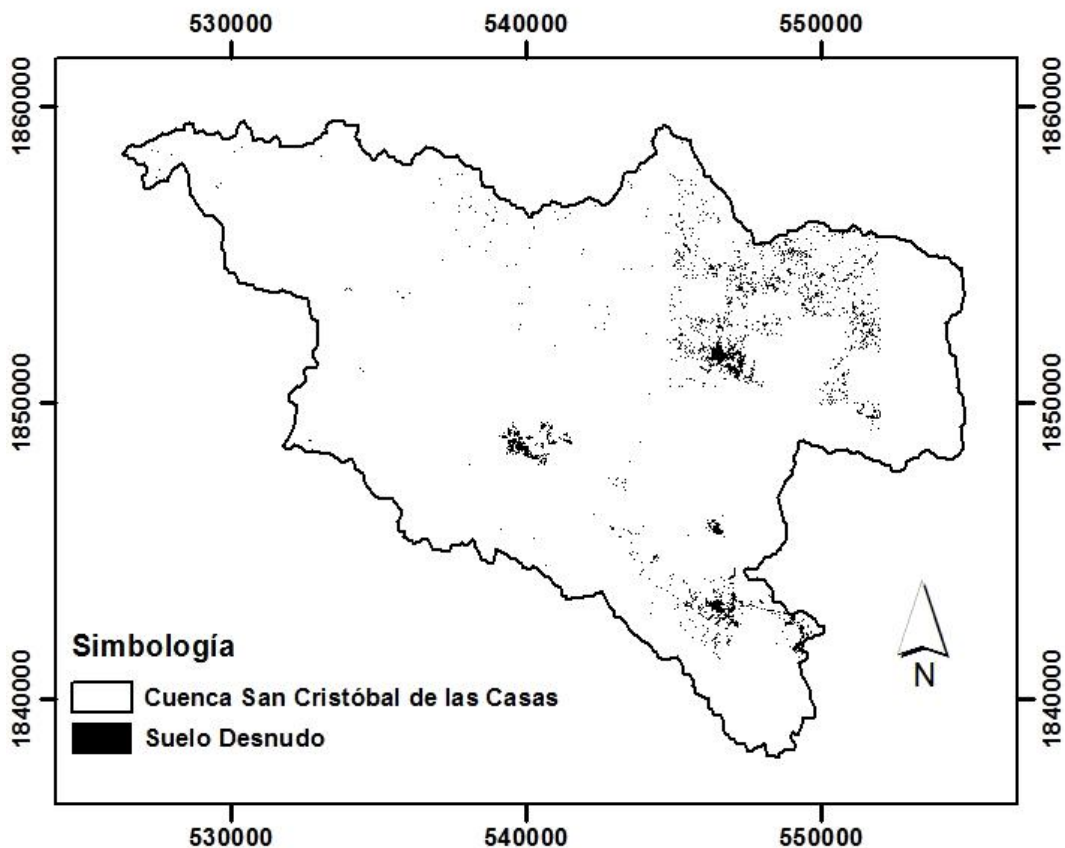


Figura 4. Superficie de suelo desnudo en 2010 para el área de la cuenca de San Cristóbal de las Casas, Chiapas.

diferencia para el mismo uso de suelo. Esto se puede explicar si consideramos que en la clasificación monoscópica se digitalizan áreas con predominancia de vegetación, es decir, al interior de estas áreas existen espacios intermedios que no tienen vegetación pero la naturaleza del proceso no permite discriminarlos. Sin embargo, la clasificación supervisada es un proceso que realiza el programa de sensoria remota y va dirigido a las características del pixel de nuestro interés, que en este caso son aquellos pixeles que no presentan información de vegetación (Chuvienco, 2008), por tal razón es mayor el área sin vegetación obtenida por la clasificación supervisada que por la clasificación monoscópica.

Lo anterior está relacionado con la vulnerabilidad que puede presentarse al combinar usos de suelo y pendientes, en donde el manejo los haga susceptibles a algún tipo de erosión, predominando en la región la posibilidad de erosión hídrica por ser una zona de precipitaciones mayores a 1000 mm al año (SMN, 2013).

Al igual que las unidades de suelo, la topografía tiene un papel relevante en la planeación de un uso sustentable del recurso y además de la definición de un uso adecuado de los suelos presentes en el área de estudio (Melendez, 2010), estudios al respecto, señalan que dependiendo del grado de la pendiente del terreno y su longitud (terreno accidentado), mayor o menor será la erosión del suelo (Figueroa *et al.*, 1991; Liu *et al.*, 1994). Las áreas con pendientes mayores presentan más problemas de erosión, y disminuye su potencial para uso agrícola (Pierce y Lal, 1994). En parte, se debe a la mayor dificultad o a la imposibilidad de la labranza mecánica o al transporte en el campo, en terrenos con pendientes pronunciadas.

CONCLUSIONES

- De forma general se debe considerar la diferencia en las superficies para cada uso de suelo estimada en cada escala de trabajo. En la escala 1:250 000 se generaliza la información, es decir, tiene menor precisión que la desarrollada a escala 1:75 000, sin embargo, esta escala es recomendada para estudios de mayor superficie, como regiones hidrológicas o a nivel estatal.
- En la información obtenida a escala 1:250 000, se contabilizó un incremento en la superficie de agricultura de temporal y una disminución de la superficie con vegetación incluyendo también el pastizal inducido, por

lo tanto, se puede proponer una relación directa entre la sustitución de áreas con vegetación natural y pastizales por zonas agrícolas.

- Por su parte, la información a escala 1:10 000, también muestra la disminución de las áreas de vegetación y el incremento en superficie agrícola, sin embargo, a esta escala si es posible diferenciar las áreas con pastizal. Se hace énfasis en esto último debido a que se considera que hubo errores de interpretación en la información generada por INEGI a escala 1:250 000 en el área de estudio.

- En ambas escalas de trabajo se detectó un incremento en la zona urbana y la presencia de áreas sin vegetación. En este sentido, para establecer una relación directa entre las zonas urbanas que se han desarrollado y las áreas sin vegetación, se propone la realización de estudios de dinámica de cambio de uso para conocer que usos de suelo son mayormente propensos hacia el cambio a uso urbano o qué tipo de suelo es propenso o sensible a degradarse y no servir de soporte para la vegetación.

- Es recomendable también realizar estudios referentes a la calidad de sitios en las áreas forestales para conocer el grado de deterioro al cual han sido sometidos, considerando las características de tipos de suelo y pendientes, ya que se encuentran en áreas accidentadas. Además es conveniente conocer a detalle la condición de erosión a la cual está sometida el área, con la finalidad de generar propuestas de zonas potenciales de conservación de suelos.

LITERATURA CITADA

- Academic. 2012. Los diccionarios y las enciclopedias sobre lo académico. San Cristóbal de las Casas. <http://www.esacademic.com/dic.nsf/eswiki/267937> (Consulta: mayo 2, 2012).
- Bencala, K., R. Hains, E. Liu, T. Nogeire, D. Segán y S. Stevens. 2006. Desarrollo de un plan de administración sostenible para la cuenca de San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México. Bren School of Environmental Science and Management. Universidad de California. Santa Bárbara, CA, USA
- Benez, M. C., E. F. Kauffer, D. Soares y G. Álvarez. 2010. El estudio de las percepciones de la gestión de la calidad del agua, una herramienta para fortalecer la participación pública en la microcuenca del río Fogótico, Chiapas. Reg. Soc. 22: 73-104.
- Berlanga R., C. A., R. R. García C., J. López B. y A. Ruiz L. 2009. Patrones de cambio de coberturas y usos de suelo en la región costa norte de Nayarit (1973-2000). Revista Investigaciones Geográficas (México). Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. Boletín No. 72. México, D. F.

- Cayuela, L., J. M. Rey B., and C. Echeverría. 2006. Clearance and fragmentation of tropical montane forests in the Highlands of Chiapas, Mexico (1975-2000). *For. Ecol. Manage.* 226: 208-218.
- Castelán V., R., J. Ruiz C., G. Linares F., R. Pérez A., V. Tamariz F. 2007. Dinámica de cambio espacio-temporal de uso del suelo de la subcuenca del río San Marcos, Puebla, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM.* ISSN 0188-4611, Núm. 64. México, D. F.
- Chuvieco, E. 2008. Teledetección espacial. La observación de la tierra desde el espacio. Ariel. Barcelona, España.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2012. Dirección de Comunicación Científica de la CONABIO. <http://www.biodiversidad.gob.mx/> (Consulta: mayo 9, 2012).
- Cortina V., S., J. López B., H. R. Perales, B. Ramírez, A. Pizano, R. Gómez, U. Vieyra, S. Stetter y H. Plascencia. 2006. Deforestación en los Altos de Chiapas: magnitud y causas. *El Colegio de la Frontera Sur.* Tapachula, Chiapas, México.
- Elvira Q., J. R. 2006. El Cambio de uso de suelo y sus repercusiones en la atmósfera. pp. 191-194. *In: J. Urbina-Soria y J. Martínez-Fernández.* (eds.). Más allá del cambio climático. Las dimensiones psicosociales del cambio ambiental global. Algunos peligros del cambio climático. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México (SEMARNAT-INE-UNAM). México, D. F.
- Figueroa S., B., A. Amante O., H. G. Cortés T., J. Pimentel L., E. S. Osuna C., J. M. Rodríguez O. y F. J. Morales. 1991. Manual de predicción de pérdidas de suelos por erosión. Colegio de Postgraduados-SARH. México, D. F.
- González E., M.; Ramírez M., N.; Galindo J., L.; Camacho C., A.; Golicher, D.; Cayuela, L. y Rey B., J. M. 2009. Tendencias y proyecciones del uso del suelo y la diversidad florística en Los Altos de Chiapas, México. *Invest. Amb.* 1: 40-53.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2005. Guías para la interpretación de cartografía. Uso de suelo y vegetación. Aguascalientes, México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2012. Portal de Internet del INEGI. Portal www.inegi.gob.mx (Consulta: abril 12, 2012).
- Liu, Y., M. A. Nearing, and L. M. Risse. 1994. Slope gradient effects on soil loss for steep slopes. *Trans. ASAE.* 37: 1835-1840.
- López C., F. 1998. Restauración hidrológico-forestal de cuencas y control de la erosión. Ingeniería Medioambiental. Transformación Agraria S. A. (TRAGSA), Tecnología y Servicios Agrarios, S. A (TRAGSATEC) y Ministerio del Medio Ambiente. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Lopez V., V. H. y W. Plata R. 2009. Análisis de cambios de cobertura de suelo derivados de la expansión urbana de la zona metropolitana de la ciudad de México, 1990-2000. *Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. Rev. Invest. Geog. Bol.* 68: 85-101.
- Mas, J. F., A. Velázquez y S. Couturier. 2009. La evaluación de los cambios de cobertura/uso de suelo en la república mexicana. *Invest. Amb.* 1: 23-39.
- Melendez P., I., P. Córdoba S., J. Navarro P. e I. Gómez. 2010. Evaluación de la vulnerabilidad a la degradación por erosión en suelos mediante un modelo de lógica borrosa. *Rev. Cienc. Agrar. (Portugal).* 33: 171-181.
- FAO (Organización de las naciones unidas para Agricultura y la Alimentación). 2009. Situación de los bosques del mundo. Subdivisión de Políticas y Apoyo en Materia de Publicación Electronic División de Comunicación. Roma, Italia.
- Palacio P., J. L., M. T. Sánchez S., J. M. Casado, E. Propín, J. Delgado, A. Velázquez, L. Chías, M. I. Ortiz, J. González, G. Negrete, J. Gabriel y R. Márquez. 2004. Indicadores para la caracterización y el ordenamiento territorial. Instituto de Geografía, UNAM. México, D. F.
- Pierce, F. J. and R. Lal. 1994. Monitoring the impact of soil erosion on crop productivity. Chapter 10. pp. 235-263. *In: R. Lal.* Soil erosion research methods: Soil and water conservation society (U. S.) St. Lucie Press. Boca Raton, FL, USA.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2008. Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales. SEMARNAT. México, D. F.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2009. Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales. SEMARNAT. México, D. F.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2012. Portal de Internet del SEMARNAT. www.semarnat.gob.mx (Consulta: mayo 25, 2012).
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2013. Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales, indicadores clave y de desempeño ambiental. México, D. F.
- SMN (Servicio Meteorológico Nacional). 2013. Portal de normales climatólogicas. http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=28 (Consulta: noviembre 2, 2013).
- Trucíos C., R., J. Estrada A., R. Paredes M., J. L. González B. y L. M. Valenzuela. 2010a. Sistemas de información geográfica. pp. 1-34. *In: J. Estrada A., R. Trucíos C., J. Villanueva D., J. L. González B., L. F. Flores L.* Manejo sustentable de los recursos naturales: Sierra de Lobos, León, Guanajuato. Libro Técnico No. 6. INIFAP CENID-RASPA. Gómez Palacio, Dgo.
- Trucíos C., R., J. Estrada A., M. Rivera G., V. Guerra de la C. e I. Orona C. 2010b. Sistemas de información geográfica de la cuenca del río Zahuapan. pp. 1-31. *In: J. Estrada A., R. Trucíos C., J. Villanueva D., J. M. Rivera G. y L. F. Flores.* Manejo sustentable de los recursos naturales en el río Zahuapan, Tlaxcala. Libro Técnico No. 7. INIFAP CENID-RASPA. Gómez Palacio, Dgo.
- Trucíos C., R., J. Estrada A., J. Cerano P. y M. Rivera G. 2011. Interpretación del cambio de vegetación y uso de suelo. *Terra Latinoamericana* 29: 359-367.
- Viramontes, D., E. Anaya, C. García, J. Paulenard, H. Barral, L. Macias y M. G. Rodríguez C. 2004. Demasiado ganado y demasiados leñadores: una economía minera. pp. 183-193. *In: L. Descroix, J. L. González B. y J. Estrada A.* (eds.) La Sierra Madre Occidental, una fuente de agua amenazada. Ediciones INIFAP-IRD. Gómez Palacio, México.