

ANÁLISIS DIMENSIONAL DE LA COBERTURA VEGETAL-USO DE SUELO EN LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA

José Mauricio Galeana Pizaña¹, Nirani Corona Romero² y José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz³

RESUMEN

El Distrito Federal alberga a una de las ciudades con mayor densidad de población en el mundo; sin embargo, 58% de su territorio es considerado como suelo de conservación. El presente estudio se desarrolló en la cañada de la Magdalena Contreras al sur de la entidad, donde se realizó un análisis de la dimensión espacial por tipo de cobertura vegetal y uso del suelo; mediante el cruce de información geográfica se generó una matriz de las variables ambientales, que permitió hacer un análisis preciso de los componentes principales, al conocer la superficie y ubicación de cada una de las coberturas vegetales en función de la temperatura, precipitación, altitud, edafología y orientación respecto al sol. Se identificaron 20 clases, con una dominancia de *Abies religiosa*, que cubre 40%, del cual, 34% corresponde a bosque cerrado y 6% a bosque abierto. La segunda cobertura más frecuente es la de *Pinus hartwegii* con 20%, que comprende 10.8% de su territorio con dosel abierto y 9.68% cerrado. La tercera categoría es el ecotono de bosque de *A. religiosa-P. hartwegii* con 13.6%, del cual 12.95% registró densidad cerrada y 0.66% abierta. Por último, la cobertura de bosque de *P. hartwegii-A. religiosa* fue de 6.45%, el bosque mixto, 4.8% y el bosque de *Quercus*, 2%. Se diseñó el perfil altitudinal de vegetación y climas de la Cuenca del Río Magdalena.

Palabras clave: Análisis dimensional, bosques de la Ciudad de México, cobertura vegetal, Delegación Magdalena Contreras, matriz ambiental, uso del suelo.

Fecha de recepción: 31 de julio de 2008.

Fecha de aceptación: 11 de mayo de 2009.

¹ Centro de Investigación en Geografía y Geomática "Ing. Jorge L. Tamayo" A. C. Centro Geo, CONACYT. Correo-e: geomauricio23@gmail.com

² Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

³ Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales (CENID-COMEF), INIFAP.

ABSTRACT

Although Mexico City has one of the highest population densities worldwide, 58% of its territory has been catalogued as “conservation soil”. The present study carried out a spatial dimensional analysis – of both land use and vegetation cover type – of the area known as the “Magdalena Contreras” watershed. The analysis resulted in the identification of 20 different classes with a prevailing presence (40%) of *Abies religiosa* upon 34% of closed forest and 6% in of open forest type. The second most extended vegetation cover (20%) is that of *Pinus hartwegii* distributed as well in both open (10.8%) and closed (9.68%) forests. The third most extensive forest type (13.6%) is that conformed by the so-called ecotonal forest encompassing both *A. religiosa* and *P. hartwegii*, 12.95% of which is located in a closed forest and 0.66% in an open forest. At last, the closed forest conformed by *P. hartwegii* and *A. religiosa* represents a 6.45%, the mixed forest a 4.8% and the *Quercus* forest a 2%. By crossing geographic information generated a environmental matrix, which allowed for an environmental analysis of the key components needed, to know the area and location of each of the vegetation cover as a function of temperature, precipitation, elevation, edafology and aspect.

Key words: Dimensional analysis, Mexico city forests, vegetation cover, Magdalena Contreras, environmental matrix, land use.

INTRODUCCIÓN

El cambio en el uso del suelo y cobertura vegetal asociados a la fragmentación del hábitat es uno de los más severos efectos de las actividades antrópicas en la faz de la tierra (Soulé y Orians, 2001); es una de las principales causas del incremento de las tasas de extinción de especies en las décadas recientes (Henle *et al.*, 1996 citado por Soulé y Orians, 2001). Todas las estimaciones de la superficie afectada por estos fenómenos, son indicadores de un severo problema que se está acentuando y que tiene que ver directamente con el cambio en la cobertura vegetal hacia otro uso del suelo y el deterioro ambiental (Lambin, 1994; Ordóñez *et al.*, 2008).

Estudios relacionados a los cambios en la cobertura vegetal están teniendo una mayor atención debido esencialmente a las implicaciones de la deforestación (Brown y Lugo, 1994; Lund, 2000; Schlamadinger y Karjalainen, 2000). A nivel regional, dicho proceso genera la reducción de la cubierta vegetal, el detrimento de los recursos forestales, el deterioro físico y químico del suelo, alteración del balance hídrico y la desestabilización de cuencas; a nivel global altera el albedo y el balance de agua atmosférica, pudiendo afectar los patrones climáticos y contribuir al calentamiento global (Houghton, 1991; Lugo, 1992;

Whitmore, Meli 2003; Lund, 2006). Otra de las consecuencias es la reducción y fragmentación del hábitat (Meffe y Carroll, 1994; Murcia, 1995) con la consecuente disminución de la biodiversidad, y la eliminación de variabilidad genética de poblaciones y especies (Saunders *et al.*, 1991; Whitmore y Sayer, 1992; Brooks *et al.*, 2002) sumado a una clara pérdida de los servicios ambientales y bioculturales (Otegui-Acha, 2007).

Herramienta para el análisis del cambio en el uso del suelo

Actualmente las herramientas usadas para el estudio del cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo emplean sistemas de información geográfica (SIG), los cuales fueron desarrollados en los años 70 a la par de las computadoras; esto permite el manejo de grandes volúmenes de datos. Lo que antes sólo se presentaba en mapas, se transformó a un formato digital para su análisis electrónico. Las capacidades más importantes que se generaron son: a) tener datos georreferenciados actualizados y b) integrar múltiples conjuntos y procesos de información, de manera rápida y eficiente (Aronoff, 1989).

En un sentido amplio, un sistema de información geográfica es cualquier conjunto manual o computarizado de procedimientos usados para almacenar y manipular datos georreferenciados. El almacenar datos en un SIG implica su ingreso al sistema, y su manipulación que concluiría con un mapa. A diferencia de otros sistemas que trabajan con este tipo de datos, los SIG tienen la capacidad de crear información mediante la integración; aunque no llegan a tener la del cerebro humano, esta cualidad les confiere una gran ventaja sobre los sistemas que sólo hacen representaciones con los datos, como lo son los cartográficos (Aronoff, 1989).

La implementación de sistemas de información geográfica, de percepción remota y de cartografía, como herramientas de automatización e integración para el manejo sustentable de los recursos naturales y el ordenamiento territorial de una comunidad, ocupan un lugar relevante porque fortalecen la evaluación y el monitoreo de los recursos, que es la base del desarrollo comunitario (Bocco *et al.*, 1996).

La percepción remota (fotografías aéreas e imágenes de satélite) amplía la capacidad de observación para la obtención de datos sobre un fenómeno con dimensión espacial; los sistemas cartográficos simbolizan los datos geográficos mediante mapas (en papel o digitales), mientras que los sistemas de información geográfica analizan y generan información a partir de esos datos.

La información que se genera por medio de los sistemas de percepción remota, como son las imágenes de satélite, ha sido aplicada a la evaluación de recursos y riesgos naturales, mediante los SIG. La clasificación espectral se ha utilizado, por ejemplo, en la detección y cuantificación de terrenos erosionados, con el supuesto de que éstos constituyen una clase espectral identificable; sin embargo, existe inconsistencia en la identificación de las clases, pues distintos objetos pueden tener una respuesta muy similar, esto ocurre también con los cuerpos de agua, debido a la gran cantidad de sedimentos que pueden contener. Por ello es muy importante la experiencia y el conocimiento del intérprete sobre el área (Bocco *et al.*, 1994).

El ordenamiento ecológico del territorio consiste en la integración de la relación entre la oferta ambiental (biótica y abiótica) y la demanda social; este proceso debe ser precedido por una serie de pasos metodológicos para que el ejercicio final de organización espacial sea efectivo (Bocco *et al.*, 1996). El ordenamiento ecológico basado en una regionalización con límites naturales conduce a un mejor entendimiento de los recursos bióticos tanto para fines de conservación, como de aprovechamiento (Bocco y Ortiz, 1994).

La integración de los SIG y los Modelos Ambientales (MA) es una propuesta analizada por Fedra (1993), quien dice que la sobreposición y relación entre las tecnologías, los métodos y los paradigmas de ambos campos, son una idea promisoria en la investigación científica actual, pues además de poder trabajar mejor y más rápido, surgen nuevos conceptos e ideas o un nuevo paradigma, que permiten hacer cosas diferentes.

Como las unidades básicas de los MA tienen una distribución espacial y ésta afecta considerablemente los procesos y dinámicas de sus interacciones, los SIG tienen una gran utilidad para la formulación de modelos ambientales y, al mismo tiempo, esta aplicación hace más atractivos a los SIG. Una integración profunda de los SIG y los MA permite a los especialistas liberarse de los problemas técnicos, para concentrarse en el reconocimiento de patrones emergentes, evaluaciones comparativas de alternativas complejas y en otras tareas como la valoración del impacto ambiental (Fedra, 1993).

Vegetación y uso de suelo en la Cuenca del Río Magdalena

El Distrito Federal es una de las megalópolis con mayor demanda habitacional y de infraestructura que ejercen una presión a la conversión de las coberturas vegetales. Aún así cuenta con 87,000 ha (58% de su territorio) consideradas como suelo de conservación (Fernández *et al.*, 2002), de las cuales 9.3%

corresponde a Áreas Naturales Protegidas de diferentes categorías (GDF, 2000). Dentro de la categoría de Zona Protectora Forestal, se localiza la Cañada de Contreras, ubicada en la Cuenca del Río Magdalena (CRM) (SEMARNAP, 1996).

Dicha cuenca se extiende sobre parte del suelo de conservación de las delegaciones Magdalena Contreras, Álvaro Obregón y Cuajimalpa, ocupando la primera, el mayor territorio (Figura 1). Se ubica en el suroeste del Valle de México, sobre la Sierra de las Cruces, misma que pertenece a la región fisiográfica del Sistema Volcánico Transversal, dentro de las subprovincia de Lagos y Volcanes de Anáhuac (INEGI, 2005a; INEGI, 2005b; INEGI, 2005c; INEGI, 2005d). Sus coordenadas extremas son: $19^{\circ}17'52''$ y $19^{\circ}14'35''$ de latitud norte y $99^{\circ}20'18''$ y $99^{\circ}15'06''$ de longitud oeste (GDF, 2000).

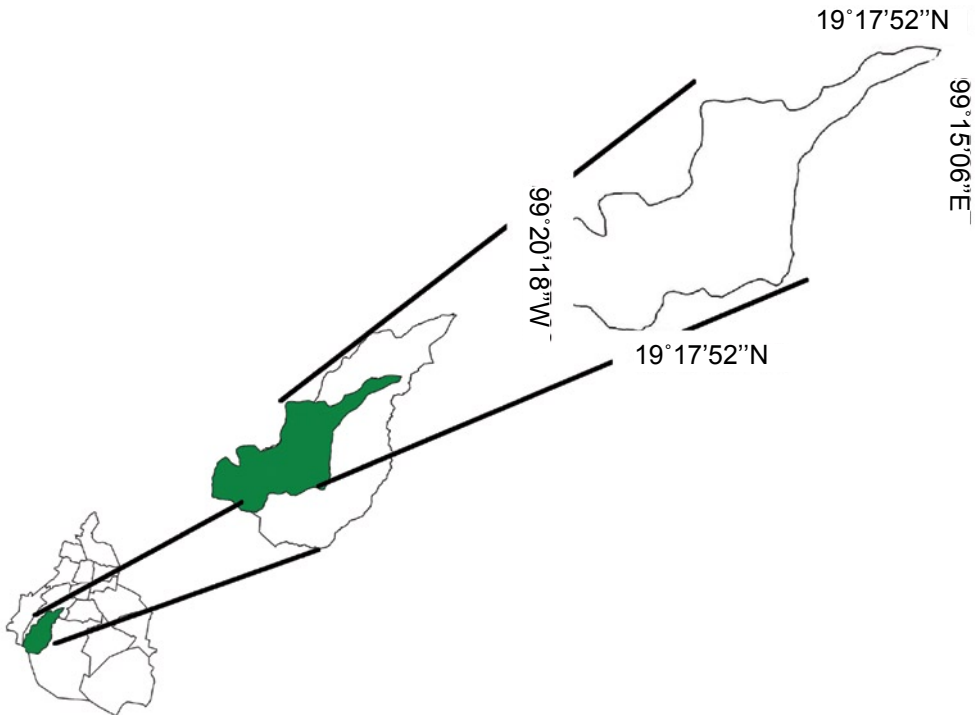


Figura 1. Localización de la Cuenca del Río Magdalena.

Tiene una superficie de 2,981.3 ha y presenta un relieve accidentado que va de los 2,480 a 3,860 msnm; ahí se desarrollan bosques de *Abies religiosa* (HBK.) Schltdl. et Cham., así como de *Pinus* spp., *Quercus* spp. y mixto. Los tipos de clima de la zona son templado subhúmedo [$C(w_2)(w)$] y semifrío subhúmedo [$C(e)(w_2)(w)$], ambos con lluvias en verano y los suelos de tipo andosol húmico (GDF, 2000).

La cuenca da vida al río Magdalena, que es uno de los cuerpos de agua más significativos de la ciudad, con un volumen permanente de $1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, aproximadamente y funge como fuente de abastecimiento de agua potable (CNA, 1997). Además de la elemental función que desempeña la cuenca en la recarga del acuífero, también mitiga la contaminación ambiental al servir como reservorio de CO_2 (gas de efecto invernadero) y ayuda a la conservación de la biodiversidad al albergar un sin fin de especies animales y vegetales. Otro valioso servicio para la ciudadanía es el esparcimiento debido a la belleza escénica que resguarda.

La CRM enfrenta un sostenido proceso de degradación de sus recursos naturales, en particular el área contigua a la zona urbana, que está seriamente amenazada por los asentamientos humanos irregulares, perdiendo de manera constante los ecosistemas que brindan los servicios antes mencionados (Fernández *et al.*, 2002). Además, adolece de discrepancias normativas y del territorio que le es propio.

Sobre la Cañada de los Dinamos existen un acuerdo y un decreto; el primero es una declaratoria de Zona Protectora Forestal los Bosques de la Cañada de Contreras, D. F. del 27 de junio de 1932, que establece una superficie de 3,100 ha, correspondientes a terrenos forestales de la Hacienda de la Cañada y del Pueblo de la Magdalena (SEMARNAP, 1996). El segundo es un decreto presidencial a favor de la creación de la Unidad Industrial de Explotación Forestal para la fábrica de papel Loreto y Peña Pobre y se establece la Zona de Protección Forestal del río Magdalena el 19 de mayo de 1947 (SEMARNAP, 1996). Dicha región abarca una faja de 12 km de longitud desde el nacimiento del río aguas abajo con una anchura de 500 m (aproximadamente 1,200 ha) a cada lado del cauce (Fernández *et al.*, 2002).

Por otra parte, el Programa General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal, publicado oficialmente en el año 2000, contradice tanto al acuerdo como al decreto mencionados, ya que define como área natural protegida una superficie de 215 ha con categoría de zona protectora forestal. Además de las contradicciones jurídicas, el área natural protegida del río Magdalena exhibe un importante traslape con una presunta propiedad privada, el predio La Cañada de 111.8 ha (GDF, 2000).

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es generar un mapa de vegetación y uso de suelo en el que se aprecie la distribución de las diferentes coberturas vegetales y la superficie que ocupa cada una de ellas; aunado al análisis de la correlación con las variables ambientales de la CRM, a fin de que pueda ser un elemento clave en la toma de decisiones para la conservación, manejo y uso de los recursos naturales de la zona y las estrategias a seguir en su ordenamiento territorial.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el diagrama de flujo que se presenta a continuación, se indican las actividades que se llevaron a cabo para desarrollar el estudio (Figura 2).

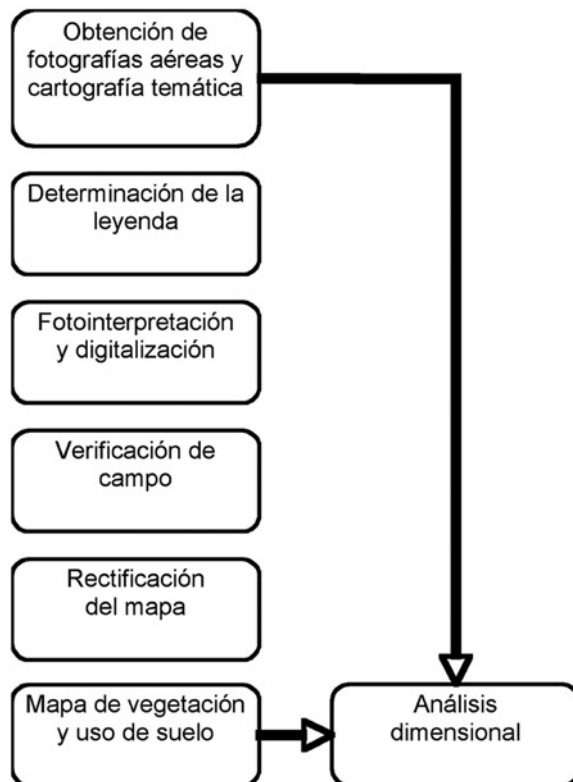


Figura 2. Esquema de las actividades realizadas para el desarrollo del estudio.

Elaboración del mapa de vegetación y uso de suelo

Las clases de cobertura vegetal y uso de suelo para la elaboración del mapa, se definieron con base en los criterios del reporte técnico del Inventario Nacional Forestal (INF) del año 1994, que divide a los bosques a partir de su cobertura de copa, del 10 al 40% de su superficie como abierto y una cobertura mayor al 40% como cerrado (SARH, 1994), identificando las mismas categorías de cobertura vegetal y uso de suelo. Para fines de este mapa, dichas clases fueron reagrupadas en 26 (Cuadro 1).

Cuadro 1. Clases de cobertura vegetal definidas en el presente estudio y su correlación con las clases establecidas por el Inventario Nacional Forestal de 1994.

Clases en este estudio	Claves	Clases del INF
Agricultura	AGR	Agricultura de riego Agricultura de temporal
Asentamientos humanos	AS	Zona urbana
Bosque de <i>Abies religiosa</i> abierto	BA1	Bosque de oyamel abierto
Bosque de <i>A. religiosa</i> cerrado	BA2	Bosque de oyamel cerrado
Bosque de <i>A. religiosa-Pinus hartwegii</i> abierto	BA-Ph1	Bosque de otras coníferas abierto
Bosque de <i>A. religiosa-P. hartwegii</i> cerrado	BA-PH2	Bosques de otras coníferas cerrado
Bosque de <i>A. religiosa-Pinus</i> sp. abierto	BA-Psp1	Bosques de otras coníferas abierto
Bosque de <i>A. religiosa-Pinus</i> sp. cerrado	BA-Psp1	Bosques de otras coníferas cerrado
Bosque de <i>A. religiosa-Quercus</i> sp. abierto	BA-Q1	Bosques de otras coníferas abierto
Bosque de <i>A. religiosa-Quercus</i> sp. cerrado	BA-Q2	Bosques de otras coníferas cerrado
Bosque de <i>Quercus</i> sp. abierto	BQ1	Bosque de encino abierto

continúa...

continuación Cuadro 1...

Clases en este estudio	Claves	Clases del INF
Bosque de <i>Quercus</i> sp. cerrado	BQ2	Bosque de encino cerrado
Bosque de <i>Quercus</i> sp.- <i>A. religiosa</i> abierto	BQ-A1	Bosques de otras coníferas abierto
Bosque de <i>Quercus</i> sp.- <i>A. religiosa</i> cerrado	BQ-A2	Bosque de otras coníferas cerrado
Bosque de <i>P. hartwegii</i> abierto	BPh1	Bosque de pino abierto
Bosque de <i>P. hartwegii</i> cerrado	BPh2	Bosque de pino cerrado
Bosque de <i>Pinus</i> sp. abierto	BPsp1	Bosque de pino abierto
Bosque de <i>Pinus</i> sp. cerrado	BPsp2	Bosque de pino cerrado
Bosque de <i>P. hartwegii</i> - <i>A. religiosa</i> abierto	BPh-A1	Bosque de otras coníferas abierto
Bosque de <i>P. hartwegii</i> - <i>A. religiosa</i> cerrado	BPh-A2	Bosques de otras coníferas cerrado
Bosque de <i>Pinus</i> sp.- <i>A. religiosa</i> abierto	BPsp-A1	Bosques de otras coníferas abierto
Bosque de <i>Pinus</i> sp.- <i>A. religiosa</i> cerrado	BPsp-A2	Bosques de otras coníferas cerrado
Bosque mixto	BM	No considerado
Cuerpos de agua	H ₂ O	Cuerpos de agua
Pastizal	PAS	Pastizal inducido
Plantación forestal	REF	Plantación forestal

Las fotografías aéreas proceden de un vuelo efectuado en enero del 2005 con dirección norte-sur y a escala 1:10,000. La fotointerpretación se hizo mediante el método de observación con ejes paralelos con ayuda de un estereoscopio de espejos marca Zeiss. La clasificación de la vegetación se basó de acuerdo con la leyenda antes definida. La digitalización del mapa se hizo en pantalla usando el software Autocad Map 2002 y la base de datos en ArcGis 9.2 m.

Se realizó un cruce de información del mapa de vegetación y uso de suelo con un modelo digital del terreno y con los mapas temáticos de: clima, temperatura, precipitación, suelo y orientación, y se determinó el área de cada clase.

RESULTADOS

Mapa de vegetación y uso de suelo

Las superficies cubiertas por cada una de las clases de cobertura vegetal y uso de suelo se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Áreas de las clases de la cobertura vegetal y uso de suelo en la Cuenca del Río Magdalena.

Clases	Superficie (ha)	Porcentaje
Agricultura	31.98	1.07
Asentamientos humanos	99.60	3.34
Bosque de <i>A. religiosa</i> abierto	183.08	6.14
Bosque de <i>A. religiosa</i> cerrado	1012.09	33.95
Bosque de <i>A. religiosa-Pinus hartwegii</i> abierto	19.69	0.66
Bosque de <i>A. religiosa-P. hartwegii</i> cerrado	386.21	12.95
Bosque de <i>A. religiosa-Pinus</i> sp. abierto	16.49	0.55
Bosque de <i>A. religiosa-Quercus</i> sp. cerrado	11.38	0.38
Bosque de <i>Quercus</i> sp. cerrado	59.73	2.00
Bosque de <i>Quercus</i> sp.- <i>Pinus</i> sp. cerrado	17.27	0.58
Bosque de <i>P. hartwegii</i> abierto	322.14	10.80
Bosque de <i>P. hartwegii</i> cerrado	288.56	9.68
Bosque de <i>P. hartwegii-A. religiosa</i> cerrado	192.19	6.45
Bosque de <i>Pinus</i> sp. abierto	20.57	0.69
Bosque de <i>Pinus</i> sp. cerrado	6.47	0.22

continúa...

Continuación cuadro 2...

Clases	Superficie (ha)	Porcentaje
Bosque de <i>Pinus</i> sp. cerrado	6.47	0.22
Bosque de <i>Pinus</i> sp.- <i>A. religiosa</i> cerrado	12.21	0.41
Bosque Mixto	143.24	4.80
Cuerpos de agua	0.17	0.01
Pastizal	164.15	5.51
Plantación forestal	6.51	0.22
Total	2981.53	100

En la cuenca del Río Magdalena *Abies religiosa* tiene dominancia y cubre 40% de su superficie, 34% en su porción de bosque cerrado y 6% en el bosque abierto. La segunda cobertura más frecuente en la cuenca es la de *Pinushartwegii* Lindl. con 20%, integrada por 10.8% de bosque abierto y 9.68% de bosque cerrado. La tercera categoría en ocurrencia es el ecotono de bosque de *Abies religiosa-Pinus hartwegii* con 13.6%, del cual 12.95% presenta densidad cerrada y 0.66%, densidad abierta. Por último, las coberturas de bosque de *Pinus hartwegii-Abies religiosa* cerrado ocupan 6.45%; el bosque mixto, 4.8% y el bosque de *Quercus*, 2%. El resto de las clases de cobertura vegetal se hallan en machones aislados y no representan más de 3% de la cuenca del Río Magdalena. En cuanto a las categorías de uso de suelo, los pastizales son la primera clase en cobertura con 5.5% de la superficie del área de estudio, seguida de los asentamientos humanos con 3.3% y, por último, las zonas de agricultura con 1% (Cuadro 2).

El mapa con las diferentes clases de cobertura vegetal y uso de suelo (CVUS) se muestra en la Figura 3; para validar cada una de las diferentes CVUS se tomaron 266 puntos de verificación en campo usando tres GPS y cotejando simultáneamente en el mapa de cobertura vegetal con las especies identificadas, para realizar la comparación *vis a vis*.

A partir de la información generada por cada una de las variables ambientales (altitud, clima, tipo de vegetación, temperatura, precipitación, suelo y orientación), se realizó un cruce espacial de cada una de ellas con las clases de cobertura vegetal y uso del suelo. De ello se obtuvo la matriz reunida en el Cuadro 3. Para conocer la distribución altitudinal de la vegetación con respecto al clima en la cuenca, se elaboró un perfil longitudinal con base en el mapa de vegetación y uso de suelo (Figura 4), donde se integró el clima (señalado con diferentes colores).

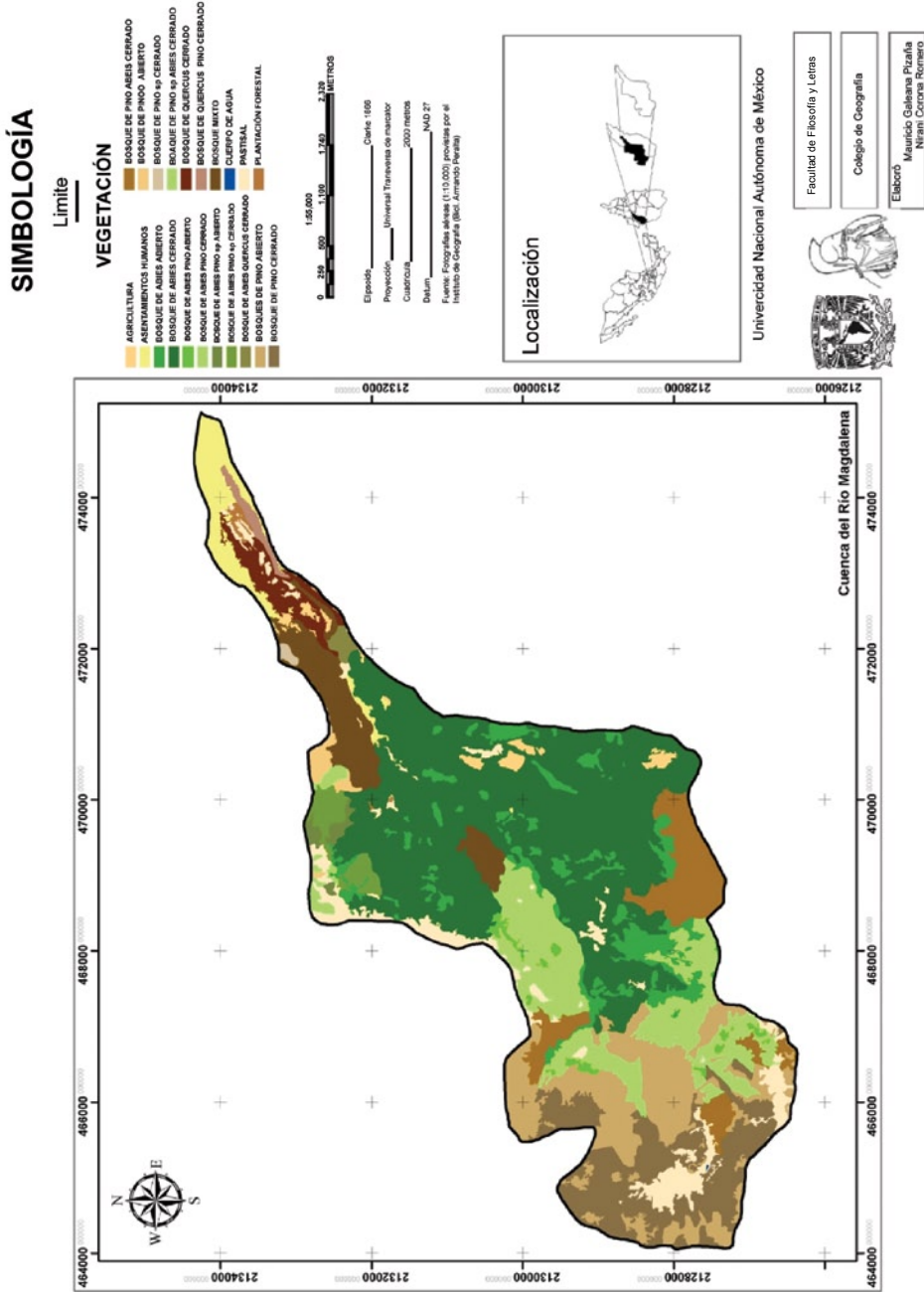


Figura 3. Mapa de vegetación y uso de suelo de la Cuenca del Río Magdalena.

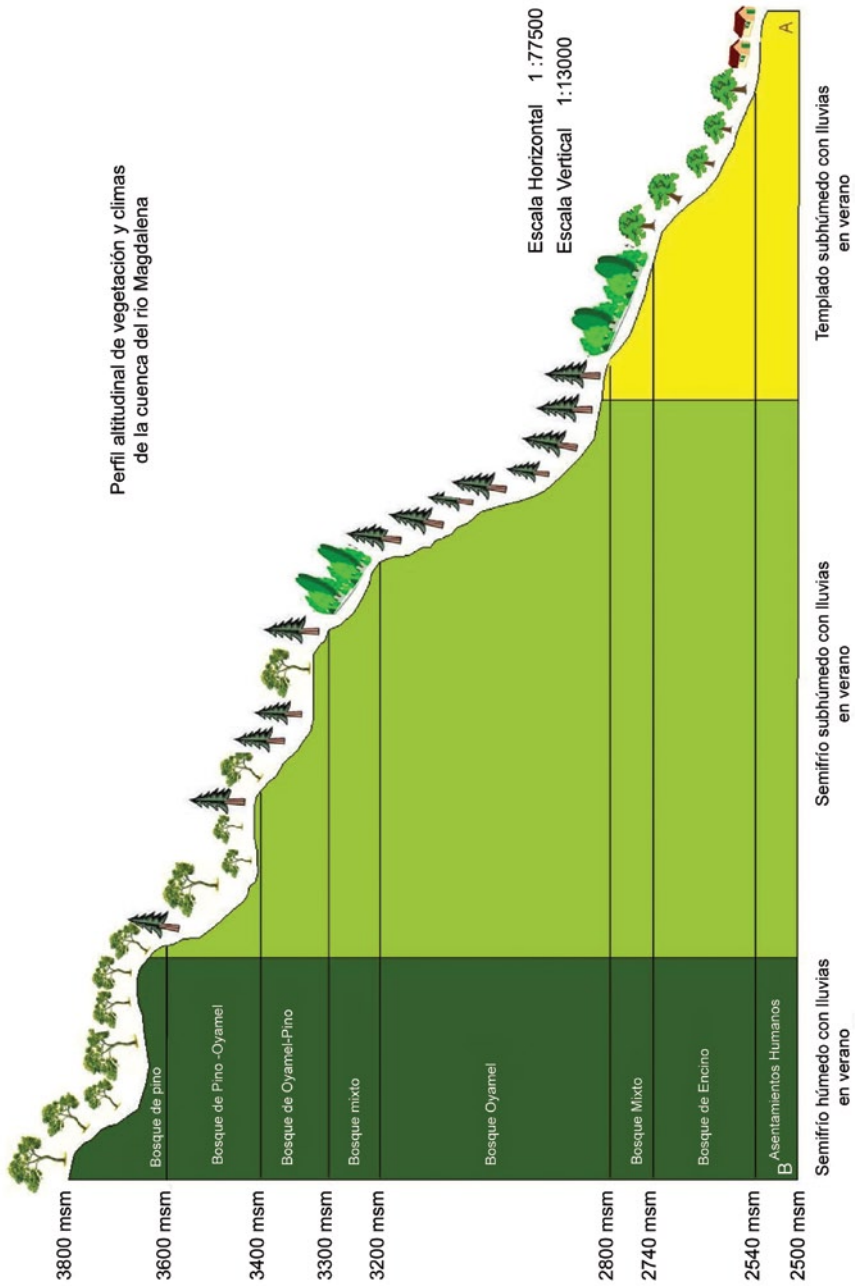


Figura 4. Perfil longitudinal de la Cuenca del Río Magdalena.

Cuadro 3. Matriz de las variables ambientales registradas en la cuenca del Río Magdalena.

Clase	Altitud (msnm)	Clima	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)	Suelo	Orientación	Área (%)
Agricultura	Parcelas	C(w ₁)(w)	10-13	1,000-1,200	Litosol		
Asentamientos humanos	2,700-3,200	C(e)(w ₂)(w)			Fezoem	E-N	31.98(1.07)
	2,480-3,050	C(w ₂)(w) C(e)(w ₂)(w)	11-15	900-1,200	Feozem háplico Andosol húmico	Heterogénea	99.60(3.34)
Bosque de <i>Abies religiosa</i> abierto	2,800-3,200	C(e)(w ₂)(w)	9-13	1,100-1,200	Andosol húmico	N - NE- NW	183.08 (6.14)
	2,800-3,200	C(e)(w ₂)(w)	9-13	1,100-1,200	Andosol húmico	N - NE- NW	1012.09 (33.95)
Bosque de <i>Abies religiosa-Pinus hartwegii</i> abierto	3,100-3,600	C(e)(w ₂)(w)	9-11	1,250	Andosol húmico	Heterogénea	19.69(0.66)
	3,100-3,600	C(e)(w ₂)(w)	9-11	1,250	Andosol húmico	Heterogénea	386.21(12.95)
Bosque de <i>Abies religiosa-Pinus hartwegii</i> cerrado	3,450-3,500	C(e)(w ₂)(w)	11	1,250	Andosol húmico	S-SE	16.49 (0.55)

continúa...
Continúa cuadro 3...

Clase	Altitud (msnm)	Clima	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)	Suelo	Orientación	Área (%)
Bosque de <i>Abies religiosa</i> - <i>Quercus</i> cerrado	2,750	C(w ₂)(w)	13	1,100	Andosol húmico	N-NW	11.38 (0.38)
Bosque de <i>Quercus</i> spp. cerrado	2,500-2,700	C(w ₂)(w)	13-14	1,000-1,100	Litosol Feozem háplico Andosol húmico	S-SE	59.73(2.00)
Bosque de <i>Quercus-Pinus</i> sp. cerrados	2,500-2,600	C(w ₂)(w)	13-14	1,000	Andosol húmico	N	17.27 (0.58)
Bosque de <i>Pinus hartwegii</i> abierto	3,400-3,860	C(e)(w ₂)(w) C(e)(m)(w)	9-10	1,250	Andosol ocríco Andosol húmico	S-E-SE	322.14(10.80)

continúa...

Continúa cuadro 3...

Clase	Altitud (msnm)	Clima	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)	Suelo	Orientación	Área (%)
Bosque de <i>Pinus hartwegii</i> cerrado	3,500-3,860	C(e)(w ₂)(w) C(e)(m)(w)	10	1,250	Andosol ocríco Andosol húmico	S-E-SE-N	288.56 (9.68)
Bosque de <i>Pinus hartwegii-Abies religiosa</i> cerrado	3,500-3,600	C(e)(w ₂)(w)	9-10	1,200	Andosol húmico Andosol mólico Litosol	Heterogénea	192.19(6.45)
Bosque de <i>Pinus</i> sp. abierto	3,100-3,450	C(e)(w ₂)(w)	11-12	1,100-1,200	Andosol húmico	S-SE	20.57 (0.69)
Bosque de <i>Pinus</i> sp. cerrado	2,950	C(e)(w ₂)(w)	13	1,100	Andosol húmico	E-SE	6.47 (0.22)

continúa...

Continúa cuadro 3...

Clase	Altitud (msnm)	Clima	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)	Suelo	Orientación	Área (%)
Bosque de <i>Pinus sp.</i> - <i>Abies religiosa</i> cerrado	3,100-3,500	C(e)(w ₂)(w)	11-12	1,200	Andosol húmico	S-SE	12.21 (0.41)
Bosque Mixto	2,700-3,100	C(e)(m)(w) C(e)(w ₂)(w)	11-13	1,100-1,200	Andosol húmico Litosol	S-SW	143.24 (4.80)
Cuerpos de agua (presa)	3,545	C(e)(w ₂)(w)	10	1,270	Andosol húmico	NE	0.17 (0.01)
Pastizal	2,450-3,750	C(w ₂)(w) C(e)(w ₂)(w) C(e)(m)(w)	9-15	1,000-1,300	Andosol	Heterogénea	164.15(5.51)

DISCUSIÓN

Las características ambientales y geomorfológicas de la cuenca favorecen la dominancia del bosque de *Abies*, que cubre 40% de la superficie total del área de estudio en rodales puros; se aprecia que se ubican ampliamente siguiendo una orientación norte, noreste y noroeste, en la que presentan cuatro coberturas dominantes derivadas de los ecotonos con *Pinus* sp. (14%) y *Quercus* spp., (0.4%) en sus respectivas densidades (abierto y cerrado) con orientaciones heterogéneas.

Los bosques de *Pinus hartwegii* cubren 20% de la superficie del área de estudio en rodales puros; se distribuyen hacia el sur, este y sureste preferentemente y abarca 6.5% del área en su ecotono con *Abies religiosa* (HBK.) Schtdl. et Cham. Se observa la existencia de otras especies del género *Pinus* que fueron inducidas por campañas de reforestación (1.2%).

El bosque de *Quercus* spp. ocupa 2% del área de estudio y su ecotono con *Pinus* sp., 0.6%. En el bosque de *Quercus* spp. se encontraron determinadores propios de un bosque mesófilo (*Garrya laurifolia* Hartw. ex Benth., *Quercus laurina* Humb et Bonpl. y *Clethra mexicana* DC.), lo que concuerda con lo que se reporta en el Inventario Forestal del Edo. de Méx. y D. F. (SAG, 1974). En 34 años este bosque ha ido perdiendo sus condiciones prístinas, quedando en la actualidad sólo especies que dan indicio de que estuvo presente. Este proceso de extinción se puede deber al crecimiento de la mancha urbana y al incremento de la densidad poblacional; a la introducción de especies exógenas o posibles disturbios de las condiciones microclimáticas necesarias para la permanencia de ese tipo de vegetación. El costo para su restauración es muy alto y seguramente no es prioritario.

El bosque mixto abarca una superficie del área de estudio del 4.8%, al no contar con datos de crecimiento de latifoliadas, no se incluyó el análisis de esta cobertura en esta primera etapa del proyecto, al igual que el área clasificada como pastizal que abarca 5.5% de la superficie estudiada y el área agrícola que se extiende 1% de ésta (Cuadro 3).

Se ha observado la transformación del ecosistema derivada del crecimiento de la mancha urbana; en este sentido se aprecia un área de afectación del 3.3%, distribuida principalmente del borde donde comienza la cuenca con rumbo sur hasta el Segundo Dinamo, lo que ha propiciado la improvisación de drenajes y de tomas de agua. El resultado ha sido el deterioro continuo de las coberturas y la afectación del Río Magdalena.

El cruce de información que genera la matriz de las variables ambientales registradas y los mapas, permiten realizar un análisis ambiental preciso y rápido de los componentes principales; al conocer la superficie que ocupa cada una de las clases analizadas, saber dónde y cómo se distribuyen en el espacio geográfico, aunado a la temperatura, orientación, relieve, tipo de suelo y precipitación, que en su conjunto, hacen posible concretar el análisis de la dimensión espacial en la cuenca por tipo de cobertura vegetal y uso del suelo.

El relieve y el clima son los elementos que más influencia ejercen en la adaptación de los tipos de vegetación y su ubicación. En términos ecológicos, el factor más importante para el desarrollo de las plantas es el agua, y en particular la humedad; dicho factor está ligado a la exposición de las laderas en la que éste se encuentre así como la unidad geomorfológica.

CONCLUSIONES

La distribución de la vegetación en la cuenca del Río Magdalena obedece a múltiples factores ambientales, entre los cuales destacan el relieve, el clima (temperatura y precipitación), el suelo y la exposición (humedad).

De seguir las tendencias actuales de los programas de reforestación en la cuenca del Río Magdalena, se puede dar origen a nuevas coberturas forestales, favoreciendo la dominancia de especies exógenas. El género *Pinus* es el que más se planta en todas las coberturas, lo que se puede deber a la ignorancia, a una estrategia futura para vender sus productos maderables, o porque quizás reúne a las especies que más se producen en los viveros cercanos; pero independientemente de dichas razones, se está dando lugar a cambios en la composición y estructura de estos bosques. Existen indicios de la existencia previa de bosque mesófilo en la parte baja de la cuenca, que ya no existe.

Conocer la distribución de las diferentes coberturas vegetales y su relación con las variables ambientales, ayuda a vislumbrar los elementos limitantes o determinantes que permiten tomar en cuenta acciones para desarrollar estrategias de planeación del territorio, encaminadas al manejo de los recursos naturales; ayuda también a identificar áreas susceptibles de ser vulnerables a los diferentes procesos que ocurren derivados del cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo, la presión de la transformación del paisaje por el crecimiento de la mancha urbana, el cambio climático y la pérdida de los servicios ambientales que ahí ocurre.

AGRADECIMIENTOS

Al Biól. Armando Peralta del Instituto de Geografía de la UNAM por la información proporcionada para el desarrollo del presente estudio; a la Dra. María de Jesús Ordóñez del Centro Regional de Investigación Multidisciplinaria de la UNAM por las fotografías aéreas; a Mercedes Otegui de Pronatura México, A. C., por su traducción y comentarios; a David León y Gabriela Aguirre, estudiantes de la Facultad de Filosofía y Letras de la UNAM; a Guillermo Martínez, Juan Briones y Gerardo Pantoja estudiantes de la Facultad de Ciencias de la UNAM por su colaboración en el trabajo de campo. Este estudio fue financiado en parte por el proyecto UNAM: 20993-1498-5-XI-07; INE: INE/A1-055/2007, "Comportamiento y distribución de las plagas de importancia económica en el sector forestal ante un cambio climático en México".

REFERENCIAS

- Aronoff, S. 1989. Geographic information systems: a management perspective. WDL Publications. Ottawa, Canada. pp. 31-45.
- Bocco, G., A. Velázquez, A. Torres y A. Chávez. 1996. Evaluación automatizada del paisaje, biodiversidad y ordenamiento territorial en la comunidad indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán. Taller Trabajo en Comunidades. Manejo ambiental integral en comunidades. Programa Universitario de Medio Ambiente (PUMA). Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. México. 7 p.
- Bocco, G. y M. A. Ortiz. 1994. Definición de unidades espaciales para el ordenamiento ecológico. *Jaina* 5 (1): 8-9.
- Brown, S. and A. Lugo. 1994. Rehabilitation of tropical lands: a key to sustaining development. *Restorat. Ecol.* 2: 97-111.
- Brooks, T., R. Mittermeier, C. Mittermeier, G. Da Fonseca, A. Rylands, W. Konstant, P. Flick, J. Pilgrim, S. Oldfield, G. Magin and C. Hilton-Taylor. 2002. Habitat loss and extinction in the hotspots of biodiversity. *Cons. Biol.* 16: 909-923.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 1997. Estudio de saneamiento del río Magdalena, Delegación La Magdalena Contreras, Distrito Federal. Gerencia Regional de Aguas del Valle de México. Subgerencia de Calidad del Agua e Impacto Ambiental. México, D. F. México. 217 p.
- Fedra, K. 1993. GIS and environmental modeling. *In*: Goodchild, M. F., B. O. Parks and L. T. Steyaert (Eds.). *Environmental modeling with GIS*. Oxford University Press. New York, NY. USA. pp. 35-50.
- Fernández E., A., F. Uribe, I. Ramírez, B. Apolinar y A. Vázquez. 2002. Evaluación del avance de la mancha urbana sobre el área natural protegida de la

- Cañada de los Dinamos. Instituto Nacional de Ecología. SEMARNAT. Gaceta Ecológica. No. 62. México, D. F. México. pp. 56-67.
- Gobierno del Distrito Federal. 2000. Programa General del Ordenamiento Ecológico 2000 – 2003. Secretaría de Medio Ambiente. Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural. Dirección Ejecutiva de Ordenamiento Ecológico. México, D. F. México. 133 p.
- Houghton, R. A. 1991. Tropical deforestation and atmospheric carbon dioxide. *Climatic Change* 19: 99-118.
- Instituto Nacional Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2005a. Distrito Federal, Cuaderno estadístico delegacional: Álvaro Obregón. Referencias Generales. Aspectos Geográficos. México, D. F. México. 16 p.
- Instituto Nacional Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2005b. Distrito Federal, Cuaderno estadístico delegacional: Cuajimalpa de Morelos. Referencias Generales. Aspectos Geográficos. México, D. F. México. 16 p.
- Instituto Nacional Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2005c. Distrito Federal, Cuaderno estadístico delegacional: Magdalena Contreras. Referencias Generales. Aspectos Geográficos. México, D. F. México. 16 p.
- Instituto Nacional Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2005d. Distrito Federal, Cuaderno estadístico delegacional: Tlalpan. Referencias Generales. Aspectos Geográficos. México, D. F. México. 16 p.
- Lambin, E. F. 1994. Modelling deforestation processes: a review. *Tropical Ecosystem Environment Observations by Satellites. TREES Series B, Research Report No. 1. Office of the European Commission, Directorate-General XIII. Luxembourg, Luxembourg.* 113 p.
- Lugo, A. 1992. Tropical forest uses. *In: Downing, T. E., S. B. Hecht, H. A. Pearson and C. García Downing (Eds.). Development or Destruction.* Westview Press. San Francisco, CA. USA. pp. 117-132.
- Lund, H. 2000. Definitions of forest, deforestation, afforestation, and reforestation. <http://home.att.net/~gklund/>. (mayo 16, 2002).
- Lund, H. 2006. National forest inventories and global resource assessments. *In: Forest and Forest Plants, Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS).* EOLSS Publishers, Ltd. Oxford, UK. pp. 29-65
- Meffe, G. and C. Carroll. 1994. *Principles of conservation biology.* Sinauer Associates, Inc. Stamford, CT. USA. pp. 237-264.
- Meli, P. 2003. Restauración ecológica de bosques tropicales. Veinte años de investigación académica. *Interciencia* 28(010): 581-589.
- Murcia, C. 1995. Edge effects in fragmented forest: implications for conservation. *Trends Ecol. Evol.* 10: 58-62.
- Ordóñez, J. A. B., B. H. J. de Jong, F. García-Oliva, F. L. Aviña, J. V. Pérez, G. Guerrero, R. Martínez and O. Masera. 2008. Carbon content in vegetation, litter, and soil under 10 different land-use and land-cover classes in

- the Central Highlands of Michoacan, Mexico. *Forest Ecology and Management*. Vol. 255 (7): 2074-2084.
- Otegui-Acha, M. 2007. Developing and testing a methodology and tools for the inventoring of sacred natural sites of indigenous and traditional peoples in Mexico. ALCOA, UICN, Pronatura México A. C., Fundación Rigoberta Menchu Tum. México, D. F. México. 109 p.
- Saunders, D, R. Hobbs and C. Margules. 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. *Cons. Biol.* 5: 18-32.
- Schlamadinger, B. and T. Karjalainen. 2000. Afforestation, reforestation, and deforestation (ARD) activities. *In: Land Use, Land Use Change, and Forestry - A Special Report for the IPCC*. Chapter 3. Cambridge Press. New York, NY. USA. pp. 127-180.
- Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG). 1974. Inventario Forestal del Estado de México y Distrito Federal. Subsecretaría Forestal y de la Fauna. México, D. F. México. 82 p.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 1994. Inventario Nacional Forestal Periódico 1992-1994. Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre. México, D. F. México. 81p.
- Soulé, M. and G. Orians. 2001. *Conservation biology: research priorities for the next decade*. Island Press. Sunderland, MA. USA. 127 p.
- Whitmore, T. 1997. *Tropical forest disturbance, disappearance and species loss*. Clarendon Press Ltd. Oxford, UK. 282 p.
- Whitmore, T and J. Sayer. 1992. Deforestation and species extinction in tropical forest. *In: Tropical deforestation and species extinction*. IUCN. Chapman and Hall, Ltd. London, UK. pp. 1-14.