

UNA BASE DE DATOS GEOGRÁFICA SOBRE RECURSOS FORESTALES: EL INVENTARIO FORESTAL DE MÉXICO

JEAN-FRANÇOIS MAS¹
ALEJANDRO VELÁZQUEZ¹
JOSÉ-LUIS PALACIO-PRIETO¹
GERARDO BOCCO²

¹Instituto de Geografía – Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
Circuito exterior – Cd. Universitaria
A.P. 20-850 CP 01000 México D.F. Mexico
{jfmas, avmontes, jpalacio}@igiris.igeograf.unam.mx

²Instituto de Ecología, UNAM
Universidad Académica Morelia
AP 27, sucursal 3, Xangari, 58089 Morelia Mich. Mexico
Dirección actual : Instituto Nacional de Ecología
Periférico 5000, Col. Insurgentes Cuicuilco,
C.P. 04530, Delegación Coyoacan, México, D.F.
gbocco@ine.gob.mx

Abstract. In the year 2000, the Mexican Secretariat of the Environment (SEMARNAP) put the Institute of Geography of the National University of Mexico (UNAM) in charge of carrying out the first step of the National Forest Inventory of Mexico. The main objective of this study was the wall-to-wall mapping of land use/cover, 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/cover database. In this paper, the methodology followed, the mean results and products and some applications are described.

Keywords: forest inventory, remote sensing, Landsat, geographic information systems, Mexico.

1. Introducción

México es considerado como un país megadiverso (CONABIO, 2000; Groombridge y Jenkins, 2000) y presenta grandes extensiones forestales (más de 600 000 km² 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 de por lo menos 50 % (Masera 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 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 del trabajo fue la elaboración de una base de datos espacial actualizada y su cartográfica asociada, sobre el uso del suelo y la vegetación 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 pueden identificar en las imágenes de satélite. Además, se buscó elaborar un sistema clasificatorio jerárquico que permite cambiar de escala y el 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: a) la selección de imágenes libres de nube de la época de secas, b) la corrección geométrica, c) la creación de mosaicos utilizando la geometría de los mapas del Instituto Nacional de Estadísticas, Geografía e Informática (INEGI), escala 1/250 000 y d) el mejoramiento de las imágenes y la 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 la obtención de resultados a menudo más confiables y 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 así como la supervisión de INEGI. Los mapas fueron integrados en un sistema de información geográfico (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 la cartografía se tomaron más de 40 000 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 (**Figura 1**).

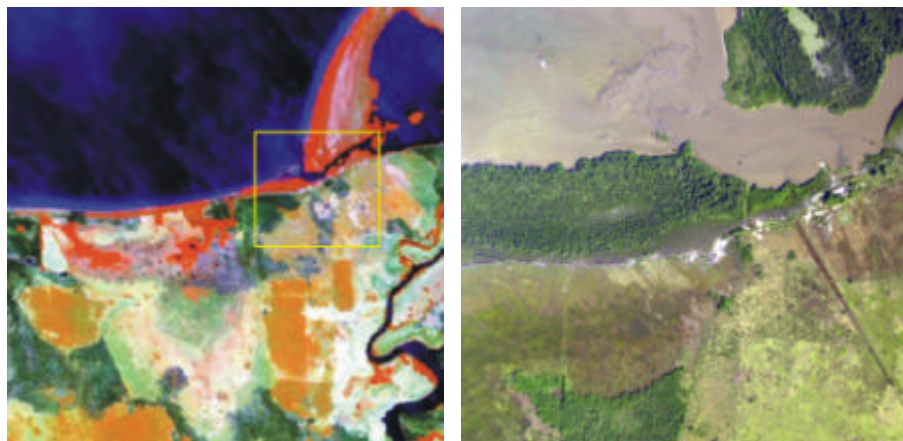


Figura 1 – Imagen Landsat y fotografía aérea digital de una zona costera tropical

3. Resultados

Se definió un sistema clasificatorio jerárquico que comprende en total 75 categorías organizadas en 4 niveles a través de talleres en los cuales participaron los principales especialistas en cartografía de la vegetación en México. 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) brinda información sobre el grado de conservación de la vegetación y no aplica para todas las comunidades (**Tabla 1**).

Tabla 1 – Sistema clasificatorio para la formación *Bosque*. La misma estructura anidada se elaboró para las otras formaciones dando un total de 75 categorías.

Tipo	Comunidad	Subcomunidad
Coníferas	Bosque de táscate	Con vegetación secundaria arbórea
		Con vegetación secundaria arbustiva y herbácea
	Bosque de oyamel	Con vegetación secundaria arbórea
		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
		Con vegetación secundaria arbustiva y herbácea
Coníferas-latifoliadas	Bosque bajo-abierto	Con vegetación secundaria arbórea
		Con vegetación secundaria arbustiva y herbácea
	Bosque de pino-encino (incluye encino-pino)	Con vegetación secundaria arbórea
		Con vegetación secundaria arbustiva y herbácea
Latifoliadas	Bosque de encino	Con vegetación secundaria arbórea
		Con vegetación secundaria arbustiva y herbácea
Mesófilo	Bosque mesófilo de montaña	Con vegetación secundaria arbórea
		Con vegetación secundaria arbustiva y herbácea

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 (RMS error) 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.

Se generaron 121 mapas y 121 espaciomapas escala 1/250 000 (**Figura 2**), 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.

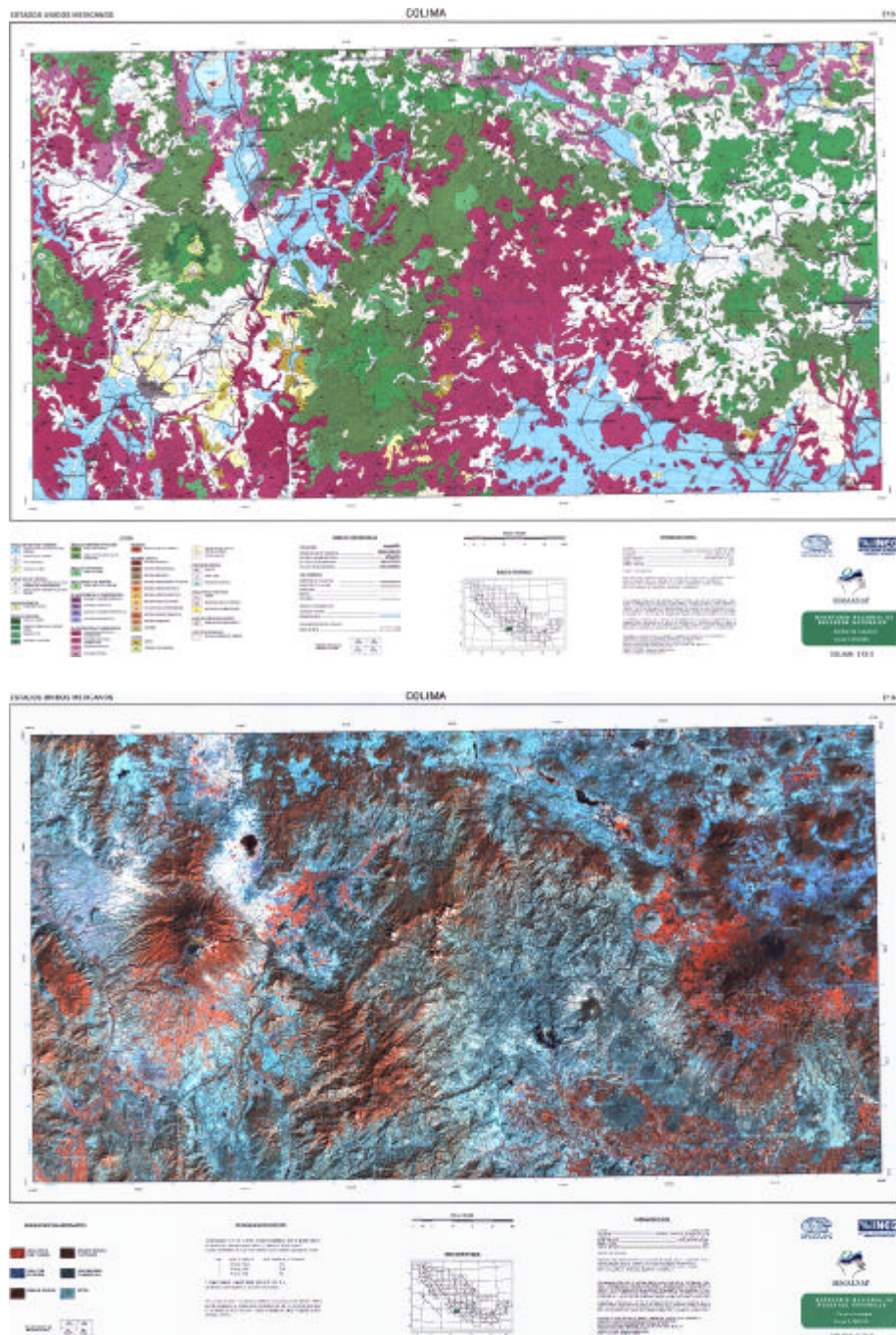


Figura 2 – Mapa y espaciomapa de la hoja "Colima"

Una 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 3**).

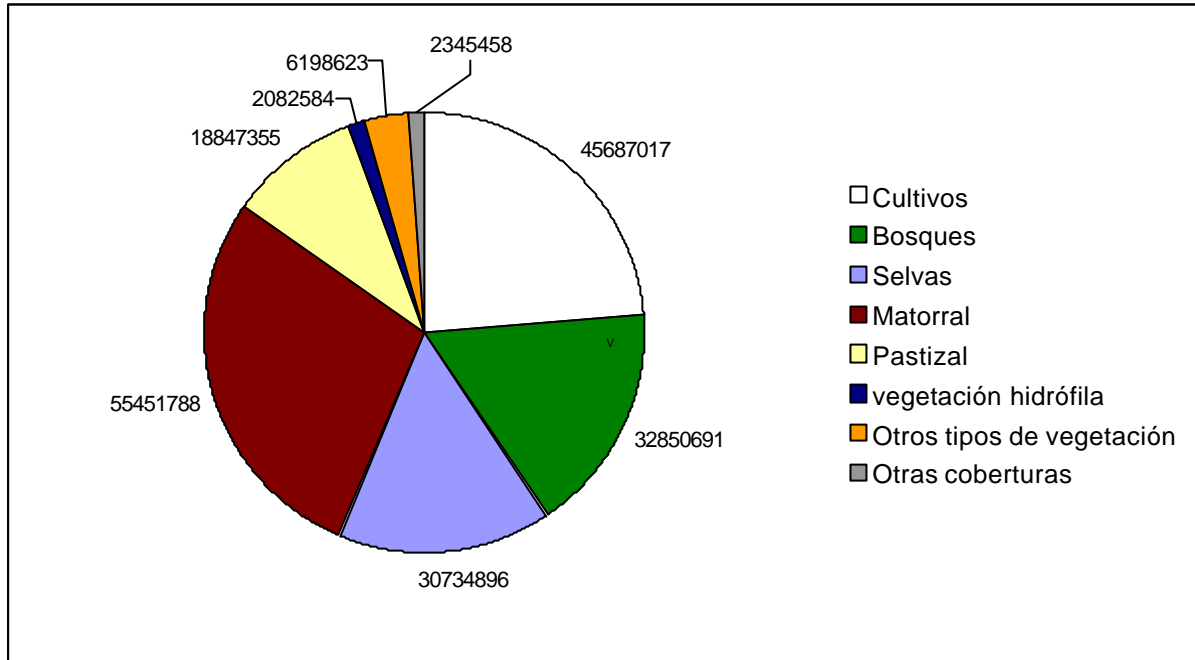


Figura 3 – Superficie ocupada por las diferentes formaciones en 2000 (los números indican la superficie en hectáreas).

Para evaluar la confiabilidad de la base cartográfica, se seleccionaron fotografías con base en un muestreo aleatorio estratificado para que sirvan de sitios de verificación (Stehman y Czaplewski 1998, Mas et al., 2002). Los pares estereoscópicos se imprimieron y fueron interpretados por un grupo de foto-intérpretes y especialistas de la vegetación. El ejercicio de evaluación se llevó a cabo en una región de 480 000 km² ubicada en el norte del país para la cual se disponía de las fotografías aéreas digitales al finalizar la elaboración de la base de datos. En total se evaluaron seis comunidades que representan el 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 (**Tabla 2**). Estos valores de confiabilidad son comparables o mejores que los reportados en ejercicios similares (Franklin et al., 2000; Zhu et al., 2000). Sin embargo, es importante llevar a cabo esta evaluación para todo el territorio.

La actualización de una base de datos existente, originalmente elaborada con base en el análisis de fotografías aéreas y de un intenso trabajo de campo, permitió tomar en cuenta un acervo de información que no hubiera sido posible obtener únicamente del análisis de las imágenes de satélite. Este enfoque demostró también ser eficiente en cuanto al tiempo y al costo de producción de la cartografía actualizada: Se dedicaron ocho meses para llevar a cabo el proyecto y el costo fue de US \$ 0.6 por km².

Tabla 2 - Valores de confiabilidad para las seis comunidades evaluadas

Comunidad	Confiabilidad del usuario		Confiabilidad del productor	
	%	d	%	d
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
Promedio	62.8		77.8	

%; 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: el estudio de la dinámica de los recursos naturales, el diseño de políticas de ordenamiento del territorio, y la definición de estrategias de conservación.

Se elaboró una base de datos multifecha con base en el presente inventario y los mapas previos de INEGI ya que estos mapas son compatibles respecto a la escala, el sistema clasificatorio y los métodos de cartografía. Esta base de datos multifecha permitió evaluar los principales procesos de cambios como la deforestación entre otros a través el cálculo de las tasas de cambio y la elaboración de matrices y de mapas de cambio (Mas et al., 2002, Velázquez et al., 2002)

Cada estado de la República Mexicana debe elaborar su ordenamiento territorial. 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 buscan asegurar la persistencia de 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 actualizada.

Referencias

- CONABIO. *Regiones terrestres prioritarias de México*. Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad (CONABIO), México D.F., 2000. 609 p.
- Franklin, J., Woodcock, C.E.; Warbington, R. Multi-Attribute Vegetation Maps of Forest Service Lands in California Supporting Resource Management Decisions, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v. 66, n. 10, p. 1209-1218, 2000.
- Groombridge, B.; Jenkins, M. D. *Global biodiversity. Earth's living resources in the 21st century*. United Nations Environment Programme (Editor), 2000. 246 p.
- Mas, J.F.; Ramírez, I. Comparison of land use classifications obtained by visual interpretation and digital processing. *ITC Journal*, n. 3/4, p.278-283, 1996.

- Mas, J.F.; Velázquez, A.; Díaz, J.R.; Mayorga, R.; Alcántara, C.; Castro, R.; Fernández, T. Assessing Land Use / Cover Changes in Mexico. In: 29th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Buenos Aires, Argentina, 8-12/04/2002. *Proceedings* (CD).
- Mas, J.F.; Velázquez, A.; Palacio-Prieto, J.L.; Bocco, G.; Peralta, A.; Prado, J. Assessing forest resources in Mexico: Wall-to-wall land use/cover mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* v. 68, n.10, p. 966-968, 2002. Disponível em: <http://asprs.org/asprs/publications/pe&rs/2002journal/october/highlight.html>
- Masera, O.; Ordóñez, M.J.; Dirzo, R. Emisiones de carbono a partir de la deforestación en México. *Ciencia*, n. 43, p. 151-153, 1992.
- Miranda, F.; Hernández, X. Los Tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, n. 28. 73 p., 1963.
- Palacio, J.; Luna, L. Clasificación espectral automática vs. Clasificación visual. Un ejemplo al sur de la Ciudad de México. *Investigaciones Geográficas*, n. 29, p. 25-40, 1995.
- Rzedowski, J. *Vegetación de México*. Editorial Limusa, Mexico, 1978. 314 p.
- Sader, S.; Powell, G.; Rappole, J. Migratory bird habitat monitoring through remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, v. 12, n. 3, p. 363-372, 1991.
- Sader, S.; Stone, T.; Joyce, A. Remote sensing of tropical forests: an overview of research and applications using photographic sensors. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 55, n. 10, p. 1343-1351, 1990.
- Stehman, S.V.; Czaplewski, R.L. Design and Analysis for Thematic Map Accuracy Assessment: Fundamental Principles. *Remote Sensing of Environment*, n. 64, p. 331-344, 1998.
- Velázquez, A.; Mas, J.F.; Díaz, J.R.; Mayorga-Saucedo, R.; Alcántara, P.C.; Castro, R.; Fernández, T.; Bocco, G.; Ezcurra, E.; Palacio, J.L. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta ecológica*, INE-SEMARNAT, n. 62, p. 21-37, 2002. Disponível em : <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/>
- Zhu, Z.; Yang, L.; Stehman, S.V.; Czaplewski, R.L. Accuracy Assessment for the U.S. Geological Survey Regional Land-Cover Mapping Program: New York and New Jersey Region. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 66, n.12, p. 1425:1438, 2000.