

Estratificación de la información en el procesamiento digital de imágenes de satélite aplicado a la cartografía de los bosques de *Pinus cembroides*

Eduardo Javier Treviño Garza*

Recibido: 13 de septiembre de 1999

Aceptado en versión final: 3 de marzo de 2000

Resumen. Los bosques de *Pinus cembroides* constituyen un valioso recurso para los habitantes de las zonas áridas en el noreste de México. En este trabajo se presenta una propuesta metodológica para determinar la condición de los bosques de pino piñonero mediante la utilización de imágenes digitales de satélite, el apoyo en la estratificación de la información y la aplicación de un sistema de información geográfica (SIG).

En la elaboración de la cartografía de estos bosques se integró la información contenida en mapas de uso del suelo y vegetación al procesamiento digital de imágenes de satélite. Dicha información, almacenada en un SIG, a manera de una cubierta digital, fue manipulada para derivar otra contenido sólo la información de interés, con la que se creó una "máscara" sobre la imagen de satélite, procesada posteriormente para obtener un mapa donde se representaron cinco clases de densidad de esos bosques. De acuerdo con los resultados obtenidos, a los bosques cerrados y densos corresponde un 40% de la superficie estudiada; a los semidensos 45% y al bosque abierto y áreas con suelo desnudo, 15%.

Palabras clave: Procesamiento digital, SIG, *Pinus cembroides*, Nuevo León, México.

Information stratification in the digital processing of satellite images applied to *Pinus cembroides* forest cartography

Abstract. The *Pinus cembroides* forests are a valuable natural resource for the inhabitants of Northeastern Mexico's arid zones. This paper presents a methodological proposal to determine the condition of the piñon forests through digital satellite images and information stratification using a Geographical Information System (GIS).

To elaborate the cartography of these forests, the information contained in land-use and vegetation maps was integrated to the digital processing of satellite images. These were stored as a digital layer in a GIS and manipulated to create a cover containing only information from these forests. From it, a mask was obtained on the satellite image; this was processed to elaborate a map containing five density classes of piñon-pine forests. These include 40% closed and dense forests, 45% semi-dense forests and 15% open areas and bare soil.

Key words: Image processing, GIS, *Pinus cembroides*, Nuevo León, Mexico.

INTRODUCCIÓN

En áreas subtropicales secas se presentan comunidades forestales dominadas por especies de pinos. Algunas de ellas carecen de utilidad maderable, debido principalmente a la forma del árbol y a la baja calidad de su madera. Su importancia económica principal radica en la semilla, ya que ésta tiene una gran demanda comercial debido a su sabor, lo que significa una fuente de ingresos extra para

la población rural del Altiplano Mexicano (Rzedowski, 1978). Estas especies de pino, conocidas como piñoneras (*Pinus cembroides* y *P. nelson*), forman bosques que medran en condiciones ecológicas diferentes a aquéllas en las que normalmente se desarrollan otras especies del género *Pinus*. Los piñoneros se ubican donde inciden los vientos más secos, en zonas marginales de baja precipitación (300 a 600 mm anuales; Vallejo, 1997) y se encuentran distribuidos básicamente en

* Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, 66450, San Nicolás de los Garza, Nuevo León.
E-mail: ejtrevin@ccr.dsí.uanl.mx

el norte y centro de México (Rzedowski, 1978).

Los bosques de *P. cembroides* en el noreste de México se caracterizan por presentar un grado de disturbio elevado, causado en su mayor parte por actividades mal planificadas, entre las que se encuentran el pastoreo desordenado, la explotación desmedida de los recursos y la falta de manejo silvícola. Esto provoca que exista escasa regeneración natural y erosión de los suelos. La falta de acciones pertinentes conllevan un mal uso del recurso, atribuido al desconocimiento de la forma adecuada de utilizarlo (Vallejo, 1997).

Para el adecuado manejo de estas comunidades es necesario determinar su localización y extensión, así como evaluar las condiciones en que se encuentran. El utilizar para este fin la cartografía de uso del suelo y vegetación existente es insuficiente cuando la información se ha desactualizado. En México, ésta fue producida en escala 1:50 000 en la década de los años setenta y principios de la de los ochenta. En 1978 se publicó la cartografía correspondiente al sur del estado de Nuevo León, que se realizó con base en fotografías aéreas tomadas en 1972 y utilizando métodos basados en la interpretación visual. Estas cartas han quedado como un registro de las condiciones de la vegetación de esas fechas. Sin embargo, dada la dinámica de las superficies ocupadas por los diferentes usos del suelo, es necesario actualizar esta información.

Para realizar esta labor es común el uso de información proveniente de imágenes de satélite, las cuales han tenido una gran diversidad de aplicaciones en el sector forestal, sobre todo en la elaboración de la cartografía de bosques (Carneiro, 1978; Beaubien, 1979; Bryant *et al.*, 1980; Benson y De Gloria, 1985 y Treviño, 1992); en el reconocimiento de rodales y la identificación de diversos tipos de bosque (Mayer y Fox III, 1981; Hafker y Philipson, 1982), así como en la determinación de las etapas de su crecimiento (Congalton, 1993); en el estudio de la regeneración forestal y la determinación de las etapas sucesionales (Fiorella, 1993); en la evaluación tanto de la incidencia de incendios forestales (Ambrosia

et al., 1998; Palacio *et al.*, 1999) como de los cambios ocurridos en consecuencia en la vegetación (Jakubauskas *et al.*, 1990).

Desde mediados de la década de los ochenta, con el lanzamiento de satélites de alta resolución, las imágenes de satélite se han integrado como parte esencial de cualquier sistema de información geográfica (SIG) operacional como una fuente de información (Gugan, 1988; Robinson, 1988). De la misma manera, Martin (1985) mostró la pertinencia del uso de los SIG para incluir la cartografía derivada de la interpretación de fotografías aéreas en el manejo forestal.

La evaluación de la condición actual de la vegetación mediante la utilización de información contenida en imágenes de satélite se ve limitada en ocasiones por la imposibilidad de diferenciar comunidades, sobre todo en los casos en los que se encuentran asociaciones vegetales vecinas de un mismo género botánico, pero de diferente especie, que presentan firmas espectrales similares. Esto dificulta la adecuada separación entre clases, por lo que es necesario utilizar un método para reducir la heterogeneidad de los datos.

En el desarrollo de inventarios forestales es común utilizar un muestreo estratificado, que consiste en levantar la muestra en áreas con características similares, lo que permite trabajar con un juego de datos más homogéneo que los presentes en la población total. La separación de estas áreas o estratificación se puede realizar mediante la interpretación visual de fotografías aéreas o utilizando imágenes de satélite.

En la clasificación digital de imágenes de satélite es posible incluir datos ajenos a ellas, y se consideran datos adicionales, es decir, se trata de datos digitales georreferenciados de un área, que poseen la misma geometría. Estos datos pueden ser incluidos antes, durante o después del proceso de clasificación (Hutchinson, 1982; Hoffer *et al.*, 1979; Fox III *et al.*, 1985; Mas y Ramírez, 1996).

Antes de efectuar la clasificación digital de una

imagen de satélite, los datos adicionales se pueden usar para la formación de estratos. El propósito de esta estratificación es dividir la superficie en estudio en pequeñas áreas relativamente homogéneas (estratos). Diversos métodos del procesamiento digital de imágenes permiten que los estratos se puedan clasificar por separado, con la ventaja de trabajar con pequeñas cantidades de datos homogéneos en cada etapa del análisis (Woodcock y Strahler, 1980). La separación de estos estratos se puede establecer siguiendo criterios altitudinales o fisiográficos. Con la accesibilidad a la información almacenada en un SIG se incrementa el número de criterios disponibles, existiendo la posibilidad de utilizar información temática directamente relacionada con el objeto de la clasificación (Treviño, 1992).

El objetivo de este trabajo consiste en determinar la condición de los bosques de pinos piñoneros mediante la utilización del procesamiento digital de una imagen de satélite. La imagen, de mediados de los años noventa, fue sometida a un proceso de estratificación de la información, realizado utilizando la cartografía de la vegetación integrada en un SIG.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área en estudio

El estudio se desarrolló en los municipios de Galeana y Aramberri, Nuevo León, localizados en el norte de México, entre los $24^{\circ}15'$ y los $24^{\circ}30'$ de latitud norte y los $99^{\circ}47'$ y los 100° de longitud oeste (Figura 1) y se consideró una superficie de 600 km^2 , que corresponde a media carta en escala 1:50 000. La región está formada por sedimentos del Mesozoico, sobre los cuales se desarrollan suelos someros típicos de montaña (litosoles y rendzinas), que se presentan alternados con abundantes afloramientos rocosos (SPP, 1986).

En esta región se presenta un clima C(E) templado semiseco. La estación climática, que se ubica en la zona a 2 160 msnm, reporta una temperatura media anual de 13.2°C y una precipitación media anual de 746.3 mm (SPP, 1986). Las comunidades estudiadas se localizan entre los 1 500 y los 2 600 msnm, por lo general, dominadas en su totalidad por *Pinus cembroides*, cuya altura oscila entre los 3 y 10 m, pudiendo ser cerradas o abiertas, con elementos arbustivos.

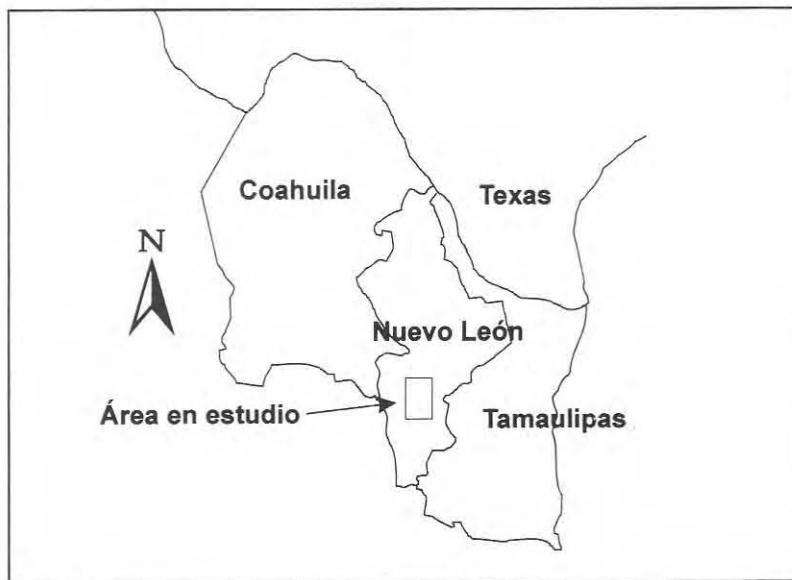


Figura 1. Localización del área en estudio.

Flores (1983) determina que la estructura vertical de estos bosques en la región está dominada por un estrato arbóreo compuesto por *Juniperus monosperma*, *J. Flaccida* var. *Flaccida*, varias especies del género *Quercus*, entre ellas *Quercus canbyi*, *Yuca carnerosana*, *Pinus arizonica stormiae* y *P. nelsonii*. El estrato medio o arbustivo (sotobosque) lo componen encinos arbustivos, entre los que se encuentran *Q. Intricata*, *Q. Microphylla*, así como *Cowania plicata*, *Arbutus xalapensis*, *Berberis trifoliata*, *B. Muelleri*, *Pithecellobium elasticophyllum*, *Dasyliion spp*, *Rhus virens*, *Sophora secundiflora*, *Salvia gregii*, *Agave spp*, *Condalia ericoides* y *Dalea formosa*. El estrato inferior o herbáceo lo integran *Stipa leucotricha*, *S. Tenuísima*, *Tridens grandiflorus*, *Bouteloua curtipendula*, *Festuca rubra*, *Tagetes lucida*, *Hedemora nanum*, *Verbena ambrosifolia*, *V. Neomexicana*, *Cassia bauhinoides*, *Aristida curvifolia*, *Dyssodia setifolia*, *D. pinnata*, *Nama biflorum*, *Acalypha hederacea*, *Cheilanthes tomentosa*.

Métodos

Se elaboró un mapa para los bosques de pino piñonero a partir del procesamiento digital de una imagen Landsat TM tomada el 26 de junio de 1994, ésta fue procesada con los programas Erdas TM versión 7.5 e Image TM versión 8.02. EL SIG se integró mediante el programa ARC/INFO TM. Para realizar este proceso se capturó, de manera digital, la carta de uso del suelo con la clave G14C77 "La Ascensión" (DETENAL, 1978).

A fin de determinar los criterios de separación entre los bosques *Pinus cembroides* y los de especies de pino, se analizó la información contenida en el mapa, a la que se le incorporó la impresa en el reverso del mismo, así como la obtenida en recorridos de campo. Con base en estos criterios se seleccionaron, utilizando la tabla de atributos de la cubierta digital derivada del mapa del uso del suelo, todos los polígonos correspondientes a las claves Bp (bosque de pino), Bp-ML (bosque de pino con chaparral), ML-Bp (chaparral con bosque de pino), Bp-(mlr) (bosque de pino con chaparral y crasiroslífolios espinosos), Mrl-Bp (matorral

rosetófilo con chaparral y bosque de pino), así como otras mezclas entre matorrales y bosques (Figura 2).

Los polígonos así separados contenían sólo áreas con bosque o elementos aislados de *P. cembroides* y se almacenaron como una cubierta digital adicional, misma que se utilizó para extraer de la imagen original una "máscara", es decir, una imagen que sólo contiene la información referente a los bosques.

La cobertura de las masas forestales de pinos piñoneros es un parámetro que refleja la condición de la comunidad. Para realizar la clasificación digital se consideraron cinco grupos: bosque cerrado, bosque denso, bosque semidenso, bosque abierto y suelo desnudo.

En la clase bosque cerrado se considera a los bosques que presentan una cobertura total, en donde las copas de los árboles están en contacto o se encuentran sobrepuertas unas a otras. El bosque denso corresponde a áreas cuyo arbolado tiene una distribución homogénea y las copas de los árboles están alejadas entre sí a una distancia menor al tamaño de una de ellas. El bosque clasificado como semidenso presenta una distribución heterogénea, en él, la distancia entre los árboles es mayor al tamaño de una copa y menor a dos. El bosque abierto presenta arbolado disperso con una distancia entre las copas equivalente al diámetro de dos o más de ellas. La clase de suelo desnudo presenta elementos aislados de pino.

En la selección de las áreas de entrenamiento usadas en la clasificación digital, se consideraron un mínimo de cinco localidades por cada clase de densidad. Éstas fueron determinadas utilizando la información de los puntos de verificación de los mapas impresos en el reverso de los mismos, así como la recopilada en campo en los sitios de muestreos. La posición de estos últimos fue registrada utilizando un receptor del sistema global de navegación (GPS). Se realizó una análisis de la separabilidad de las áreas de entrenamiento para seleccionar las adecuadas para ser usadas en la clasificación.

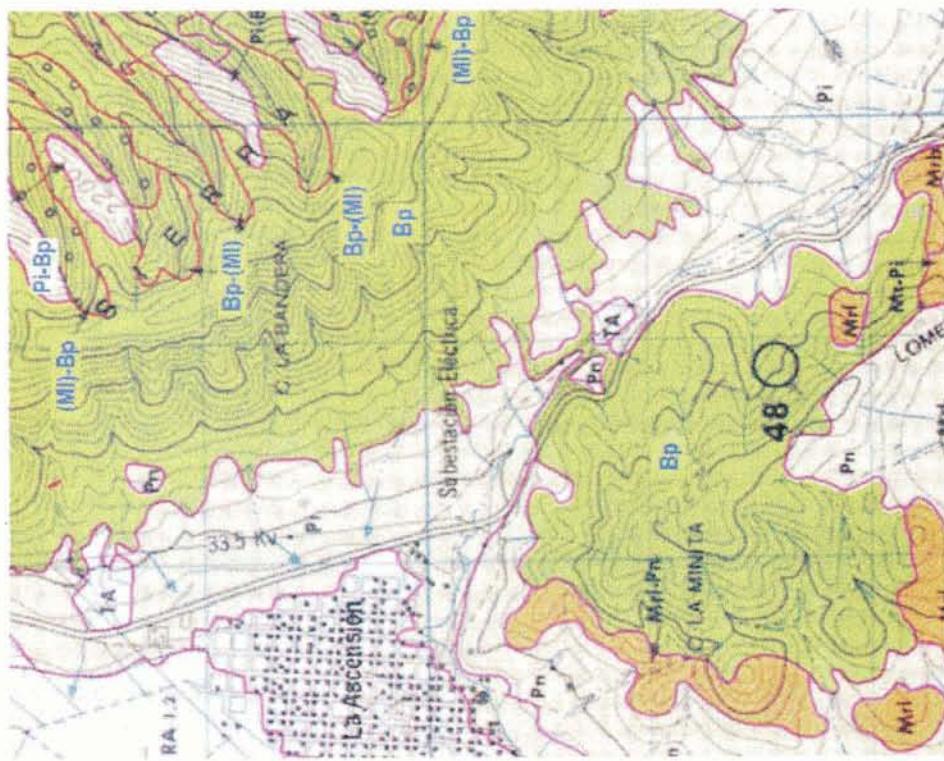


Figura 2. Fragmento de la carta G14-C77 "La Ascension", donde se indican claves de las unidades utilizadas para la estratificación. A la derecha, fragmento de la imagen Landsat TM, en la que se muestra la misma área antes del proceso.

El algoritmo empleado en la clasificación de la imagen de satélite fue un bayesiano de máxima verosimilitud. Los resultados de la clasificación fueron comparados directamente con la imagen. En este proceso se desplegó la imagen de satélite en los bancos de memoria verde y rojo del monitor, y la imagen clasificada en el banco de memoria azul, cada una de las clases determinadas se fue realizando por separado, interpretando visualmente la pertenencia de cada clase, utilizando como material de apoyo las fotografías aéreas.

Las clases de densidad consideradas en la clasificación digital fueron verificadas utilizando los valores de área basal del arbolado obtenidos *in situ*. Este parámetro está estrechamente relacionado con la cobertura de la copa y representa la suma del área del tronco de todos los individuos de la especie a una altura de 1.3 m del suelo. Para obtener estos valores se seleccionaron al azar tres localidades por tipo de densidad. Estos sitios fueron visitados en el campo utilizando para su localización un receptor GPS. Para realizar una evaluación rápida se estimó el área basal del arbolado, la cual guarda una fuerte relación con la cobertura de las copas. El levantamiento de la información en cada localidad se llevó a cabo

mediante conteos angulares del arbolado, utilizando un *relascopio de Bitterlich*, en sitios cuyas dimensiones varían en tamaño, dependiendo de la densidad y dimensiones de los árboles al ser observados a través del instrumento.

RESULTADOS

Al comparar las estadísticas de los valores espectrales, tanto en la imagen completa como en la subimagen que contiene sólo los datos correspondientes a bosques de pinos piñoneros, se puede observar una disminución de los valores medios de reflexión en todas las bandas espectrales (Cuadro 1). Esto obedece básicamente a la eliminación de los valores altos característicos del suelo con escasa cobertura vegetal, que en este caso corresponde a las áreas agrícolas en reposo o a matorrales desérticos; en la Figura 2 se aprecia un ejemplo de esta disminución en el área urbana y en las superficies cubiertas por pastizal inducido (P_i), al comparar el mapa con la imagen impresa. Sin embargo, el efecto de la estratificación de los datos se refleja de manera más contundente en la reducción de la variabilidad representada por los valores de la desviación estándar (Cuadro 1).

Cuadro 1. Valor medio y desviación estándar para cada banda espectral (λ = rango de longitud de onda en nanómetros) al comparar la imagen completa y la que sólo contiene las superficies consideradas de bosques de *Pinus cembroides* ("máscara")

Banda Mapeador temático: (λ)	Imagen Completa		Máscara	
	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar
2: (0.52 - 0.60)	28.49	10.13	23.99	5.14
3: (0.63 - 0.69)	30.89	15.34	24.21	7.60
4: (0.76 - 0.90)	63.88	14.08	54.90	9.81
5: (1.55 - 1.75)	84.55	35.88	66.00	19.70
6: (10.40 - 12.50)	140.19	9.43	136.48	6.56
7: (2.08 - 2.35)	38.29	23.31	27.84	11.76

El análisis de las áreas de entrenamiento mostró valores muy parecidos para la longitud de onda perteneciente al infrarrojo térmico, por lo que la información de esta banda no se utilizó en la clasificación.

A la clase bosque cerrado corresponden los valores espectrales más bajos en todas las longitudes de onda. Lillesand y Kiefer (1978) mencionan la dificultad para diferenciar especies, causada principalmente por la similitud en la respuesta espectral que muestran las comunidades vegetales, sobre todo en la parte visible del espectro. En este caso, al trabajar con una sola especie, la variación observada es resultado de la disminución de la cubierta vegetal y el incremento de la proporción de suelo desnudo (Cuadro 2). Como lo indica Chuvieco (1990), los suelos desnudos en la región muestran un comportamiento espectral más uniforme, mostrando una curva espectral plana y de carácter ascendente, con alta reflectividad en todas las bandas visibles, debido a su origen calcáreo.

Los resultados de la clasificación muestran la distribución espacial de los bosques de *Pinus cembroides* según su densidad (Figura 3). Los bosques cerrados y densos se distribuyen básicamente en las laderas con exposición sur y sudoeste, ocupando ambos un 40% de la superficie total estudiada; en ella predominan los bosques semidensos que abarcan un 45% de la misma (Cuadro 2). Los bosques abiertos se encuentran en las partes bajas, en un 13% de la superficie en los límites entre zonas agrícolas y de pastizal, donde también se presentan áreas con suelo desnudo, que cubren 12% de la superficie total (Cuadro 3).

La información referente al área basal, obtenida durante la etapa de verificación, arroja como resultado que los bosques densos tienen una cobertura de 24 m²/ha con una desviación estándar (s) de 3.28; los bosques densos, un área basal de 15.5 m²/ha (s=1); los bosques semidensos, 9.5 m²/ha (s = 1) y los bosques abiertos, una densidad de 6 m²/ha (s = 0.5).

Cuadro 2. Valor medio y desviación estándar de las firmas espectrales para los cinco tipos de densidad de bosque de *Pinus cembroides* para cada banda (λ = rango de longitud de onda en nanómetros)

Mapeador temático: (λ)	Bosque cerrado		Bosque denso		Bosque semidenso		Bosque abierto		Suelo desnudo	
2: (0.52 - 0.60)	20.46	0.69	21.95	0.71	22.97	0.90	26.30	0.84	41.13	1.08
3: (0.63 - 0.69)	19.16	0.66	20.92	0.78	22.76	0.97	28.09	1.10	50.69	1.36
4: (0.76 - 0.90)	48.42	1.49	61.12	1.66	51.57	1.52	51.43	1.14	68.22	1.18
5: (1.55 - 1.75)	51.58	1.70	61.42	1.82	62.63	1.81	77.94	1.71	131.28	1.55
7: (2.08 - 2.35)	19.76	1.13	22.72	1.31	26.13	1.24	35.67	1.19	69.43	1.20

Cuadro 3. Superficie estimada de bosque de *Pinus cembroides* según densidad, de acuerdo con la clasificación digital

Bosque de <i>Pinus cembroides</i>	Hectáreas	Porcentaje
Cerrado	7 148	33.3
Denso	1 502	7.0
Semidenso	9 753	45.5
Abierto	2 789	13.0
Suelo	272	1.3
<i>Totales</i>	21 466	

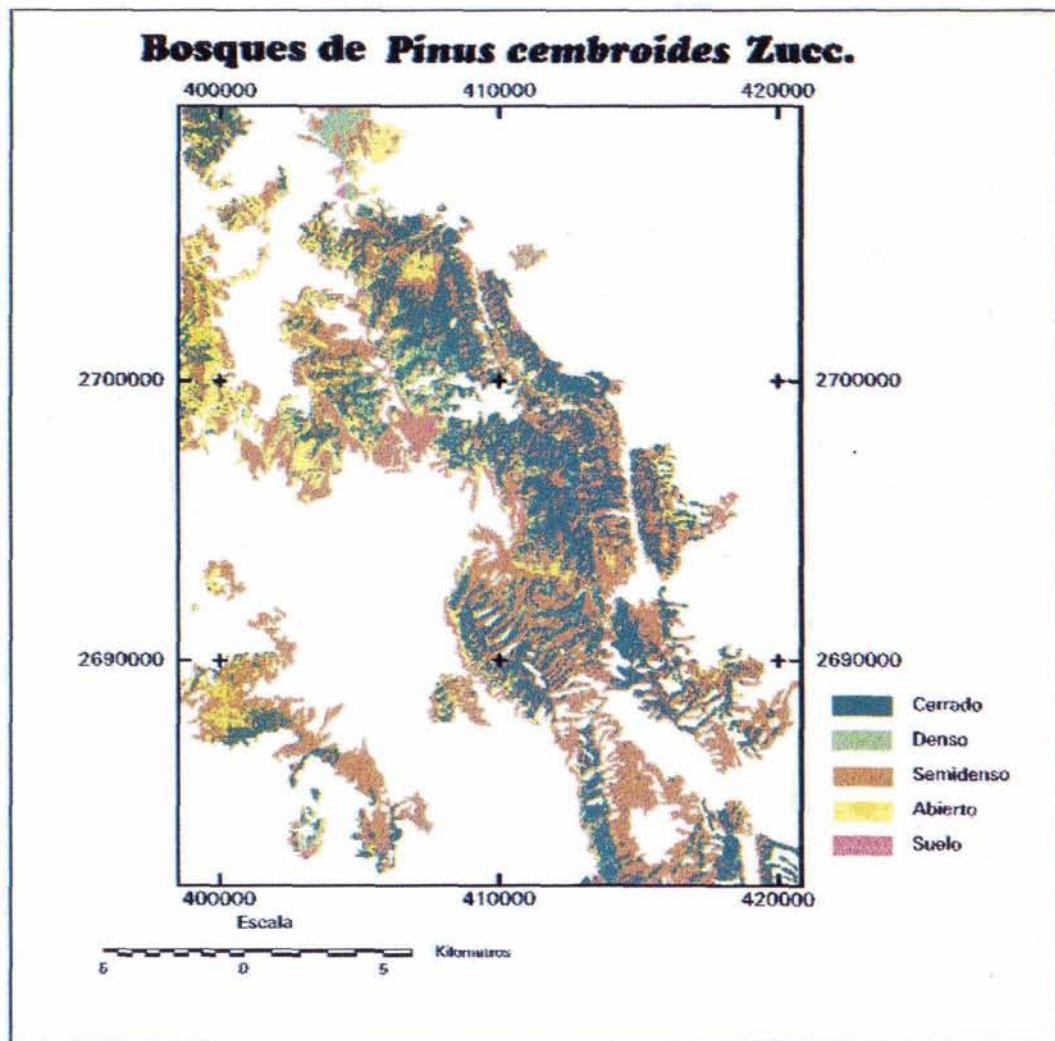


Figura 3. Superficie correspondiente a bosques de *Pinus cembroides* según densidad, de acuerdo con la clasificación digital supervisada de una imagen TM.

DISCUSIÓN

En el campo del manejo de los recursos naturales es cada día más usual la implementación de SIG con el fin de tener a disposición la información necesaria para la toma de decisiones. Ésta proviene frecuentemente de cartografía desactualizada, por lo que no refleja en ocasiones la magnitud de los problemas, pero representa, a la vez, una fuente

de información básica. La periodicidad de la toma de imágenes desde el espacio representa una opción en la solución a los problemas de actualización de la información. Los analistas de imágenes deben utilizar los datos contenidos en el SIG, para establecer criterios objetivos que faciliten el proceso digital de imágenes y por ende, la generación de nueva información.

El estratificar los datos correspondientes a la vegetación para formar grupos homogéneos es una práctica usual en la elaboración de inventarios forestales (Van Laar y Akça, 1997). Al aplicar este método a la información contenida en las imágenes de satélite se logran los objetivos de reducir la variabilidad de los datos y aumentar la eficiencia en el muestreo, en particular en la selección de áreas de entrenamiento.

Una ventaja de la estratificación pre-clasificación es el trabajar sólo con las clases de interés, lo que facilita el análisis de los resultados, al concentrar la atención en áreas específicas y, por otro lado, se aprovecha la información existente para la zona.

CONCLUSIONES

Utilizar la información cartográfica disponible permitió aplicar un método de estratificación en el que se separaron las superficies correspondientes a los bosques de piñoneros. Esto redujo la variabilidad de los datos y facilitó la selección de las áreas de entrenamiento y, en general, el proceso de clasificación.

Con el método utilizado se detectó que más de un 85% de las comunidades de *P. cembroides* se encuentran en la actualidad en buenas condiciones, reflejadas éstas en sus valores de cobertura. El restante 15% es susceptible de ser mejorado utilizando técnicas de restauración.

La estratificación de los datos contenidos en una imagen de satélite implica el tomar la decisión de incluir o no la información dentro del proceso de clasificación. El apoyarse en datos contenidos en un SIG, derivados de mapas obtenidos con métodos y materiales confiables, como la interpretación de fotografías aéreas de vuelo bajo, reduce el riesgo de eliminar áreas de interés de este proceso. En el caso concreto de áreas boscosas, existe la posibilidad de excluir con este método áreas reforestadas o rehabilitadas en fechas posteriores a la elaboración de la cartografía.

La manipulación digital de la información que contiene los criterios de estratificación (en este caso, la cubierta digital de vegetación) elimina, en cierta medida, la subjetividad individual del analista; es más sencillo aplicar los criterios de separación de los estratos a través de un programa de cómputo, que hacerlo interpretando directamente los datos.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al CONACyT el apoyo financiero para la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

- Ambrosia, V. G., S. W. Buechel, J. A. Brass, J. R. Peterson, R. H. Davis, R. J. Kane y S. Spain (1998), "An integration of remote sensing, GIS and information distribution for wildfire detection and management", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 64(10), pp. 977-985.
- Beaubien, J. (1979), "Forest type mapping from Landsat digital data", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 45(8), pp. 1135-1144.
- Benson, A. S. y S. D. De Gloria (1985), "Interpretation of Landsat thematic mapper and multispectral scanner data for forest surveys", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 51(9), pp. 1281-1289.
- Bryant, E., A. G. Dodge y S. D. Warren (1980), "Landsat for practical forest type mapping: a test case", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 46(12), pp. 1575-1584.
- Carneiro, C. M. R. (1978), "Forest cover mapping from Landsat-MSS data by analogue and computer assisted techniques in the Federal Republic of Germany", *Dissertation*, Forstwissenschaftliche Fakultät, Freiburg, RFA.
- Chuvieco, E. (1990), *Fundamentos de teledetección especial*, Ediciones Rialp, S. A., Madrid, España.
- Congalton, R. G., K. Green y J. Teply (1993), "Mapping old growth on National Forest and Park Land in the Pacific Northwest from remotely sensed data", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 59(4), pp. 529-535.

- Dirección de Estudios del Territorio Nacional (DETENAL; 1978), *Carta de uso del suelo*, escala 1:50 000, G14-C77 "La Ascensión", México.
- Fiorella, M. y W. J. Ripple (1993), "Determining successional stage of temperate coniferous forest with Landsat satellite data", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 59(2), pp. 1380-1383.
- Fox III, L. J., N. Brockhaus y N. D. Tosta (1985), "Classification of timberland productivity in Northwestern California using Landsat topographic and ecological data", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 51(11), pp. 1745-1752.
- Flores Olvera, . (1983), *Notas autoecológicas del pino piñonero (Pinus cembroides Zuccarini) en Nuevo León, México*, tesis, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México.
- Gugan, D. J. (1988), "Satellite imagery as an integrated GIS component", *Proceedings, GIS/LIS '88*, vol. 1, San Antonio, Texas, USA, pp. 174-180.
- Hafker, W. y W. R. Philpson (1982), "Landsat detection of hardwood forest clearcuts", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 48 (5), pp. 779-780.
- Hoffer, R. M., M. D. Fleming, L. A. Bartolluci, S. M. Davis y R. F. Nelson (1979), "Digital processing of Landsat-MSS and topographic data to improve capabilities for computerized mapping of forest cover types", *LARS, Technical Report 011-579*, Purdue University.
- Hutchinson, Ch. F. (1982), "Techniques for combining Landsat and ancillary data for digital classification improvement", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 48(1), pp. 123-130.
- Lillesand, T. y R. Kiefer (1987), *Remote sensing and image interpretation*, John Wiley & Sons, New York, USA.
- Jakubauskas, M. E., K. P. Lulla y P. W. Mausel (1990), "Assessment of vegetation change in a fire-altered forest landscape", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 56(3), pp. 371-377.
- Martin, F. C. (1985), "Using a geographic information system for forest land mapping and management", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 51(11), pp. 1735-1759.
- Mas, J. F. e I. Ramírez (1996), "Mejoramiento de las clasificaciones espetrales de cubiertas de suelo por medio de un sistema de información geográfica", *Investigaciones Geográficas*, Boletín núm. especial 4: *Sistemas de Información Geográfica en México*, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 111-122.
- Mayer, K. y E. L. Fox III (1981), "Identification of conifer species grouping from Landsat digital classifications", *Photogrammetric Enginneering and Remote Sensing*, 48(11), pp. 1607-1614.
- Palacio Prieto, J. L., L. Luna G. y L. Macías M. (1999), "Detección de incendios en México utilizando imágenes AVHRR (temporada 1998)", *Investigaciones Geográficas*, Boletín, núm. 38, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 7-14.
- Robinson Backer, G. (1988), "Remote sensing: the unheralded component of Geographic Information Systems", *Photogrammetric Enginneering and Remote Sensing*, 54(2), pp. 195-199.
- Rzedowski, J. (1978), *Vegetación de México*, Limusa, México.
- SPP (1986), *Síntesis geográfica de Nuevo León*, México, Secretaría de Programación y Presupuesto, México.
- Treviño Garza, E. J. (1992), "Verwendung von Satellitenaufnahmen zur Vegetationkartierung am Beispiel der Region "Sierra Madre Oriental" in Nordostmexiko", *Göttinger Beiträge zur Land-und Forstwirtschaft in der Tropen und Subtropen*, FET 68, Gotinga, Baja Sajonia, RFA..
- Van Laar, A. y A. Akça (1997), *Forest Mensuration*. Cuvillier Verlag, Goettingen, Gotinga, Baja Sajonia, RFA..
- Vallejo Maldonado, G. E. (1997), *Caracterización de rodales de pino piñonero Pinus cembroides Zucc. en relación a niveles de producción de conos en el noreste de México*, tesis de Maestría en Ciencias Forestales, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
- Woodcock, C. E. y A. H. Strahler (1980), "Stratification of forest vegetation for timber inventory using Landsat and collateral data", *Proceedings International Symposium on Remote Sensing of Environment*, Ann Arbor Mich. Bd. 14, USA, pp. 1769-1787.