

# Análisis de áreas deforestadas en la región centro-norte de la Sierra Madre Occidental, Chihuahua, México

## Analysis of deforested areas in the north central region of the Sierra Madre Occidental, Chihuahua, Mexico

CARMELO PINEDO ÁLVAREZ,<sup>1</sup> ALFREDO PINEDO ÁLVAREZ,<sup>2</sup>  
REY MANUEL QUINTANA MARTÍNEZ<sup>1</sup> Y MARTÍN MARTÍNEZ SALVADOR<sup>3</sup>

### Resumen

La creciente demanda de productos y satisfactores de origen maderable requiere de información actualizada respecto a la condición y posibles cambios en uso del suelo y vegetación. Las imágenes del satélite LANDSAT TM representan una herramienta importante para generar mapas que identifiquen y detallen la extensión del disturbio de las áreas asociadas con la actividad forestal. El objetivo fue cuantificar el grado de deforestación en la región centro-norte de la Sierra Madre Occidental en Chihuahua, México. Dos fueron los objetivos específicos: el primero fue examinar las relaciones de datos espectrales del sensor LANDSAT-TM5 y TM7 para detectar cambios en la masa forestal; el segundo fue identificar los cambios de cubierta forestal a través de un análisis de componentes principales. A partir de una composición de imágenes se generó otra imagen clasificada por el método no supervisado con los mismos tipos de cubierta para ambos períodos. Además se realizó un análisis de componentes principales para detectar cambios espaciales y temporales. La comparación de imágenes clasificadas representó una buena opción para identificar cambios en la cobertura forestal. De 88,842 ha reportadas por el Inventario Nacional Forestal como áreas deforestadas, 35.2 % (31,275 has.) fue sobreestimado comparado con los resultados de este estudio. Las tasas de deforestación anual fluctuaron entre 1.9% en Basogachi y 2.7 % en San Juanito. Los mapas generados mostraron la presencia de grandes superficies deforestadas con cambios drásticos que ocurrieron en un tiempo relativamente corto.

**Palabras clave:** Deforestación, cambio de uso de suelo, clasificación multiespectral, LANDSAT-TM.

### Abstract

The natural resources are under constant use, with an ever increasing demand of its products and needs, therefore it is a must to count with updated information on the conditions and possible changes in soil and vegetation due to their utilization in forest areas. The satellite images turn out to be important tools for generating maps that detail the degraded areas associated with timber activities. The general objective of this study was to quantify the current deforestation in the central region of the mountain formation range on the state of Chihuahua, Mexico, in relation with the deforestation rates reported by the National Forest Inventory in the year 2000. There were two specific objectives: one, to examine the relation of the spectral data the LANDSAT-TM5 and LANDSAT-TM7 sensor from different years, with the aerial cover data to detect changes in the forest stands; and the second, to detect changes in the forest cover through the analysis of the main components. Information obtained from LANDSAT TM5 and TM7 of 1993 and 2003 bands respectively was used to carry this out from a spatial and temporal point of view analysis of the deforested areas. The main component analysis was used to detect space and temporal changes. A visual analysis of the first three components was used in the quantitative analysis. The temporal comparison of the classified images represents a good alternative to identify changes in the forest cover. From about 88,842 ha of deforested areas reported by the National Forest Inventory in the year 2000, 35.2% (31,275 ha) of them were overestimated as showed by this study. The annual deforestation rates range from 1.9 to 2.7% in Basogachi and San Juanito, respectively. The obtained polygons from timbered areas are big, with rapid changes in the soil and vegetation use. In most cases these changes are severe and occur in a relatively short period of time.

**Keywords:** Deforestation, changes, multiespectral classification, LANDSAT-TM.

## Introducción

La demanda creciente de productos maderables de los bosques templados y fríos ha ocasionado diferentes grados de disturbio. En el caso particular del macizo forestal de Chihuahua, debido a su alto grado de explotación, se debe considerar como prioritario prevenir las consecuencias de la deforestación y otros impactos ambientales al ecosistema forestal.

Los reportes de las tasas de deforestación anual en México varían en un rango que va de 370,000 ha (SARH, 1994) hasta 1.5 millones de ha (Maser *et al.*, 1992). Por otro lado, la Dirección del Inventario Nacional Forestal (CONAFOR, 2002) reportó tasas de deforestación de 769,000 ha anuales; de este total 76,000 ha corresponden a los bosques templados de Chihuahua. Bajo estas condiciones, es necesario disponer de información actualizada acerca del estado de salud del ecosistema forestal, con énfasis en los posibles cambios en usos del suelo. Esto es imprescindible para disponer de información real y confiable que permita una mejor planeación y administración de los recursos forestales bajo un esquema de uso sustentable.

Las imágenes de satélite surgen como una herramienta importante para manejar, planear y evaluar los recursos naturales (Buiten, 1993). Su integración a los sistemas de información geográfica permite beneficios en la obtención de información que incluye el análisis a detalle de pequeñas áreas, así como de grandes extensiones de terreno con una precisión razonable (Everitt *et al.*, 2006), una reducción de los costos de operación y minimizando el tiempo requerido para el proceso de la información (Weber, 2005). El objetivo fue cuantificar el grado de deforestación en la región central del macizo montañoso del estado de Chihuahua, México, y compararlo con las tasas de deforestación reportadas por el Inventario Nacional Forestal del año 2000. Además se tuvieron dos objetivos específicos: el primero fue examinar las relaciones de los datos

espectrales del sensor LANDSAT-TM5 y TM7 de diferentes años con datos de cobertura aérea para detectar cambios en la masa forestal, y un segundo objetivo fue detectar cambios en la cubierta forestal a través del Análisis de Componentes Principales (ACP).

## Materiales y métodos

Se seleccionó la región central del macizo montañoso de la región conocida como la Alta Tarahumara, debido a que es una de las regiones con un grado mayor de deforestación, de acuerdo con los criterios establecidos por el Inventario Nacional Forestal (CONAFOR, 2002). Los polígonos estudiados se ubican en las regiones Hidrológicas 09 Sonora sur y 24 Bravo Río Conchos, que comprenden parte de los municipios de Guerrero, Bocoyna y Maguarichi. Geográficamente comprende un grado cuadrado entre los 107–108° longitud oeste y 27–28° latitud norte. Los principales criterios considerados para la selección de los polígonos fueron su extensión y localización dentro de las cuencas mencionadas. Para el análisis espacial y temporal de las áreas deforestadas se procesaron las bandas de LANDSAT TM5 del año 1993 y de LANDSAT TM7 del 2003. Para los detalles de localización se tomaron puntos de control terrestre (PCT) registrados mediante un Sistema de Posicionamiento Global tipo Maguellan de la línea Tracker. El apoyo complementario cartográfico se realizó con cartas topográficas del INEGI (1984), en escala 1:50,000. Para el procesamiento de polígonos, imágenes de satélite y manejo de sistemas de información geográfica se utilizaron los progra-

<sup>1</sup> Profesor de la Facultad de Zootecnia, Universidad Autónoma de Chihuahua. Periférico Francisco R. Almada, Km 1 de la Carretera Chihuahua-Cuauhtémoc. Chihuahua, Chih., México, 31031. Tel. (614) 434-0303. cpinedo@uach.mx.

<sup>2</sup> Estudiante de posgrado de la Facultad de Zootecnia, Universidad Autónoma de Chihuahua.

<sup>3</sup> Investigador del Campo Experimental La Campana-Madera, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Av. Homero 3744, Fracc. El Vergel. Chihuahua, Chih., México, 31100.

mas ERDAS v. 7.4, IDRISI32 y ARCVIEW 3.2. Los datos fueron procesados en el Laboratorio de Sistemas de Información Espacial (LASIE) de la Facultad de Zootecnia, Universidad Autónoma de Chihuahua.

Con el propósito de realizar un correcto análisis de los recursos forestales, fue necesario relacionar la información cartográfica, fotográfica o rasgos del terreno con la imagen de satélite; esto hizo necesario la identidad geométrica de la imagen. Para el proceso de corrección geométrica de las escenas multitemporales se utilizaron 60 puntos de control, considerando un umbral máximo de error de localización de 15 m para cada imagen (RMSError= 0.5). Para el cálculo de las funciones de transformación se utilizó una polinomial de primer orden. El método de remuestreo utilizado fue el del vecino más cercano (*nearest neighbor*). Para equiparar la resolución espacial del sensor LANDSAT TM5 (25 m) con la resolución de LANDSAT TM7 (30 m) fue necesario ajustar los valores de las coordenadas en X y en Y. Esto permitió la sobreposición adecuada de cada polígono para un correcto análisis multitemporal en las dos escenas de satélite, haciendo coincidir los puntos vistos en la imagen de LANDSAT-TM5 y LANDSAT-TM7. El error cuadrático medio final (RMSError) obtenido fue de 0.73, el cual fue considerado adecuado para los propósitos del presente estudio.

Las bandas espectrales de los satélites LANDSAT 5 TM de 1993 y LANDSAT 7 TM del 2003 fueron clasificadas en forma independiente para aproximarse lo más posible a las imágenes clasificadas del Inventario Nacional Forestal del 2000. Para lo anterior se exploraron combinaciones de bandas hasta lograr definir la mejor composición en falso color en base a la discriminación de las principales clases y/o tipos de cubierta mostradas en las clases del Inventario Nacional Forestal del 2000.

El mapeo preliminar fue fundamental para obtener la clasificación no supervisada, la cual se utilizó como base para corroborar, o en su defecto precisar, las clases obtenidas a partir del Inventario Nacional Forestal. También se definieron las clases y/o tipos de cubierta me-

dante este método y se procedió a utilizar una clasificación más fina para el análisis multitemporal. Este análisis se basó en métodos supervisados requiriendo una colecta más grande de áreas de entrenamiento, para finalmente utilizar como algoritmo de clasificación la técnica de máxima probabilidad gaussiana. Una vez obtenidos los diferentes tipos de uso del suelo provenientes de la imagen clasificada, se procedió a calcular la tasa de deforestación utilizando la siguiente ecuación:

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

Donde:

- t = Tasa de deforestación (%).
- S<sub>1</sub> = Superficie forestal en fecha 1.
- S<sub>2</sub> = Superficie forestal en fecha 2.
- n = Numero de años.

Para el método de clasificación multiespectral se aplicó una combinación híbrida utilizando los métodos supervisado y no supervisado. Para la obtención de las estadísticas por el método supervisado se utilizó un total de 119 y 126 clases espectrales en la imagen. En la obtención de estadísticas de la clasificación no supervisada se utilizó un total de 6 grupos por imagen. El número máximo de clases fue de 18, con un umbral de convergencia de 0.95 y un total de 15 interacciones. Para medir la distancia entre píxeles se utilizó el criterio de distancia euclidiana, mientras que para el proceso de agrupamiento se empleó el algoritmo ISODATA (*Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique*) del programa ERDAS *Image* v. 7.4. Se empleó la ecuación de divergencia transformada como indicador de separabilidad en todas las clasificaciones y se aplicó el algoritmo de máxima verosimilitud como método de reconocimiento de patrones espectrales. Un análisis final involucró el uso de análisis de componentes principales. Para ello se determinaron los eigenvalores y eigenvectores de las bandas 2, 3, 4, 5 y 7 de LANDSAT TM5 de 1993 y las mismas bandas de LANDSAT TM7 del 2003, usando una matriz de correlación. Además del análisis cuantitativo se realizó un análisis visual de los primeros tres componentes procesados y analizados en el programa IDRISI *Kilimanjaro*.

## Resultados y discusión

Los mapas base fueron generados por la combinación de las bandas 3, 4 y 5 de LANDSAT TM5 de 1993 y LANDSAT TM7 del 2003 bajo el proceso de composición en falso color, debido a que mostraron su capacidad para identificar los disturbios principalmente por efecto de los incendios y aprovechamientos no controlados. Además fueron útiles para discriminar los principales tipos de cubierta en la región bajo estudio. Se generaron mapas temáticos para las imágenes clasificadas en la región de estudio.

Los tipos de cubierta se clasificaron en las siguientes categorías: bosque de pino, bosque de pino encino, bosque de encino pino, agricultura de riego, agricultura de temporal, bosques de transición y pastizal natural. Los datos de la escena de 1993 mostraron cómo el polígono REYGUA1993 permanece intacto en cuanto a su condición forestal; no obstante, después de 10 años, el mismo polígono mostró en forma clara los efectos de aprovechamientos no controlados que representan el proceso de deforestación. La precisión total de los mapas clasificados fue de 92.7%.

En otro estudio, Prieto (2002) utilizó datos de LANDSAT TM para clasificar la vegetación en la región de Babícora, Chihuahua, México, encontrando que la combinación de las bandas 1 en el canal azul, 4 en el canal verde y 7 en el canal rojo discriminó seis tipos de cubierta con una precisión total de 70.8%. Sin embargo, las escenas utilizadas fueron adquiridas en la estación de verano, cuando se favorece el crecimiento de los estratos bajos debido al creci-

miento de plantas y zacates. En contraparte, las escenas utilizadas en este estudio correspondieron a la época de sequía, con la ventaja de captar información de la vegetación siempre verde representada principalmente por el estrato de pino-encino y evitando los efectos de confusión que presenta el estrato bajo.

Los resultados de deforestación obtenidos a partir de clasificaciones independientes, con diferencia de 10 años entre unos y otros, reportaron tasas variables de deforestación de 1.9% en Basogachi y de 2.7% para San Juanito, respectivamente. El cuadro 1 muestra la dinámica de cambio del uso del suelo, donde se observa cómo en el polígono MAG9550, la clase de áreas forestales presenta una deforestación aproximada de 1,745 ha, lo que representa el 18.8% de la superficie de las áreas forestales existentes en 1993. Esta tendencia en la principal asociación vegetal del área involucra un cambio de un 424.4% (1,535.3 ha) hacia las áreas no forestales, pasando de 361.7 ha en 1993 a 1,897 ha en el 2003. Las tasas de deforestación anual estimadas pueden deberse a la ocurrencia de incendios, así como a los altos índices de aprovechamientos no controlados ocurridos principalmente durante la década de los años 90. Resultados similares obtenidos por Luc Decroix *et al.*, (1992) son descritos por Francois (1999), que en su revisión encontró que, en la cobertura vegetal en la Sierra Madre Occidental, más del 11% de la superficie perdió de manera ligera o fuerte una parte de su densidad vegetal durante un período de 20 años. Estos investigadores destacaron que tres cuartas par-

Cuadro 1. Dinámica de cambio de uso de suelo para la región de Basogachi en un periodo de 10 años.

	1993	2003	Diferencia	Diferencia
Clases	(ha)	(ha)	(ha)	%
Áreas forestales	9423.8	7649.5	-1744.3	-18.8
Áreas de transición	1561.1	1736.6	175.5	11.10
Áreas no forestales	361.7	1897.0	1535.3	424.4

Cuadro 2. Dinámica de cambios de las superficies del uso del suelo entre 1993 y el año 2003.

	1993	2003	Diferencia	Diferencia
Clases	(ha)	(ha)	(ha)	%
Áreas forestales	2723.5	2135.5	-588.0	-21.58
Áreas de transición	216.0	341.0	125.0	158.0
Áreas no forestales	197	625.0	428.0	317

tes del bosque cerrado se degradaron a la categoría de bosque abierto y una tercera parte de los pastizales se degradaron a la categoría de sin vegetación. Otro estudio realizado en selvas tropicales (Mas, 1997) en base al análisis de imágenes de satélite de 1974, 1986 y 1991, determinó los cambios de la cobertura forestal de la región de la Laguna de Términos, en Campeche, México. Los resultados mostraron que las tasas de deforestación de las selvas se estimaron en 2.2% por año. Sin embargo, como las imágenes fueron tomadas en épocas de quemas, este investigador señaló que las tasas de deforestación podrían alcanzar hasta el 4.8% por año. En una serie de datos derivados de dos escenas de satélite de 1974 y 1996, Ochoa (2001) estimó tasas de deforestación de 2.3 y 2.9% para Huistán y Chanal, en las tierras altas de Chiapas, México. Este estudio sugirió que la prevalescencia de condiciones pobres de suelos, así como el incremento de la pobreza y la ausencia de alternativas económicas para los habitantes de la zona, mantendrán altas tasas de deforestación y fragmentación en la región estudiada.

La figura 1 presenta las superficies afectadas por los diferentes tipos de conversión de uso del suelo. En el período evaluado, las 1,745 ha de superficie forestal degradadas (SFD) se transformaron en áreas de uso no forestal (ANF). El 11.6% de áreas de transición representadas por masas de pino piñonero, encinos y matorral de manzanitas (175 ha) se transformaron en áreas no forestales, debido a la extracción de madera para combustible, tierras de agricultura de temporal, pastoreo y otros usos no forestales.

De la comparación de imágenes clasificadas, el cuadro 2 presenta las transiciones ocurridas entre las dos fechas estudiadas. Es evidente que para la principal asociación vegetal del área de estudio (bosque de pino) se registró un 21.58% de cambio negativo con respecto a su cobertura original. La sucesión más significativa (317%) fue el cambio a áreas no forestales. La tasa anual de cambios presentados en la región de San Juanito (2.15%) fue ligeramente superior a la presentada en la región de Basogachi. Estos resultados posible-

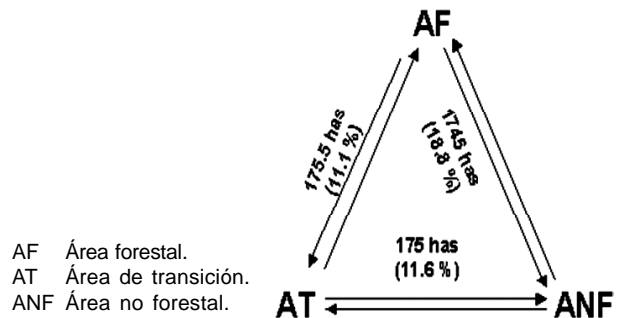


Figura 1. Tendencia de cambio de uso de suelo debido a procesos de deforestación en la región de Basogachi, Chihuahua, México.

mente se deban a la densidad de población presente en la primera región, además de las vías de comunicación y condiciones pobres del suelo. Estos datos y sus factores concuerdan con los reportados por Ochoa (2001).

La figura 2 muestra cómo el área forestal, representada en la imagen de 1993 con el gris más tenue, tendió a disminuir en su extensión en comparación a la imagen del año 2003 (figura 3). Inversamente, las áreas no forestales (representadas en gris intermedio) tendieron a aumentar, mostrando una mayor distribución por todo el polígono. De esta manera, las áreas no forestales se comportaron de una manera agresiva, poblando aquellas zonas descubiertas de vegetación forestal, debido a los procesos naturales de transición. Es posible que estos factores propicien un cambio en la estructura de las comunidades vegetales fragmentando el hábitat de los bosques (Grenlee, 1993). Además, las áreas despobladas son ocupadas generalmente por tipos de vegetación arbustivas, pastizales y tierras abiertas a los cultivos. Generalmente éstos últimos son los que fragmentan más los ecosistemas naturales modificando el hábitat.

El análisis espectral en base a sobreposición de vectores poligonales mostró algunas de las clases espectralmente confundidas a partir del Inventario Nacional Forestal del 2002, principalmente en bosque de encino-pino, bosques de pino-encino, pastizales nativos y tierras de cultivos de temporal. Con respecto a la cuantificación preliminar de deforestación en base a un Sistema de Información Geográfica (SIG), los polígonos vectoriales fueron sobrepuestos en las imágenes clasificadas de LANDSAT TM7

con el fin de observar los cambios en el uso del suelo. Un análisis de dos polígonos evaluados mostró que de las 44,000 ha reportadas como deforestadas, sólo 17,500 ha fueron convertidas a uso no forestal durante el período de 1993 al 2003, lo cual representa aproximadamente el 40% de la superficie total estimada por el Inventario Nacional Forestal (INF) del 2000. El mayor porcentaje de transformación corresponde a los cambios de bosques de transición y chaparrales a pastizales, y de éstos a tierras de cultivo agrícola y de temporal. La figura 4 muestra cómo el polígono vector del INF del 2000 se ubica en áreas de bosque de encino, áreas de matorral-chaparral y pastizal, estableciendo frontera con las áreas agrícolas. El potencial de aprovechamiento forestal es bajo, por lo que el nivel de deforestación reportado en el INF del 2000 podría estar enfocado a la vegetación de transición, impactada por actividades de extracción de madera como combustible debido al corredor de poblados a través de la cuenca y el uso de tutores para cercados y fruticultura debido al creciente número de huertas en la zona.

El cuadro 3 presenta los valores de correlación de las bandas de LANDSAT TM7 del 2003. Se observa cómo la banda 4 muestra la relación más baja entre las bandas. En cambio, el análisis de correlación de las bandas de LANDSAT TM5 de 1993 reportado en el cuadro 4 muestra cómo la banda 5 presenta los valores de correlación más bajos entre las bandas evaluadas. Estos últimos valores coinciden con los reportados por Pinedo (1998), no obstante que DeGloria (1984) reportó correlaciones altas entre todas las bandas de LANDSAT TM, de tal manera que la respuesta espectral podría haber sido evaluada con cualquiera de ellas.

Los componentes derivados del ACP y reportados en el cuadro 4 muestran cómo para los años 1993 y 2003 el componente 1 concentra los porcentajes más altos de variación (91.43% y 94.74% respectivamente), lo cual sugiere el dominio de la vegetación de pináceas expresado visualmente en las imágenes componentes resultantes. En cambio, los altos valores mostrados por los eigenvalores de las bandas visibles de 1993 y presentes en las mismas bandas del año 2003 confirman el domi-

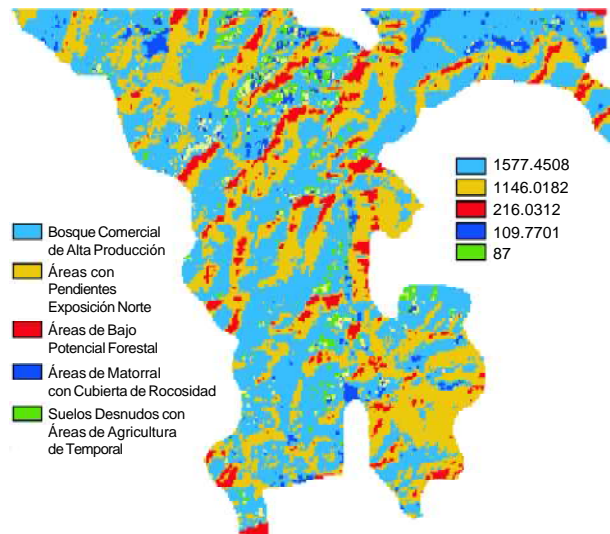


Figura 2. Clases de condición forestal en la escena de LANDSAT-TM del año 1993.

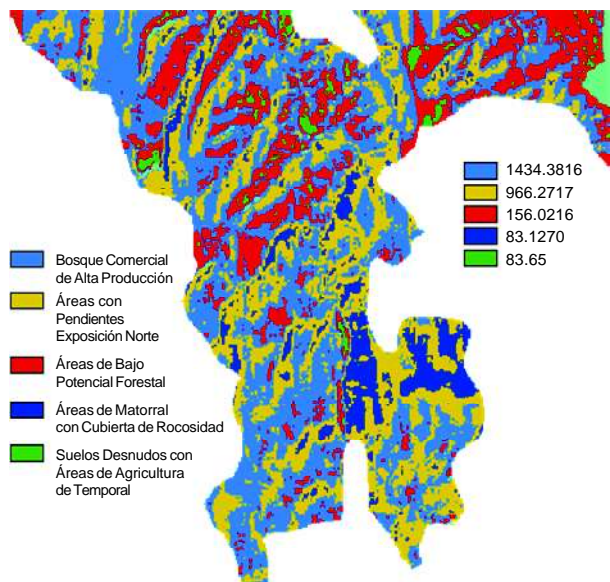


Figura 3. Cambios presentes en las clases en la escena de LANDSAT-TM7 2003.



Figura 4. Ubicación geográfica de un polígono generado por el Inventario Nacional Forestal (INF).



nio del componente de áreas desnudas y de baja cubierta vegetal en el área de estudio. De acuerdo con Pinedo (1998), el dominio de valores negativos en las bandas 2, 3, 5 y 7 explica la dominancia de suelos desnudos y/o áreas degradadas, en contraparte a las estructuras de bosque de pino y de pino-encino dominantes en el componente 1.

## Conclusiones

La implementación de las imágenes LANDSAT TM puede ser utilizada para generar mapas que detallen las áreas degradadas asociadas con la actividad forestal. En general, los resultados de este estudio permitieron cuantificar las pérdidas por deforestación en los polígonos seleccionados. De las 88,842 ha reportadas como deforestadas a partir del Inventario Nacional Forestal del año 2000, el 35.2% (31,275 ha)

Cuadro 3a. Matriz de Correlaciones de las bandas de LANDSAT-TM7 para las escenas del año 2003.

Bandas TM	2	3	4	5	7
2	1.00				
3	0.985	1.00			
4	0.795	0.764	1.00		
5	0.941	0.944	0.832	1.00	
7	0.946	0.959	0.752	0.981	1.00

Cuadro 3b. Matriz de Correlaciones de las bandas de LANDSAT-TM5 para las escenas del 1993.

Bandas TM	2	3	4	5	7
2	1.00				
3	0.857	1.00			
4	0.836	0.936	1.00		
5	0.641	0.633	0.643	1.00	
7	0.844	0.938	0.958	0.667	1.00

Cuadro 4. Eigenvalores y matriz de Eigenvectores del análisis de Componentes Principal (ACP) para escena del 2003.

Componentes	Eigenvalores				
	Eigenvalor	Proporción de variabilidad			Proporción acumulada
1		91.43			
2		6.40			
3		1.77			
4		0.24			
5		0.15			
Eigenvectores					
	1	2	3	4	5
B2	0.457836	-0.173700	-0.548531	-0.66786	0.11524
B3	0.456650	-0.278642	-0.420669	0.68710	-0.25446
B4	0.402966	0.895966	-0.055551	0.11267	0.13813
B5	0.460447	-0.042187	0.544251	-0.23421	-0.65965
B7	0.455482	-0.296062	0.472076	0.11953	0.68391


han sido sobreestimadas conforme a los procedimientos y resultados de este estudio. Los cambios encontrados en la cuenca 09 Sonora Sur están relacionados con los poblados a lo largo de la cuenca, vías de comunicación, agricultura de riego y temporal y pastizales, siendo estos últimos los que más afectaron. Los resultados mostraron que mientras las áreas de pastizales se incrementaron, las áreas de bosques de transición y bosques de pino disminuyeron. En cambio, las áreas evaluadas en la región hidrológica 24 de Bravo y Río Conchos se relacionaron más con la tala para la extracción de madera, incendios registrados cada año, quemas intencionales y alteraciones hídricas debidas a los aprovechamientos inadecuados de las áreas ribereñas así como al sobrepastoreo. Los polígonos resultantes como deforestados son grandes, con cambios rápidos en el uso del suelo y vegetación. Se recomienda ampliar los análisis de deforestación en toda la región forestal del estado de Chihuahua, con el propósito de obtener información más completa relacionada con la superficie y tasas de deforestación. Adicionalmente, se sugiere desarrollar modelos de predicción de la distribución espacial del proceso de deforestación utilizando métodos de propensión para generar mapas de riesgo de deforestación.

## Agradecimientos

Se agradece especialmente a la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y Fundación Produce Chihuahua, A.C. por el soporte recibido para la realización de la presente investigación. A nuestra Universidad Autónoma de Chihuahua por brindarnos la oportunidad de que por este medio publiquemos nuestras experiencias de investigación.

## Literatura citada

- BUITEN, H.J. 1993. General view of remote sensing as a source of information. In: H.J. Buiten and Jan G.P.W. Eevers (cd). Land Observation by Remote Sensing. Vol. 3. Gordon and Breach Science Publisher, pp. 9-27.
- CONAFOR, 2002. Comisión Nacional Forestal. Dirección del Inventario Nacional Forestal. Versión preliminar s/p.
- DEGLORIA, S.D. 1984. Spectral variability of Landsat-4

- Thematic Mapper and Multispectral Scanner data for selected crop and forest cover types. IEEE. Trans. Geosc. Remote Sens. 22:303-306.
- D JONG, B.H.J., y G. Montoya-Gómez. 1994. Sustainable management of forest resources: a proposal for the highlands of Chiapas, Mexico. Pages 7-17. In: Proceedings of the 1994 Symposium on System Analysis in Forest Resources, 6-9 September 1994, Pacific Grove, California.
- EVERITT, J.H., C. Yang, R.S. Fletcher and D.L. Drawe. 2006. Evaluation of high-resolution satellite imagery for assessing rangeland resources in South Texas. *Rangeland Ecol. Manage.* 59:30-37.
- FRANCOIS, J. 1999. Aplicación de Imágenes de Satélite para Análisis de Recursos Forestales Deforestación y Fragmentación Forestal en la región de la Laguna de Términos, Campeche: un análisis del período 1974-91. Centro EPOMEX, Universidad Autónoma de Campeche. Campeche, Camp. México. p 12.
- GREENLE, C.J. 1993. Spatial characteristics of montane forest communities in the Organ Mountains, New Mexico, using remote sensing and GIS technology. Thesis Master of Applied Geography, New Mexico State University, Las Cruces, New Mexico. p 86.
- INEGI. 1984. Modelos Digitales de Elevación Escala 1:50,000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 2a. reimpresión. México.
- MAS J.F., 1997, Monitoring Land-cover Changes in the Términos Lagoon Region, Mexico: A Comparison of Change Detection Techniques, Proceeding of the IV International Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments, Orlando, Florida, 17-19 March 1997, Vol. I, pp 159-167.
- MASERA, O., M. Ordoñez and Rodolfo Dirzo. 1992. Carbon Emissions and Sequestration in Forests: Case Studies from Seven Development Countries. Berkeley: climate Change Division, EPA and Energy and Environment Division, Lawrence Berkeley Laboratory. Pp 122-147.
- OCHOA, L.G. 2001. Evaluation LANDSAT TM derived vegetation indice for estimatig above-grown biomass on semiarid rangeland. *Range Management.* 45:165-175.
- PINEDO, A.C. 1998. Análisis de los recursos forestales y del hábitat de la cotorra serrana (*Rhynchopsitta pachyrhyncha*) en la Sierra Madre Occidental de Chihuahua, México. Disertación doctoral. Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Zootecnia. Chihuahua, México. p 235.
- PRIETO, T.A. 2002. Clasificación de la vegetación en Babícora, Chihuahua, México, usando datos de IKONOS y LANDSAT TM. Tesis. Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Zootecnia. Chihuahua, México. p 57.
- SARH, 1994, Inventario Forestal Nacional Periódico-México 94, Memoria Nacional, Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 81 p.
- Weber, T.K. 2005. Challenges of integrating geospatial technologies into rangeland research and management. *Rangeland Ecol. Manage.* 59:38-41. 

Recibido: Febrero 21, 2006/Aceptado: Agosto 10, 2006