

ANÁLISIS DE LA CUBIERTA VEGETAL DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO NAZAS EN DURANGO, MÉXICO

R. Solís-Moreno¹; E. J. Treviño-Garza²; O. A. Aguirre-Calderon²;
J. Jiménez-Pérez²; E. Jurado-Ybarra²

¹Profesor-investigador del Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera Universidad Juárez del estado de Durango.

²Profesor-investigador de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León

RESUMEN

El presente trabajo se desarrolló en la "Sierra de la Candela" en la cuenca alta del río Nazas en el estado de Durango. El objetivo fue realizar una clasificación de tipos de asociación vegetal, como herramienta base para llevar a cabo una comparación de la evolución de la vegetación en la región, utilizando imágenes de satélite Landsat ETM, MSS y cartografía local. Del procesamiento de imágenes se obtuvo primero un mapa de vegetación actual, conteniendo 13 clases de asociación vegetal, las cuales fueron después reclasificadas en cinco. El análisis multiespectral dio como resultado un incremento en las áreas de pastizal y el bosque abierto en decremento del bosque denso y bosque semidenso.

PALABRAS CLAVES: percepción remota, clasificación y asociación vegetal.

ANALYSIS OF THE VEGETATIVE COVER OF THE UPPER NAZAS RIVER BASIN IN DURANGO, MÉXICO

SUMMARY

This work was conducted in the Sierra de la Candela mountain range on the High Basin of Nazas river in the state of Durango. The goal was to develop a classification of the different types of vegetation associations, as a basic tool for comparing the evolution of vegetation in the region, utilizing Landsat ETM and MSS satellite images and local cartography. A vegetation map current was first obtained from the images, containing 13 classes of vegetation associations. Afterwards they were reclassified into five classes. The multi spectral analysis gave as a result an increase in grassland areas and open forests in decline of closed and semi closed forest.

KEY WORDS: remote sensing, vegetation association and classification.

INTRODUCCIÓN

La cuenca alta del río Nazas ubicada en la Sierra Madre Occidental en el estado de Durango es una importante reserva en diversidad vegetal, así como en la producción y almacenamiento de agua para la recarga de mantos freáticos que provee alrededor del 90 % de agua que se consume en la zona agrícola de la Región Lagunera. La vegetación desempeña un papel importante en esta función; sin embargo, el aprovechamiento forestal y el sobrepastoreo han causado diversos impactos como son: la redistribución de la vegetación, cambios en el régimen hidrológico, disminución de la biodiversidad y mayor vulnerabilidad a los incendios. Las prácticas silvícolas afectan de manera importante la estructura y composición de las comunidades vegetales, misma que interviene en los procesos edáficos e

hidrológicos y forma parte del hábitat de la fauna silvestre (Beschta *et al.*, 2000; Viramontes, 2003; Descroix, 2003). Las condiciones de deterioro en que se encuentra la cuenca alta del río Nazas, motiva a realizar estudios para reconocer el estado de las asociaciones vegetales, así como la superficie ocupada y su distribución. Además permite visualizar la tendencia de los procesos de reducción de superficies boscosas por diferentes factores antropogénicos y naturales, a través del cálculo de tasas de deforestación. (Velázquez *et al.*, 2005).

La forma tradicional de conocer la dinámica de las poblaciones vegetales a través de los inventarios forestales, está reforzada por el uso de la teledetección, para el monitoreo de los recursos naturales y el medio ambiente. Estos materiales y método utilizados posibilitan analizar

las condiciones de grandes superficies, permitiendo cuantificar diferentes aspectos de los bosques, así como actualizar la cartografía y formar bases de datos de los diferentes ecosistemas (Treviño, 2001; Pereira *et al.*, 2002). Además de tener aplicaciones en la evaluación de plantaciones forestales, promoción de la agroforestería, selección de árboles, ordenamiento territorial, y comportamiento del medio ambiente. (Ellis *et al.*, 2000; Hansen *et al.*, 2000), modificaciones del hábitat (Hilli y Kuitunen, 2005; Betts *et al.*, 2003), hidrología (Gottgens *et al.*, 1998), biología (Wessels *et al.*, 2004), elaboración de los programas de manejo forestal y mapas de suelo y vegetación (González *et al.*, 2004; Franklin *et al.*, 2002; Cingolani *et al.*, 2004; Wessels *et al.*, 2004; Liu, 2005).

En el área de estudio se han realizado aprovechamientos desde 1976, bajo las normas y lineamientos del Método Mexicano de Ordenación de Montes (MMOM). En 1987 se inició la aplicación del Método Mixto que es una combinación del Método de Desarrollo Silvícola (MDS) y el sistema antes mencionado (Moreno, 1999) ambos métodos aplicados actualmente en bosque denso como semidenso. El estado actual de la cobertura vegetal y su estructura está determinada por el historial de manejo aplicado a la superficie. Los diferentes sistemas utilizados y tratamientos aplicados, definen en gran parte la composición y cobertura vegetal (Pretzsch, 1998; Del Río *et al.*, 2003; Corral *et al.*, 2005).

El objetivo del presente trabajo es delimitar la superficie por tipos de asociación vegetal para obtener un mapa actualizado de la cubierta vegetal y analizar los cambios de la vegetación inducidos por los aprovechamientos forestales. Para ello se utilizaron imágenes Landsat MSS y ETM (1992 y 2002 respectivamente) procesadas con el programa ERDAS 8.7, como apoyo se utilizaron cartas de uso de suelo y vegetación, así como el programa de manejo forestal del área de estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se ubica en el estado de Durango en la región conocida como "Sierra de la Candela" que forma parte de la provincia fisiográfica "Sierra Madre Occidental" y la sub provincia "Sierra y Cañones de Durango", esta región forma parte de la cuenca alta del río Nazas dentro de la denominada Región Hidrológica 36, se localiza al norte de México, entre las coordenadas 23° y 27° latitud norte y 101° y 106° longitud oeste, con rangos de elevación de 2,400 a los 2,900 m.

El clima predominante en la región es templado-frío, la topografía del área es variada y se presenta de levemente ondulada a quebrada, con pendientes que varían de 5 al 55 % con una variedad de exposiciones predominando la noroeste y sureste. Los suelos son predominantemente litosoles, superficiales del tipo podzódicos de color café oscuro con materia orgánica en descomposición.

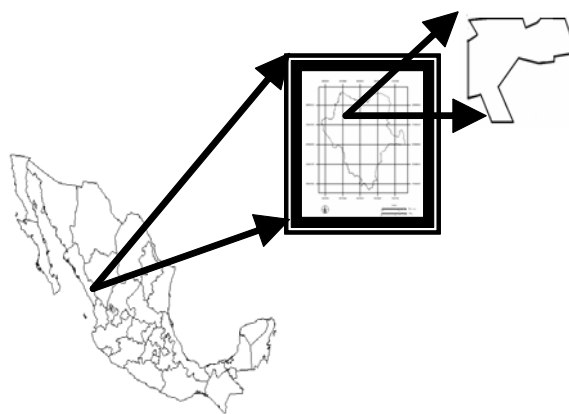


FIGURA 1. Localización del área de estudio.

El tipo de vegetación principal es de pino ocurriendo las especies siguientes: *Pinus arizonica*, *P. ayacahuite*, *P. durangensis*, *P. leiophylla*, *P. cooperi*, *P. chihuahuana*, *P. teocote*, *P. lumholtzii* y *P. engelmannii*, mezclas de manera importante con la familia *Fagaceae* del género *Quercus* como el *Q. crasifolia* y *Q. rugosa*; asociadas también con otras coníferas como *Juniperus deppeana* (Tascate), *Cupressus benthamii* (Cedro blanco) y *Pseudotsuga mensiesii* (Pseudotsuga); y otras hojosas *Arbutus xalapensis* (Madroño); arbustivas como *Arctostaphylos pungens* (manzanita); además de vegetación herbácea entre las que se encuentran *Bouteloua cutipendula* (zacate banderilla) y *Bouteloua gracilis* (zacate navajita).

La imagen utilizada para desarrollar la clasificación por tipos de vegetación fue Landsat (ETM), de fecha 1° de mayo de 2002, de la órbita 31, fila 42. El procesamiento de la imagen para el análisis de la vegetación se llevó a cabo utilizando el software ERDAS 8.7, realizando un recorte de la imagen delimitando un área importante de la cuenca alta del río Nazas en donde se ubica el macizo boscoso "Sierra de la Candela". El trabajo se realizó en el Laboratorio de Geomática de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León. La imagen se analizó visualmente utilizando el falso color diferenciando las firmas espectrales para identificar los elementos vegetación, suelo y agua presentes en área de estudio.

Se seleccionaron superficies en la imagen de satélite, identificadas como áreas de interés (AOI) tomando en cuenta la varianza espectral, lo que correspondería a diferentes tipos de asociación vegetal, asignándole a cada una de las AOI como nombre, las diferentes claves utilizada en la carta de uso de suelo y vegetación correspondiente por su ubicación; una vez definidas, se realizó un recorrido en campo para reconocer si las características espectrales seleccionadas en la imagen, correspondían a diferente composición vegetal, para este efecto se ubicaron 45 puntos de verificación distribuidos en toda el área correspondiente a la imagen, apoyándose en ello del GPS, para establecer los límites de

las mismas. Se desarrolló una validación de las firmas espectrales utilizando la matriz de confusión obteniendo resultados aceptables.

En la definición de las clases se consideró la diversidad de especies presentes, debido a que esa situación genera hábitats específicos dentro del ecosistema y en conjunto determinan algunas de las propiedades físicas, químicas e hidrodinámicas de los suelos (Casenave, 1989).

En la ubicación e identificación de la vegetación se utilizó material cartográfico, consistente en cartas topográficas escala 1: 50 000 y de uso de suelos y vegetación escala 1: 250 000.

Para comparar los resultados con trabajos anteriores y visualizar los posibles cambios de vegetación se utilizó la imagen anterior mencionada (Landsat ETM mayo de 2002), utilizando las bandas 3, 4 y 5; y una segunda imagen del satélite Landsat MSS (Multi spectral scanner de abril de 1992). Para el análisis de detección de cambios se requirió de un proceso de estandarización de las imágenes por tener diferente formato, como primer paso se procedió a igualar la imagen Landsat MSS, a una resolución de 30 x 30 m; también se referenció considerando el Datum WGS84. Homogenizadas las dos imágenes se utilizó el Índice de Vegetación de Diferencias Normalizadas (NDVI), estableciendo valores entre -1 y 1, para desarrollar una reclasificación, como base para detectar cambios. Después se decidió utilizar cinco clases de asociación vegetal para ambas imágenes, considerando las propuestas por Treviño (2001): (i) bosque denso, (ii) bosque semidenso, (iii) bosque abierto, (iv) pastizal y (v) suelo desnudo.

Una vez conocidas las superficies de cada tipo de bosque se calculó la tasa de deforestación del bosque denso y semidenso utilizando para ello la fórmula del estudio de la FAO (Velázquez *et al.*, 2005).

RESULTADOS

Mediante el análisis de la variación espectral de la imagen (Landsat ETM), se generó primero un mapa de vegetación con 13 clases de asociación vegetal (Figura 2 (a)). Dentro de los tipos de vegetación identificados predomina el género *Pinus* asociado con especies de los géneros *Quercus*, *Arbutus* y *Juniperus* principalmente.

Los 13 tipos de vegetación identificados corresponden a:

1. Matorral o chaparral Mi (1) conformado por *Quercus emory*, *Arctostaphylos pungens*, *Rhus microphylla* y *Q. chihuahuensis*

2. Pastizal inducido (Pi) conformado por *Bouteloua gracilis*, *Eragrostis palmeri* y *Stipa eminens*.
3. Bosque de pino encino matorral (Bpq) formado por las especies *P. chihuahuana*, *P. engelmanni*, *P. ayacahuite*, *Q. emory*, *Q. gregii*, *Q. chihuahuensis* y *Arctostaphylos pungens*.
4. Bosque de pino encino matorral (Bpq Mi) con las especies *P. chihuahuana*, *P. engelmanni*, *P. ayacahuite*, *Q. gregii*, *Q. chihuahuensis*, *Arctostaphylos pungens* y *Arbutus xalapensis*
5. Matorral bosque de encino (Mi Bq) formado por *Arctostaphylos pungens*, *A. xalapensis*, *Nolina durangensis*, *Q. gregii* y *Q. emory*
6. Matorral bosque de pino (Mi Bp) con las especies *A. pungens*, *A. xalapensis*, *P. chihuahuana*, *P. engelmanni*, *P. ayacahuite*, *Q. gregii* y *Q. chihuahuensis*.
7. Pastizal natural (Pn) con las especies *Bouteloua hirsuta*, *B. cutipendula*, *Asistida temipes* y *Cenchrus pauci*.
8. Bosque de pino encino (Bpq) conformada por *P. leiophylla*, *P. ayacahuite*, *Q. crasifolia* y *Q. hipoleuroides*
9. Bosque de pino encino matorral (Bpq Mi) conformada por las especies *P. chihuahuana*, *P. ayacahuite*, *P. engelmanni*, *Q. gregii*, *Q. hipoleuroides*, *Q. chihuahuensis*, *A. xalapensis*, *Arctostaphylos pungens* y *Q. emory*
10. Bosque de pino encino (Bpq) conformado por las especies *P. cooperii*, *P. ayacahuite*, *Q. arizonica*, *Q. hipoleuroides*, *Cupressus arizonica*, *Arctostaphylos glandulosa* y *A. pungens*
11. Matorral (Mi) con las especies *Juniperus durangensis* y *Q. microphylla*.
12. Bosque de pino (Bp) con las especies *P. leiophylla*, *P. ayacahuite*, *Pseudotsuga mensiesii*, *P. chihuahuana*, *Q. crasifolia*, *Q. gregii* y *Q. hipoleuroides*.
13. Bosque de pino (Bp) conformado por las especies *P. durangensis* y *Q. arizonica*.

La mayor superficie la ocupan las clases Bpq Mi (2), Bpq (2) y Mi (1) con 16, 16 y 15 % de la superficie total respectivamente. Otras clases con porcentajes de área importante son el Mi Bp con 12 %, y el Bp cubriendo un 10 % de la superficie (Figura 2 (b)). Trabajos similares Carreiras (2006). El resto de la superficie se reparte en porcentajes similares en las demás clases.

La superficie y porcentaje por tipo de vegetación es la siguiente: 33,146 ha de vegetación donde predomina el pino

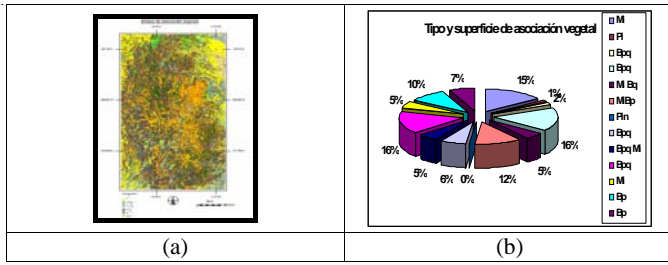


FIGURA 2. Mapa con 13 clases de asociación vegetal (a) y porcentaje (b).

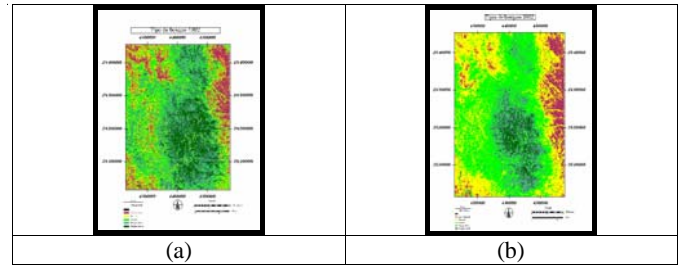


FIGURA 4. Mapa reclasificado a 5 clases de fecha 1992 (a) y 2002 (b).

(62 %), distribuidas en 2,674 ha mezclada con encino-chaparral, 21,851 ha con *Quercus* y 8,619 ha de masas puras de pino. El bosque de chaparral ocupa 19,673 ha (36 %), de las cuales 2,512 ha están mezcladas con el género *Quercus*, 6,382 ha con bosque de pino, 10,778 ha son de chaparral sin mezcla y 867 ha están cubiertas por pastizal natural o inducido.

La reclasificación a cinco tipos de vegetación el bosque denso se conformó con las clases 10, 12 y 13; las clases 8 y 9 formaron al bosque semidenso; el bosque abierto agrupó las clases 1, 3, 4, 5, 6, y 11; el pastizal correspondió a las clases 2 y 7. La definición de suelo desnudo correspondió a los valores negativos del índice NDVI.

El bosque denso como el bosque semidenso presentaron una disminución mayor a 30 % de superficie (Figura 3), lo que permitió calcular una tasa de deforestación de 8.6 y 8.9 % respectivamente, siendo mayor a la media nacional.

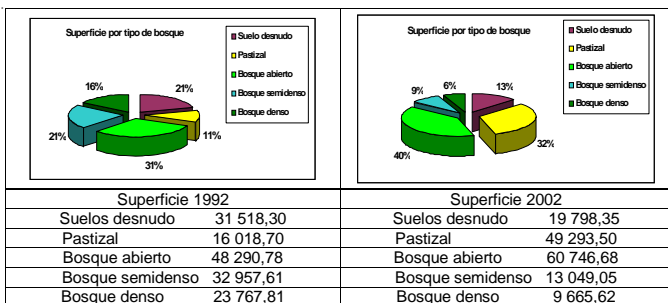


FIGURA 3. Superficies de las cinco clases en las imágenes de 1992 y 2002.

El área del bosque abierto muestra un aumento de 10 %, en similar condición está el área de pastizal con un crecimiento significativo de 11 a 32 %, el incremento de esta área disminuye la superficie del suelo desnudo. Estas dos últimas superficies se han incrementado como resultado de la disminución del bosque denso y semidenso como se observa en la Figura 4 (a) con respecto a la 4 (b).

Los diferentes sistemas de manejo aplicados definen

en gran medida las condiciones de cobertura y asociación vegetal. El Método de Desarrollo Silvícola (MDS) aplica varias cortas regulando la densidad del arbolado, mientras que el Método Mexicano de Ordenación de Montes (MMOM) mantiene la competencia entre la vegetación por la baja densidad de remoción que se prescribe en el mismo. La disminución de superficie ocupada por el bosque cerrado como semidenso, es debido a los aprovechamientos realizados y a las prácticas silvícolas aplicadas durante las últimas tres décadas, de acuerdo a los antecedentes de manejo forestal del área de estudio. Los resultados de este estudio son consistentes con los de otros trabajos (Franklin *et al* 2002, y Betts, 2003).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La evaluación y análisis de vegetación a través de la teledetección permitió analizar la superficie estudiada diferenciando clases de asociación vegetal.

Se observó un cambio en las diferentes áreas, tanto en la superficie como en la distribución. La pérdida de superficie en bosque denso como en bosque semidenso se debe a que son áreas en aprovechamiento, donde se ubican las especies de mayor valor comercial, por lo que ha disminuido la densidad del género *Pinus*, aperturando el dosel vegetal y promoviendo una mayor mezcla con las especies vecinas.

De acuerdo a los antecedentes de manejo forestal y los resultados del mapa generado se considera que los tratamientos aplicados y métodos utilizados no han contribuido a la sustentabilidad de los recursos forestales ya que se han presentado modificaciones en cuanto a distribución y cobertura vegetal.

La información disponible referente a estudios de cambio de uso de suelo y cobertura vegetal generada a través de imágenes de satélite debe ser utilizada como referencia en la elaboración de programas de manejo y en la toma de decisiones.

Los sistemas de manejo deben ser definidos en función del análisis de la composición y estructura florística.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la donación de las imágenes Landsat TM y MSS al Fideicomiso Chihuahua Forestal y al INIFAP CENID RASPA de Gómez Palacio Durango.

LITERATURA CITADA

- BESCHTAR, L.; PYLES M., R.; SKAUGSETA, E.; SURFLEET C., G. 2000. Peakflow responses to forest practices in the western Cascades of Oregon. *Journal of Hydrology* 233 ELSEVIER. p. 102-120.
- BETTS M., G.; FRANKLIN S., E.; TAYLOR R., G. 2003. Interpretation of landscape pattern and habitat change for local indicator species using satellite imagery and geographic information system data in New Brunswick, Canada. *Canadian Journal of Forest Research*. Ottawa: Vol.33, Iss. 10. p. 1821.
- CARREIRAS JMB, PEREIRA JMC., PEREIRA J., S. 2006. Estimation of tree canopy cover in evergreen oak woodlands using remote sensing. *Forest Ecology and Management* 223(1-3): 45-53.
- CASENAVE, A.; VALENTIN, C. 1989. Les etats de surface de la zone Sahélienne. Influence sur l'infiltration. Col. Didactique. Editions ORSTOM, Paris, 229 p.
- CINGOLANI, A.; RENISON D.; ZAK M. R.; CABIDO, M. 2004. Mapping vegetation in a heterogeneous mountain rangeland using landsat data: an alternative method to define and classify land-cover units. *Remote sensing of environment*. Vol. (86): pp. 84-97.
- CORRAL, J.; AGUIRRE, O.; JIMÉNEZ, J.; CORRAL, S. 2005. Un análisis del Efecto del Aprovechamiento Forestal Sobre la diversidad Estructural en el Bosque Mesófilo de Montaña "El Cielo", Tamaulipas, México. *Investigaciones Agrarias. Sistemas de Recursos Forestales*. Vol. 14 N° 2: p. 217-228
- DEL RÍO, M.; MONTES, F.; CAÑELAS I.; MONTERO, G. 2003. Revisión: Índices de Diversidad Estructural en las Masas Forestales. *Investigaciones Agrarias. Sistemas de Recursos Forestales*. Vol. 12(1). p. 159-176
- DESCROIX, L. 2003. Les conséquences hydrologiques de l'évolution des usages des sols. *Memoire de recherche. Diplôme d'Habilitation à Digiges Université Joseph Fourier-Grenoble*. 80 p.
- ELLIS E., A.; NAIR P., K.; LINEHAN P., E.; BECK H., W.; BLANCHE C., A.; RAUSCHER H., M. 2000. A GIS-Based database management application for agroforestry planning and tree selection. *Computers and electronics in agriculture*. 27: 41-55.
- FRANKLIN S., E.; LAVIGNE M., B.; WULDER M., A.; STENHOUSE G., B. 2002. Change detection and landscape structure mapping using remote sensing. *Forestry Chronicle* 78 (5): pp. 618-625.
- GONZÁLEZ, M. R.; TREVIÑO E., G.; AGUIRRE O., C.; JIMÉNEZ J., P.; CANTÚ, S., I. 2004. Rodalización mediante Sistemas de Información Geográfica y Sensores Remotos. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía UNAM*. N° 53, pp. 39-57.
- GOTTGENS, J. F.; SWARTZ B., P.; KROL R., W.; EBOCH, M.; MITSCH W., J.; BOUCHARD, V. 1998. Long term GIS-based records of habitat changes in a Lake Erie Coastal Marsh. *Wetland Ecology and Management* Vol. (6): pp. 5-17.
- HANSEN, M. C.; DE FRIES R., S.; TOWNSHEND J., R. G.; SOHLBERG, R. 2000. Global land cover classification at 1 Km spatial resolution using a classification tree approach. *International Journal of Remote Sensing* (21): pp. 1331-1364.
- HILLI, M.; KUITUNEN, M. T. 2005. Testing the use of a land cover map for habitat ranking in boreal forests. *Environmental Management*. 35. Vol. (4): pp. 505-516.
- LIU Y., S.; HU Y., C.; PENG L., Y. 2005. Accurate quantification of grassland cover density in an alpine meadow soil based on remote sensing and GPS. *PEDOSPHERE* 15. Vol. (6): pp. 778-783.
- MORENO, M. 1999. Programa de Manejo Forestal "Ejido Peñas y su Anexo el Salto". Unidad de Administración Forestal "Tepehuanes".
- PRETZSCH, H. 1998. Structural diversity as a result of silvicultural operations. *Lesnictví-Forestry* 44(10): 429-439.
- PEREIRA, VFG; CONGALTON R., G.; ZARIN D., J. 2002. Spatial and temporal analysis of a tidal floodplain landscape - Arnapi, Brazil - Using geographic information systems and remote sensing. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 2002. Vol. 68, Iss 5, pp. 463-472.
- TREVIÑO, G. 2001. Estratificación de la Información en el Procesamiento digital de Imágenes de Satélite Aplicado a la Cartografía de los Bosques Pinus cembroides. *Investigaciones Geográficas, Boletín número 44*. Instituto de Geografía, UNAM, México. pp. 54-63.
- VELÁZQUEZ, A.; MAS J., F.; DÍAZ-GALLEGOS J., R.; MAYORGA-SAUCEDO R.; ALCÁNTARA, P. C.; CASTRO, R.; FERNÁNDEZ, T.; BOCCO, G.; ESCURRA, E.; PALACIO J., L. 2005. Patrones de tasas de cambio de uso de suelo en México. Instituto Nacional de Ecología. Proyecto 312^a-00215. www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/gacetas/62/velasquez.html. Actualización 31/03/2005. Consulta 29/03/2006.
- VIRAMONTES, D. 2003. Changes in the surface water hydrologic characteristics of an endoreic basin of northern México from 1970 to 1998. *Hidrological processes* (17). p. 1291-1306.
- WESSELS, K. J.; De FRIES R., S.; DEMPEWOLF, J.; ANDERSON L., O.; HANSEN A., J.; POWELL S., L.; MORAN, E. F. 2004. Mapping regional land cover with MODIS data for biological conservation: Examples from de greater Yellowstone Ecosystem, USA and Pará State, Brazil. *Science Direct. Remote Sensing of Environment*. Vol. (92) p. 67-83.