

# Elaboración de una base de datos geográfica sobre recursos forestales: El Inventario Forestal Nacional 2001 de México

*Designing a geographic database of forest resources: 2001 National Forest Inventory, Mexico*

J. F. Mas<sup>1</sup>; A. Velázquez<sup>1</sup>; J. L. Palacio-Prieto<sup>1</sup>; G. Bocco<sup>2</sup>

Recibido en octubre de 2001; aceptado en diciembre de 2001

## RESUMEN

A solicitud de la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) desarrolló la primera fase del inventario forestal nacional de México durante los meses de marzo a octubre de 2000. El objetivo principal de este trabajo fue la elaboración de la cartografía de los recursos forestales que sirva para dar apoyo a las diversas tareas para la gestión ambiental. Para ello se elaboró un sistema clasificatorio que sea compatible con sistemas de clasificación de la vegetación ya existentes en el país y que tome en cuenta los limitantes del análisis de datos de teledetección. Se analizaron más de 120 imágenes Landsat ETM + para modificar y actualizar una base de datos sobre uso del suelo y vegetación existente. En esta nota, se presentan la metodología seguida y los principales resultados y productos obtenidos.

**Palabras Clave:** Inventario forestal, Percepción remota / teledetección, Landsat, sistemas de información geográfica, México.

## ABSTRACT

Within a contract with the Mexican Ministry of Environment (SEMARNAP), the Institute of Geography of the National University of Mexico (UNAM) carried out the first step of the National Forest Inventory of Mexico between March and April 2000. The main objective of this study was the mapping of the forest resources, which in turn can be, used to support upon land use planning policies. For this, a classification scheme, compatible with previous systems of classification of the vegetation and which takes into account the limitations of remote sensing data analysis, was elaborated. More than 120 Landsat ETM + images were analysed in order to modify and update a previous land use and vegetation database. In this note, the methodology followed and the mean results and products are described.

**Key words:** Forest inventory, remote sensing, Landsat, geographic information systems, Mexico.

## 1. INTRODUCCIÓN

México es considerado como un país megadiverso (Toledo 1988, CONABIO, 2000) y presenta grandes extensiones forestales (más de 600.000 km<sup>2</sup> que representan 30 % de su superficie aproximadamente). Sin embargo, la cubierta vegetal sufre cambios muy rápidos: se considera que la cubierta original de bosques templados y tropicales ha disminuido por lo menos el 50 % (Toledo, 1988; Maser et al., 1992). Con el fin de llevar a cabo una política de manejo y de conservación de los recursos naturales, es necesario contar con información cartográfica sobre uso del suelo y

---

1 Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Circuito exterior - Cd. Universitaria. A. P. 20-850 CP 01000 México DF México. E-mail: jfmas@igiris.igeograf.unam.mx Teléfono / Fax: (52) 43 24 71 49

2 Instituto de Ecología. UNAM. Universidad Académica Morelia. AP 27, sucursal 3, Xangari, 58089 Morelia Mich. México.

vegetación confiable y actualizada. A solicitud de la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) desarrolló la primera fase del inventario forestal nacional de México durante los meses de marzo a octubre de 2000. El objetivo principal de trabajo fue la elaboración de una base de datos espacial y su cartográfica asociada, actualizada sobre los recursos maderables y no maderables que sirva para la gestión ambiental.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El primer paso fue la definición de una leyenda que pueda ser compatible con los esfuerzos de cartografía y de clasificación de la vegetación previos a este trabajo (Miranda y Hernández, 1963 adoptado por el Instituto Nacional de Estadísticas, Geografía e Informática, Rzedowski, 1978) y, al mismo tiempo, tenga categorías de vegetación y uso del suelo que se puedan identificar en las imágenes de satélite. Además se buscó elaborar una leyenda jerárquica que permita cambiar de escala y de nivel de detalle de la leyenda.

Paralelamente, se diseñó la metodología de análisis de las imágenes de satélite Landsat ETM+. Los pasos seguidos en la preparación de las imágenes fueron los siguientes:

- a) selección de imágenes libres de nube de la época de secas,
- b) corrección geométrica de las imágenes,
- c) creación de mosaicos utilizando la geometría de los mapas del Instituto Nacional de Estadísticas, Geografía e Informática (INEGI), escala 1:250.000,
- d) mejoramiento de las imágenes y creación de composiciones a color.

El otro insumo utilizado en este trabajo fue la cartografía de uso del suelo y vegetación de INEGI, escala 1:250.000 que fue actualizada al año 1993 con base en el análisis de imágenes de satélite. Estos mapas se encuentran en formato digital y se adecuaron a la leyenda del inventario definida durante los talleres.

Se optó por analizar las imágenes en forma visual y no a través de técnicas de clasificación digital ya que la interpretación visual permite a) la obtención de resultados a menudo más confiables y b) el uso de información adicional a la información espectral (contexto, mapas existentes, reporte, datos de campo, conocimientos del intérprete) (Sader et al., 1990 y 1991; Palacio y Luna, 1995; Mas y Ramírez, 1996). Para la interpretación visual se utilizaron las composiciones a color y los mapas de INEGI, ambos impresos a la escala 1:125.000. Un pequeño grupo de foto-intérpretes experimentados actualizó y modificó los mapas de INEGI bajo la asesoría de especialistas en cartografía y en vegetación de la UNAM y otras instancias del país y la supervisión de INEGI. Los mapas fueron integrados en un sistema de información geográfica (SIG) para generar una base de datos digital para todo el territorio nacional. Se desarrollaron diferentes programas informáticos para detectar posibles errores introducidos durante el proceso de captura en la base de datos.

Para evaluar la confiabilidad de los productos cartográficos se tomaron más de 60.000 fotografías aéreas digitales distribuidas en todo el país. La interpretación de estas fotografías, mucho más detalladas que las imágenes de satélite (píxeles de un metro aproximadamente),

permite obtener sitios de verificación, seleccionados con base en un diseño estadístico robusto, que se usan para medir la confiabilidad de los mapas. El análisis de los datos se hace generalmente a través de una matriz de confusión que permite confrontar la información de los sitios de verificación con aquella de la base cartográfica que se pretende evaluar. Con base en esta matriz se desarrollaron varios índices de confiabilidad (Stehman y Czaplewski, 1998) como la confiabilidad global (proporción de los sitios de verificación correctamente clasificados en la base cartográfica). Existen también índices que dan cuenta de la confiabilidad de cada una de las clases de la leyenda como a) la confiabilidad del usuario que puede interpretarse como la probabilidad que un punto clasificado como A y aleatoriamente seleccionado sea realmente A en el terreno y b) la confiabilidad del productor que es la proporción de sitios de verificación de la clase A que están representados en el mapa o la base de datos como tal.

### 3. RESULTADOS

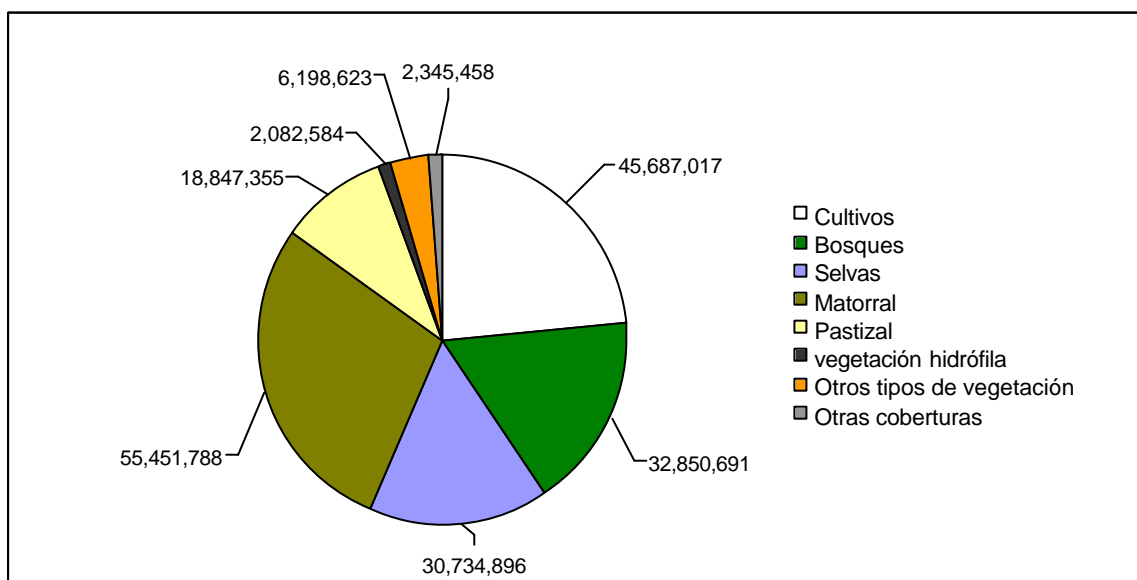
Para elaborar la leyenda se organizaron talleres en los cuales participaron los principales especialistas en cartografía de la vegetación en México. Se definió una leyenda jerárquica que comprende en total 75 categorías organizadas en 4 niveles. El nivel más general indica la formación, como selva, bosque, matorral o agricultura. Cada formación se divide en varios tipos, por ejemplo la formación *bosques* comprende cuatro tipos: 1) bosque de coníferas, 2) bosque de coníferas-latifoliadas, 3) bosque de latifoliadas y, 4) bosque mesófilo. A su vez, los tipos se subdividen en varias comunidades. Por ejemplo el tipo *bosque de coníferas* se divide en bosque de táscate, bosque de oyamel, bosque de pino y matorral de coníferas. El nivel más detallado (sub-comunidad) da información sobre el grado de conservación de la vegetación y no aplica para todas las comunidades (Tabla 1).

**Tabla 1.** Leyenda para la formación *Bosque*. El mismo tipo de leyenda anidada se elaboró para las otras formaciones dando un total de 75 categorías.

<b>Tipo</b>	<b>Comunidad</b>	<b>Sub comunidad</b>
<b>Coníferas</b>	Bosque de táscate	Con vegetación secundaria arbórea
		Con vegetación secundaria arbustiva y herbácea
	Bosque de oyamel	Con vegetación secundaria arbórea
	(incluye ayarín y cedro)	Con vegetación secundaria arbustiva y herbácea
	Bosque de pino	Con vegetación secundaria arbórea
		Con vegetación secundaria arbustiva y herbácea
	Matorral de coníferas	Con vegetación primaria
<b>Coníferas-latifoliadas</b>	Bosque bajo-abierto	Con vegetación secundaria arbustiva y herbácea
		Con vegetación secundaria arbórea
	Bosque de pino-encino	Con vegetación secundaria arbustiva y herbácea
	(incluye encino-pino)	Con vegetación secundaria arbórea
<b>Latifoliadas</b>	Bosque de encino	Con vegetación secundaria arbustiva y herbácea
		Con vegetación secundaria arbórea
<b>Mesófilo</b>	Bosque mesófilo de montaña	Con vegetación secundaria arbustiva y herbácea
		Con vegetación secundaria arbórea

Se adquirieron 126 imágenes Landsat, la gran mayoría de ellas libres de nubes y tomadas entre los meses de enero y abril 2000. La corrección geométrica de las imágenes se llevó a cabo con base en los mapas topográficos de INEGI, escala 1:50.000 con un error cuadrático de menos de un píxel. Se elaboraron mosaicos con bases en composiciones de color utilizando principalmente las combinaciones de bandas 5,4,2 (infrarrojo y visible) y 7,5,4 (infrarrojo). Estos mosaicos se imprimieron a escala 1:125.000 para su interpretación visual para modificar y actualizar la base de datos de 1993 de INEGI.

A partir de la base de datos del año 2000 se generaron 121 mapas y 121 espaciomaps escala 1:250.000, estadísticas de superficie de los diferentes tipos de cubierta en el ámbito nacional, estatal, y de región hidrológica. Se elaboraron también diccionarios y metadatos que permiten al usuario conocer con precisión el sistema clasificatorio y las características de los diferentes productos elaborados. Parte de esta información está disponible en la página internet del Instituto de Geografía de la UNAM (<http://indy2.igeograf.unam.mx/inventario.html>). Los resultados obtenidos indican que las formaciones que ocupan más superficie son los matorrales y los cultivos, seguidos por los bosques y las selvas (Figura 1).



**Figura 1.** Superficie ocupada por las diferentes formaciones en 2000 (los números indican la superficie en hectáreas).

Para evaluar la confiabilidad de la base cartográfica, se seleccionaron aleatoriamente fotografías para que sirvan de sitios de verificación. Los pares estereoscópicos se imprimieron y fueron interpretados por un grupo de foto-intérpretes y especialistas de la vegetación altamente calificados. El ejercicio de evaluación solamente se llevó a cabo en el norte del país para el cual se disponía de fotografías aéreas digitales al finalizar la elaboración de la base de datos del inventario. En total se evaluaron seis comunidades. Estas representan en su totalidad al 13% de las comunidades contempladas en la leyenda y parcialmente a cinco tipos de vegetación.

De este ejercicio, se obtuvo un porcentaje general de confiabilidad de la cartografía que alcanzó un valor promedio de 78 % y 63 % para el productor y el usuario respectivamente (ver tabla 2). Los valores de confiabilidad obtenidos están dentro de los estándares internacionales aceptados en la literatura. Sin embargo es importante llevar a cabo esta evaluación para todo el territorio.

**Tabla 2.** Valores de confiabilidad para las seis comunidades evaluadas

<b>Comunidad</b>	<b>Exactitud del usuario</b>		<b>Exactitud del productor</b>	
	<b>%</b>	<b>d</b>	<b>%</b>	<b>d</b>
Bosque de pino	47.1	± 8.9	89.1	± 7.6
Bosque bajo-abierto	51.3	± 11.0	62.1	± 11.7
Bosque de pino-encino	52.6	± 6.7	70.0	± 7.1
Bosque de encino	82.6	± 4.9	62.9	± 5.4
Selva baja caducifolia y subcaducifolia	71.9	± 7.5	82.6	± 6.8
Matorral desértico micrófilo	71.1	± 8.3	100.0	± 0.0
<b>Promedio</b>	<b>62.8</b>		<b>77.8</b>	

%. Confiabilidad en porcentaje de sitios correctamente clasificados, d: medio intervalo de confianza de la confiabilidad.

El acervo de información que constituye la base de datos del presente inventario forestal tiene muchas aplicaciones. Entre éstas resaltan tres líneas de utilidad central: la base para el estudio de la dinámica de los recursos naturales, los fundamentos para las políticas de ocupación (ordenamiento) del territorio, y el eje central para la definición de estrategias de conservación.

Con relación al estudio de la dinámica cabe señalar que no es suficiente con la radiografía de los recursos naturales en una fecha única. El análisis del cambio de uso del suelo, los patrones generados y sus posibles causas son algunos de los temas centrales para los cuales la información que aquí se describe resulta crucial.

En las tareas de ordenamiento se busca conciliar el uso apropiado del territorio con el mínimo impacto ambiental, lo que en conjunto deriva a elevar la calidad de vida de los humanos y la permanencia de los ecosistemas. Para tal fin contar con un inventario actualizado y digital de los recursos naturales permite conocer las potencialidades y limitaciones de un territorio para fines específicos.

Finalmente, las tareas de uso y conservación de los recursos naturales demandan asegurar su persistencia y así buscar el almacén del capital natural que se convertirá en bienes y servicios ambientales con consecuencias positivas y directas para las sociedades humanas. Para esto, una base de datos espacialmente explícita que describe la condición actual de los recursos naturales es clave en la planeación estratégica de por ejemplo: un sistema de áreas naturales protegidas, áreas con potencial para la captura de carbono y cosecha de agua, conservación de la biodiversidad y valor de opción, entre otras acciones que hasta hoy día no se realiza por la falta de una base de datos como la que aquí se describe.

**REFERENCIAS**

- CONABIO. 2000. Regiones terrestres prioritarias de México, Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad (CONABIO), México D.F., 609 p.
- Mas, J. F. y I. Ramírez. 1996. Comparison of land use classifications obtained by visual interpretation and digital processing. *ITC Journal*. (3/4): 278-283.
- Masera, O.; M. J. Ordóñez, y R. Dirzo. 1992. Emisiones de carbono a partir de la deforestación en México. *Ciencia*. 43: 151-153.
- Miranda F. y X. Hernández. 1963. Los Tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 28. 73 p.
- Palacio, J. y L. Luna. 1995. Clasificación espectral automática vs. Clasificación visual. Un ejemplo al sur de la Ciudad de México. *Investigaciones Geográficas*. 29: 25-40. Instituto de Geografía, UNAM., Mexico.
- Rzedowski J. 1978. *Vegetación de México*. Editorial Limusa. Mexico. 314 p.
- Sader, S.; G. Powell y J. Rappole. 1991. Migratory bird habitat monitoring through remote sensing. *Int. J. Remote Sens.* 12 (3):363-372
- Sader, S.; T. Stone y A. Joyce. 1990. Remote sensing of tropical forests: an overview of research and applications using photographic sensors. *Photogramm. Eng. Rem. Sens.* 55(10): 1343-1351.
- Stehman S. V. y R. L. Czaplewski. 1998. Design and Analysis for Thematic Map Accuracy Assessment: Fundamental Principles, *Rem. Sens. Environ.* 64:331-344.
- Toledo, V. M. 1988. La diversidad biológica de México. *Ciencia y Desarrollo*. 14(81): 17-30.

