



Investigaciones Geográficas (Mx)
ISSN: 0188-4611
edito@igg.unam.mx
Instituto de Geografía
México

González Murguía, Rene; Treviño Garza, Eduardo Javier; Aguirre Calderón, Óscar Alberto; Jiménez Pérez, Javier; Cantú Silva, Israel; Foroughbakhch Pournavab, Rahim Foroughbakhch
Rodalización mediante sistemas de información geográfica y sensores remotos

Investigaciones Geográficas (Mx), núm. 53, abril, 2004, pp. 39-57
Instituto de Geografía
Distrito Federal, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56905304>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

Rodalización mediante sistemas de información geográfica y sensores remotos

Rene González Murguía*
Eduardo Javier Treviño Garza*
Oscar Alberto Aguirre Calderón*
Javier Jiménez Pérez*
Israel Cantú Silva**
Rahim Foroughbakhch Pournavab***

Recibido: 23 de febrero de 2004

Aceptado en versión final: 24 de marzo de 2004

Resumen. Este trabajo de investigación se realizó en el ejido Pueblo Nuevo, estado de Durango, México. El objetivo es establecer una metodología para modelar y crear la división dasocrática de zonas forestales hasta nivel de subrodal. Para ello se utilizó información topográfica del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) escala 1:50 000 y una imagen de satélite Landsat-ETM+ del 8 de abril del 2000. A partir de la información topográfica se generó un modelo digital de elevación con resolución espacial de 15 x 15 m, y se modelaron cuencas, subcuencas, microcuencas, submicrocuencas y cauces. La imagen Landsat-ETM+ fue remuestreada a 15 x 15 m con ayuda de la imagen pancromática para obtener mayor resolución espacial. Se clasificó la imagen por medio de estadísticas supervisadas con trabajo de campo para mapear los diferentes tipos de comunidades vegetales y usos de suelo. Se digitalizaron los rodales actuales creados por los prestadores de servicios técnicos forestales del ejido para su comparación.

A partir del modelo digital de elevación se generaron los modelos de pendientes y exposición, para buscar asociación comparativa con los polígonos de rodales actuales. Se comparó la distribución de comunidades vegetales clasificadas contra el modelo de exposición para determinar patrones preferenciales de distribución. Los rodales modelados fueron obtenidos de la integración de las submicrocuencas modeladas y del modelo de patrones preferenciales de distribución de la vegetación. Y los subrodales fueron generados de la integración de los rodales modelados y de la clasificación de tipos de

*Escuela de Graduados en Administración Pública y Política Pública (EGAP), Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), Edificio CEDES piso 10, Av. Eugenio Garza Sada 2501 Sur, 64849, Monterrey, Nuevo León. E-mail: rggonzal@itesm.mx; ejtrevin@fcf.uanl.mx; jimenez@fcf.uanl.mx

**Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, Carretera Nacional Km. 145, 67700, Linares Nuevo León. E-mail: gestion@nl.semarnat.gob.mx

***Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, Ciudad Universitaria, 66450, San Nicolás de los Garza, N. L. E-mail: rsorough@fcb.uanl.mx

vegetación de la imagen Landsat-ETM+.

Palabras clave: Forestal, rodalización, sistemas de información geográfica, Landsat,

Forest stratification through Geographical Information Systems and Remote Sensing

Abstract. The present research was development in ejido Pueblo Nuevo in Durango State, Mexico. The objective is to establish a methodology to modeling and create the silvicultural stratification to forest management up to sub-stand (subrodal) level. Topographic information from INEGI 1:50 000 scale, and a Landsat-ETM+ satellite image dated April 8, 2000 was used. A digital elevation model with 15 x 15 pixel cell size to modeling basins, watersheds and streams, was developed from topographic information. The Landsat-ETM+ satellite image was resampled to 15 x 15 pixel cell size with the panchromatic image in order to generate an image with better spatial resolution. The image was classified through supervised field training process to map the various landuse and vegetation covers. The actual stands (rodales) generated for ejido forest technician services was digitized to compare with the models. The slope and aspect data was generated from digital elevation model to find a comparative relation with actual stands. The Landsat-ETM+ classification was compared with the aspect model to establish vegetation distribution patterns and preferential aspects. The modeling stands were generated from the integration of watersheds and preferential aspects and sub stand with the integration of land cover land use coverage.

Key words: Forest, Stands, Geographic Information System, Landsat.

INTRODUCCIÓN

En México las áreas forestales presentan una gran diversidad en cuanto a sus características fisiográficas, ecológicas y silvícolas, por tal motivo, para tener un mayor control y organización en el manejo forestal, el área es dividida en rodales y subrodales considerando la similitud de las características que presenta en cuanto a pendiente, exposición, composición florística, densidad y estructura del arbolado, buscando establecer divisiones de menor variación que asemejen bosques coetáneos para simplificar el manejo y conservación, este proceso es conocido como "estratificación o rodalización de la masa forestal".

El método actualmente utilizado para rodalizar las masas forestales se basa en foto-

grafías aéreas pancromáticas, recorridos de campo y la habilidad del fotointérprete para desarrollar los respectivos trabajos fotogramétricos y definir los límites de rodales y subrodales, así como el uso de métodos geométricos de restitución, elaboración de mapa base, así como la cuantificación de áreas y distancias, típicamente con mallas, curvímetro y planímetros. Esto trae como consecuencia que la calidad de la estratificación esté en función de las habilidades del fotointérprete en términos de su capacidad visual, criterio o experiencia, materiales y equipo utilizado en los diferentes procesos. Resultando en una rodalización directamente dependiente del técnico y con alto grado de discrecionalidad, dado que una misma área puede ser zonificada con diferentes resultados por diferentes fotointérpretes o, incluso,

el mismo fotointérprete repitiendo el mismo proceso.

Los primeros parámetros afectados son la cuantificación del área, perímetro y la correcta ubicación de subrodales en un sistema de coordenadas y a escala. La variable "área" afectará, en consecuencia, a los parámetros que dependan de ella, como área basal, existencias reales, incrementos y volúmenes de remoción por unidad de superficie, entre otros.

Durante las últimas décadas se han hecho grandes avances en los métodos y técnicas de inventarios, aún así, hay serias deficiencias sobre la información de recursos forestales. Estimaciones de FAO indican que en los países en desarrollo solamente el 14% de las áreas forestales cuentan con inventarios de alta fiabilidad y el 43% son de baja Habilidad (Persson 1997).

Con el continuo y rápido cambio en la cobertura forestal que ocurre sobre grandes áreas, las tecnologías de sensores remotos (SR) y sistemas de información geográfica (SIG) constituyen una herramienta esencial en la observación de las condiciones forestales y evaluación de las mismas, incluso las más inaccesibles. Permiten sistematizar la información para su integración y análisis, facilitando la comprensión de los procesos biofísicos y humanos detrás de los aprovechamientos, así como la degradación de la masa forestal.

El objetivo que se busca en este trabajo es el establecer una metodología que permita estratificar zonas forestales, teniendo en cuenta sus condiciones ecológicas y silvícolas, buscando definir divisiones de menor variación que asemejen bosques coetáneos, estableciendo un método estándar y eficaz en la evaluación de subrodales, así como de sus

variables dependientes.

ANTECEDENTES

Entre los primeros trabajos a nivel internacional que impulsan el uso de SIG en el manejo forestal, están los de Jordan en 1992, quien sugiere guías para la investigación y desarrollo del potencial de los SIG en el manejo forestal, incluyendo diseño de manejo de bosques, implementación de inventarios y estudios sobre la respuesta del bosque a sus intervenciones. Entre las primeras aplicaciones tenemos a Congalton *et al.* (1993), quienes utilizan imágenes Landsat-TM para producir bases de datos y mapas de bosques de coníferas de viejo crecimiento, así como la producción potencial de madera. El trabajo de Fiorella (1993), utiliza imágenes Landsat-TM para desarrollar una clasificación de estados sucesionales forestales que pueden ser integrados a un SIG. Posteriormente Brownlie *et al.* (1995), utilizan los SIG para combinar fotografías aéreas y datos de campo de las áreas de aprovechamiento para identificar y cuantificar los disturbios causados al suelo. Una de las primeras estimaciones de área basal fue desarrollada por Coulombe *et al.* (1995), quienes analizaron la factibilidad de estimación de área basal mediante la relación entre medidas de campo con algunas variables ecofisiográficas en un modelo de regresión usando un SIG.

Jordan *et al.* (1996) proponen un marco de referencia para la evaluación del manejo forestal basado en imágenes de satélite (Landsat-TM) y tecnología de SIG (Arc/Info, Easi/Pace). El proyecto que involucra el desarrollo e integración de modelos para comprender la dinámica entre suelo, vegetación y radiación en ecosistemas forestales, es el desarrollado entre la NASA y el Instituto de

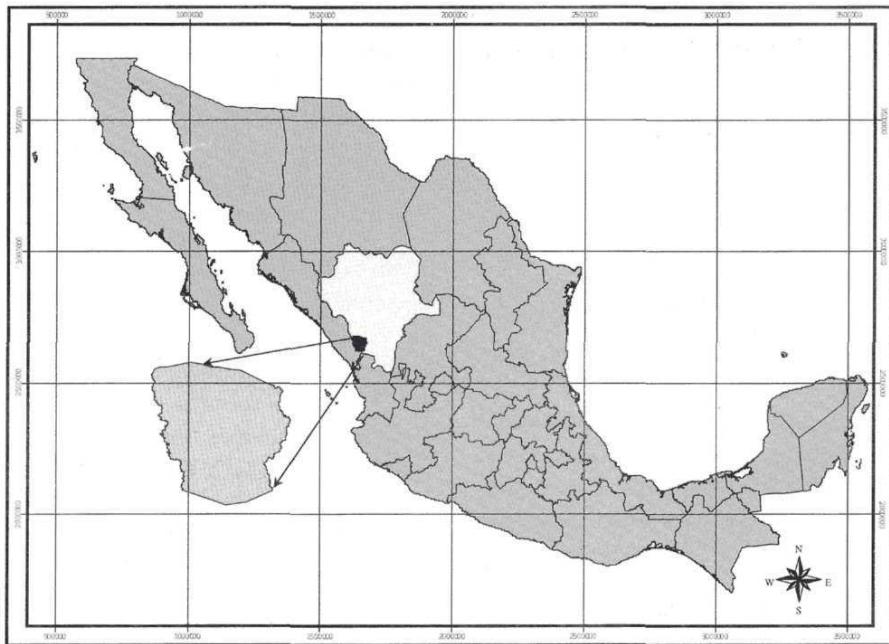


Figura 1. Ubicación del área de estudio "Ejido Pueblo Nuevo".

Ecología Terrestre.

Actualmente existe una gran variedad de trabajos y proyectos sobre temas forestales, los cuales involucran el uso de SIG e imágenes de satélite, cada uno de ellos trata de explicar las interrelaciones entre los factores de medio físico y la biota propia del lugar, con el objetivo de minimizar el grado de impacto en sus masas forestales, quedando de manifiesto que, la principal ventaja del uso de sensores remotos en el manejo forestal es la facilidad de evaluar los tipos de vegetación y uso de suelo, orientando los trabajos de campo durante el desarrollo de inventarios, así como la sistematización de información (Burrough, 1986; Lang, 1998; Treviño *et al.*, 1997; Treviño, 2000).

ÁREA DE ESTUDIO

El Ejido Pueblo Nuevo se encuentra locali-

zado en el municipio del mismo nombre en el SW del estado de Durango, colindando con el estado de Sinaloa y una parte del estado de Nayarit (Figura 1). Sus coordenadas geográficas están entre los $23^{\circ} 07'$ y $23^{\circ} 39'$ latitud norte y los $105^{\circ} 12'$ y $105^{\circ} 46'$ de longitud al oeste de Greenwich. Cuenta con una superficie total de 240 739 ha y una población de 11 886 habitantes (INEGI, 2000). Su rango altitudinal es de 126 a 2 926 m sobre el nivel medio del mar. Su fisiografía está distribuida en sierras (64%), mesetas (5%) y cañones (31%). Las pendientes varían desde plana y relativamente plana (5%), media (7%), fuerte (18%), y escarpada (70%). Con clima semi-cálido sub-húmedo en las regiones bajas, templado sub-húmedo y semi-frío sub-húmedo en zonas altas. Los tipos de comunidades vegetales existentes son bosques de pino, pino-encino, encino-pino, encino en la zona alta, así como selvas medianas y

bajas, caducifolias y subcaducifolias en la zona baja.

MATERIALES Y MÉTODOS

El software utilizado para la integración, proceso y análisis de información fue Arc/Info 7.0.2, y ERDAS 8.5. Se adquirió una imagen de satélite Landsat ETM+ órbita 31, fila 44 de fecha 08 de marzo de 2000, así como los conjuntos de datos vectoriales de las cartas F13-A27, A28, A29, A37, A38, A39, A48 y A49, escala 1:50 000 de INEGI, los cuales fueron la base para corregir geométricamente la imagen de satélite y con las curvas de nivel, generar el modelo digital de elevación (MDE) con un tamaño de celda de 15 x 15 m, mediante el algoritmo TOPOGRID de Arc/Info, que es un método de interpolación específicamente diseñado para crear MDE hidrológicamente corregido, basado en el programa ANUDEM desarrollado por Michael Hutchinson (1988, 1989).

Se mejoró la resolución espacial de las bandas visibles e infrarrojas de la imagen Landsat ETM+, siguiendo la metodología propuesta por Chávez, 1991, donde se utiliza el principio de componentes principales, sustituyendo el primer componente principal (PC-1) por la imagen pancromática para obtener como resultado una imagen multiespectral con resolución espacial de 15 x 15 m.

A partir del MDE se generó un modelo digital de iluminación (MDI) con las mismas condiciones de azimut ($131^{\circ} 54' 26.51''$) y elevación solar ($51^{\circ} 08' 43.61''$) al momento en que se adquirió la escena Landsat-ETM+, para corregir el *efecto topográfico* mediante la ecuación de Civco (1989) modificada por González (2003).

La definición de los 16 tipos de vegetación

y usos de suelo presentes en la zona de estudio se obtuvieron a partir del Inventario Nacional Forestal 2000 e Inventario de Manejo Forestal 1997-1998 del programa de manejo forestal del ejido 1997-2007.

Se digitalizó un total de 1 402 rodales y 14 090 subrodales, los cuales constituyen la cartografía básica de manejo del ejido, e integran en su base de datos 126 variables de inventario y manejo para su administración.

Para el establecimiento de los polígonos de estadísticas supervisadas y de evaluación de clasificación, se seleccionaron 62 subrodales a partir de sus variables de especie dominante y factor de composición, dentro de los cuales se estableció un total de 172 puntos de entrenamiento ubicados con sistema de posicionamiento global (SPG), mismos que fueron ubicados en la imagen Landsat ETM+ y mediante la herramienta SEED (ERDAS 8.5), la cual determina qué píxeles vecinos son considerados como similares de acuerdo con sus valores digitales, sólo integrando a éstos en el polígono de entrenamiento, eliminando el posible error por efecto de borde al digitalizar polígonos de forma manual. El total de superficie de entrenamiento cubre un total 2 783.07 ha. Las firmas espectrales de cada tipo de vegetación y uso de suelo fueron evaluadas mediante una matriz de covarianzas y su separabilidad aplicando el algoritmo de Jefferies-Matusita.

Posteriormente se procedió a la clasificación mediante el algoritmo de máxima verosimilitud. La evaluación del resultado de la clasificación se realizó mediante una matriz de contingencia entre las clases resultantes y polígonos de validación de campo (subrodales) seleccionados por los prestadores de servicios técnicos forestales del ejido con base en sus variables de inventario y mane-

jo; sus valores de confiabilidad promedio por clase y total son del 94.99 y 93.68%, respectivamente.

El primer paso para modelar digitalmente la rodalización consiste en la delimitación hidrológica de vasos de captación, hasta nivel de submicrocuenca, definida por Meráz (1998) como la unidad hidrológica elemental utilizada como base de evaluación, acotamiento y monitoreo del posible impacto ambiental generado por los aprovechamientos forestales. A partir del MDE se calcularon pendientes y exposiciones, así como una modelación hidrológica para definir dirección de flujo, flujo acumulativo, red de cauces, órdenes hidrológicos, cuencas, subcuencas, micro-cuencas y submicrocuencas (nanocuencas).

Meráz (1998) define a los rodales como áreas forestales con características físicas homogéneas enmarcadas dentro de los límites geográficos de las unidades hidrográficas elementales (submicrocuencas). Sus límites se establecen por elementos fisiográficos del relieve y el suelo, factores permanentes en el horizonte de planeación que determinan la capacidad productiva del sitio.

Dado que los elementos fisiográficos de inclinación y orientación de las pendientes son determinantes en la distribución de los tipos de vegetación (González, 1995), su análisis permite definir patrones de distribución preferencial, este archivo vector es integrado al de submicrocuencas modeladas mediante la intersección geométrica de ambas coberturas para generar los rodales modelados mediante el algoritmo UNION de Arc/Info, luego se sobrepuso al de rodales original para su comparación.

Los subrodales definidos por Meráz (1998) como divisiones del bosque que po-

seen la misma capacidad productiva, pero que han evolucionado de manera diferente, razón por la cual presentan diversas etapas de desarrollo como consecuencia de cortas comerciales o perturbaciones debidas a incendios, desmontes, plagas o enfermedades, presentan características específicas de madurez, densidad, composición, estructura, dimensiones y valor comercial de la masa forestal.

Dado que la zona ha estado sujeta a intervenciones silvícolas desde 1918, puede afirmarse que la distribución de la madurez, densidad, composición, estructura, dimensiones y valor comercial de la masa forestal, está en función de los aprovechamientos y perturbaciones a los que ha estado sujeta, más que a un proceso evolutivo de distribución que se manifiesta de forma directa en la imagen de satélite, la cual puede ser utilizada para subrodalizar la masa forestal.

Con base en lo anterior, se procedió a vectorizar la cobertura de derivada de la clasificación de la imagen de satélite (tipos de vegetación y usos de suelo), para ser integrada a la modelación de rodales y, de esta manera, modelar los subrodales. Con base en normas de manejo establecidas por los prestadores de servicios técnicos forestales de la región, se fijó como área mínima de mapeo dos hectáreas, eliminando todos los polígonos con superficie menor mediante filtros de vecindad. Esto significa que sólo superficies mayores a dos hectáreas son integradas a los planes de manejo. Por último, se generaron las zonas de segregación de cauces, caminos y brechas, para lo cual se utilizó la red de cauces modelada y la red de caminos, brechas y líneas de infraestructura, definiendo zonas de derecho de vía o influencia (buffer) según parámetros establecidos por el plan

de manejo local.

RESULTADOS

Para el área de estudio se extrajo una porción de la imagen Landsat ETM+ corregida geométricamente y mejorada su resolución espacial (Figura 2), así como la información topográfica de las cartas 1:50 000 con las que se generó el MDE hidrológicamente corregido (Figura 3), a partir del cual se generó el MDI para aplicar la normalización topográfica (Figura 4) y de esta forma minimizar el efecto topográfico, el cual afecta los valores de radianza, creando confusiones espectrales, dificultando el establecer firmas consistentes, e impactando a los procesos de clasificación (Figura 5). Con base en la cartografía forestal ejidal se digitalizaron los rodales y subrodales existentes (Figura 6), integrando 126 variables de inventario y manejo.

Para cada tipo de vegetación y uso de suelo muestreado se definen firmas spectrales

con base en los valores digitales promedio en cada banda (Figuras 7, 8 y 9), cuyo proceso de clasificación resulta en una cobertura de tipos de vegetación y uso de suelo en el área de estudio (Figura 10).

Derivadas de la modelación hidrológica se definieron las unidades hidrográficas elementales (submicrocuenca), así como los cauces (Figura 11). Se compararon la cobertura de tipos de vegetación y uso de suelo derivado de la clasificación de la imagen Landsat ETM+ con la de exposiciones generada a partir de MDE para identificar patrones de distribución preferenciales de la vegetación (Figura 12), apreciándose una marcada división en dos grupos (exposiciones oeste/noreste y este/suroeste), agrupando el modelo original de ocho exposiciones a dos (Figura 13) y ser convertido a formato vector (Figura 14) para ser integrado a las submicrocuenca y generar la cobertura de rodales modelados (Figura 15).



Figura 2. Imagen Landsat-ETM+2000 del área de estudio.

René González, Eduardo Treviño, Oscar Aguirre, Javier Jiménez, Israel Cantú y Rahim Foroughbakch

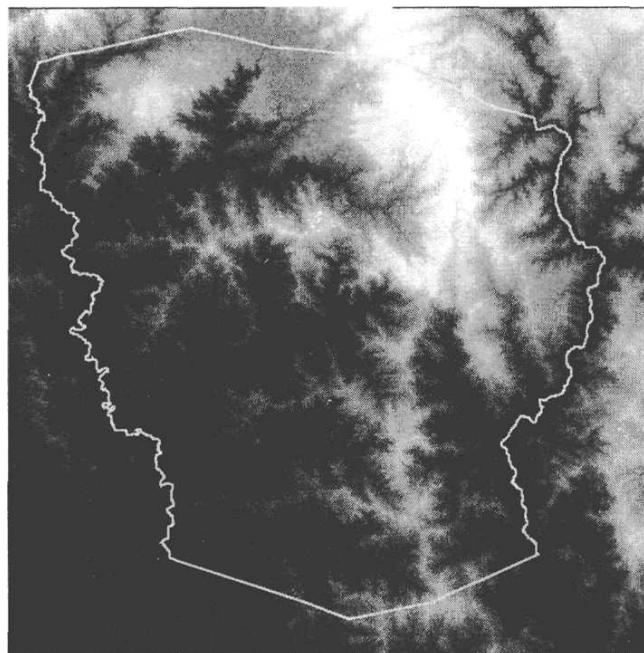


Figura 3. Modelo Digital de Elevación.

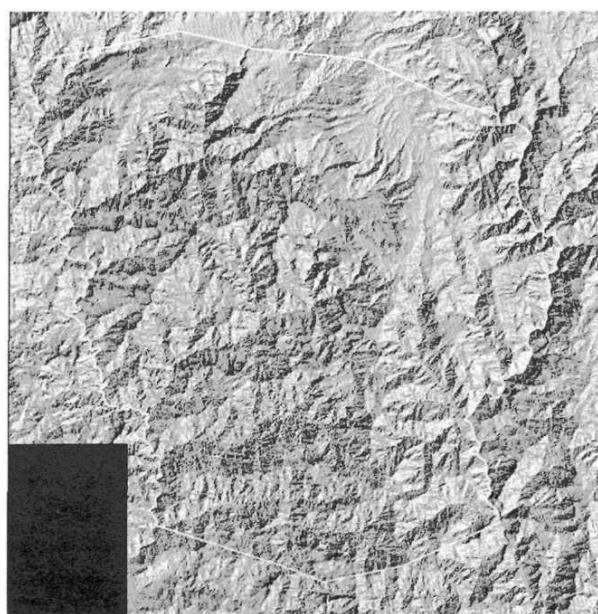


Figura 4. Modelo de iluminación.

Rodalización mediante sistemas de información geográfica y sensores remotos

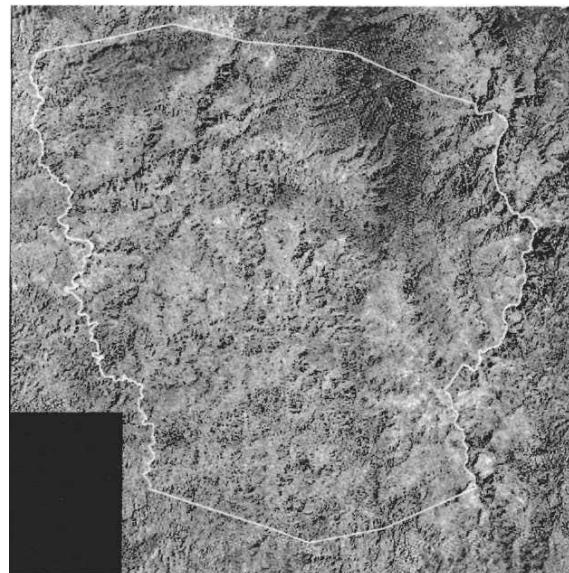


Figura 5. Imagen Normalizada Topográficamente.



Figura 6. Cobertura de rodales y subrodales del inventario forestal ejidal.

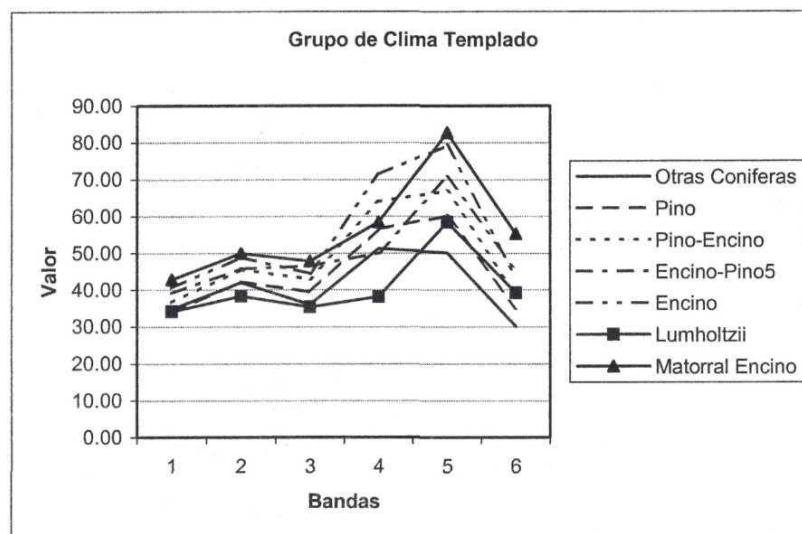


Figura 7. Grupo templado.

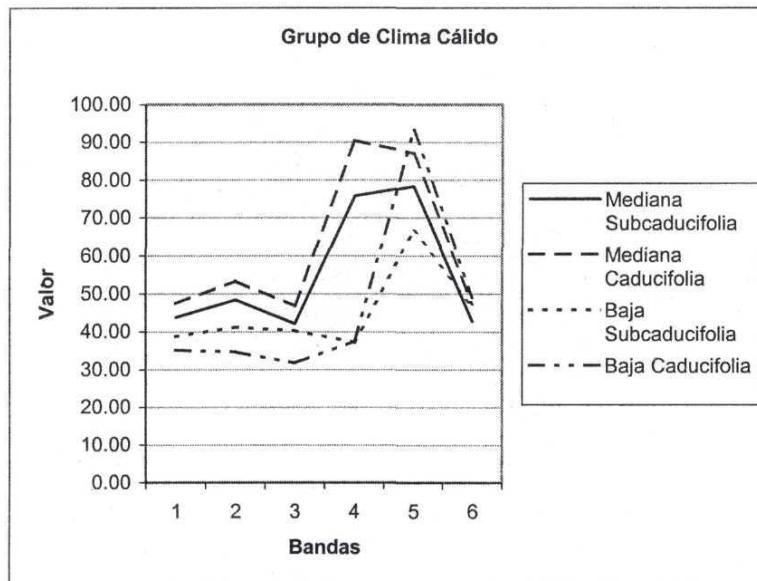


Figura 8. Grupo cálido.

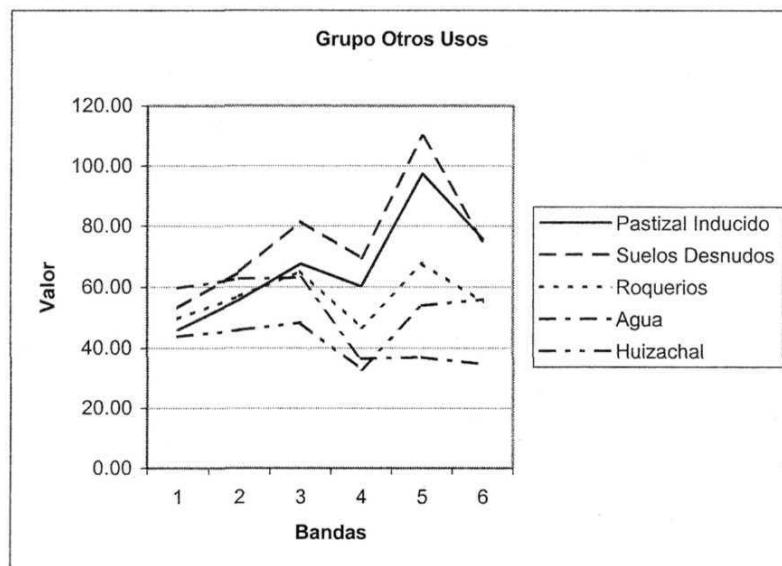


Figura 9. Grupo otros usos.

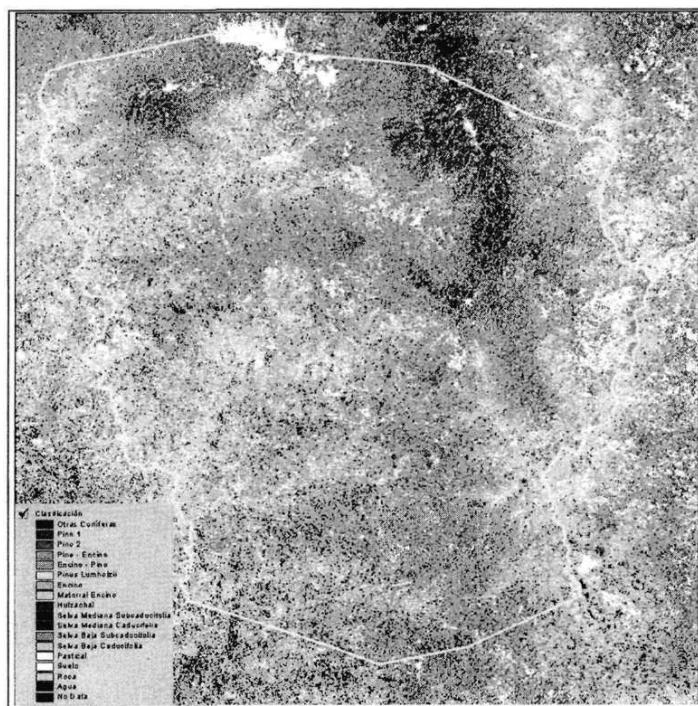


Figura 10. Clasificación.

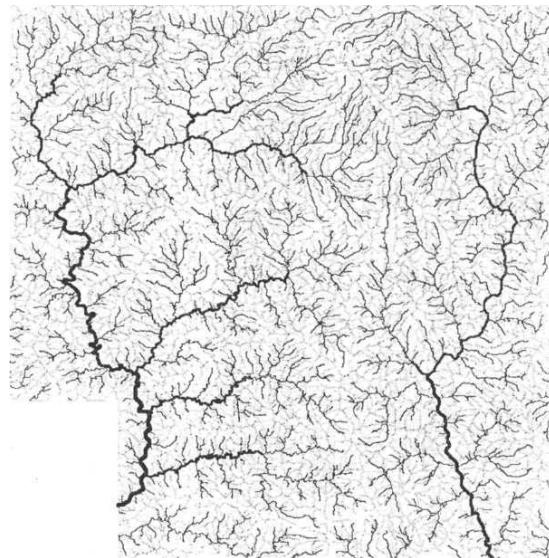


Figura 11. Submicrocuencas y cauces.

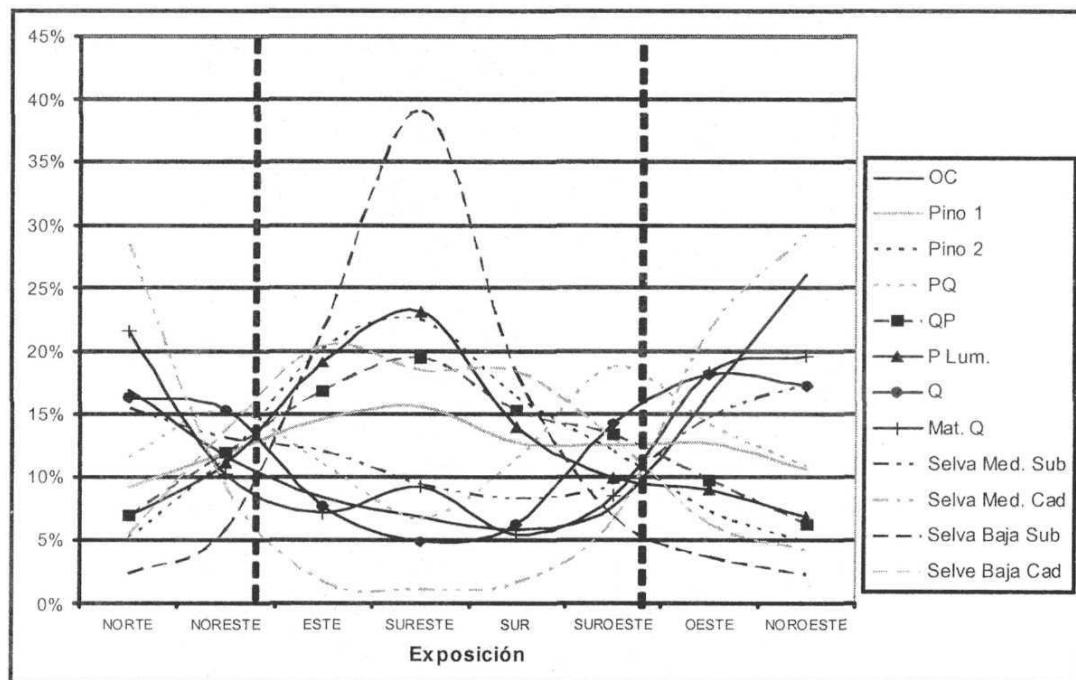


Figura 12. Distribución porcentual de vegetación por exposición.

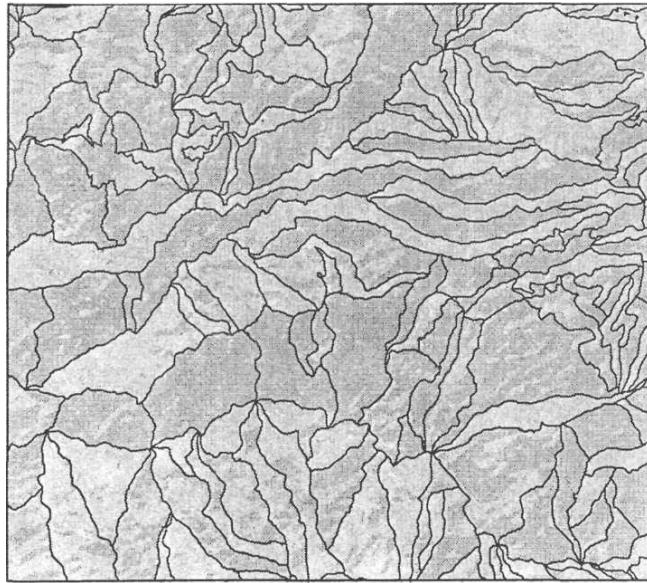


Figura 13 Exposición preferencial.

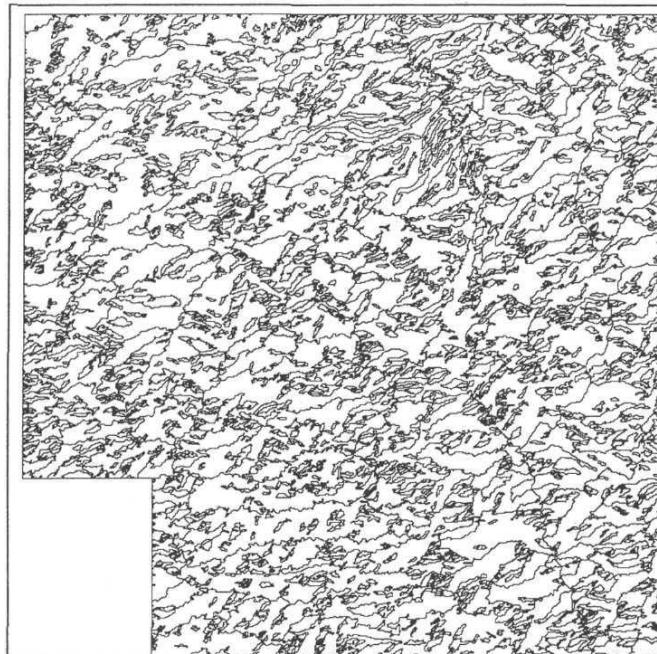


Figura 14. Exposición preferencial.

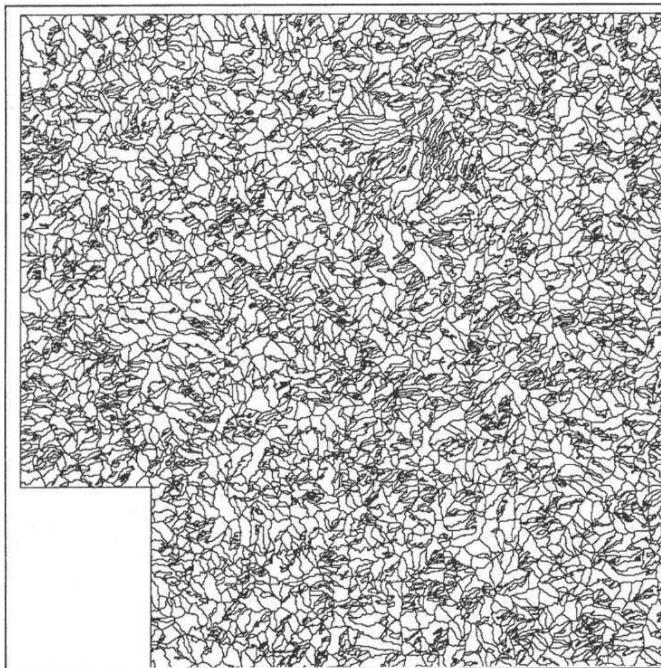


Figura 15. Rodales modelados.

La cobertura de tipos de vegetación y uso de suelo derivada de la clasificación de la imagen Landsat-ETM+, previamente filtrada y convertida a formato vector, fue integrada a la cobertura de rodales modelados para definir los subrodales modelados. Los resultados pueden compararse en las Figuras 16

y 17.

Siguiendo los criterios de segregación (Tabla 1) se generaron las áreas de protección aplicadas en el manejo forestal de la región, cuyos trazos y evaluación no son claramente definidos en el método tradicionalmente utilizado (Figura 18).

Tabla 1. Criterios para definir áreas de segregación dentro de subrodales.

Características	Distancia de segregación a cada lado (en m)
Terracería y brechas	8
Veredas	6
Líneas de alta tensión (CFE)	40
Líneas de baja tensión (CFE y Telmex)	25
Cauces	12.5

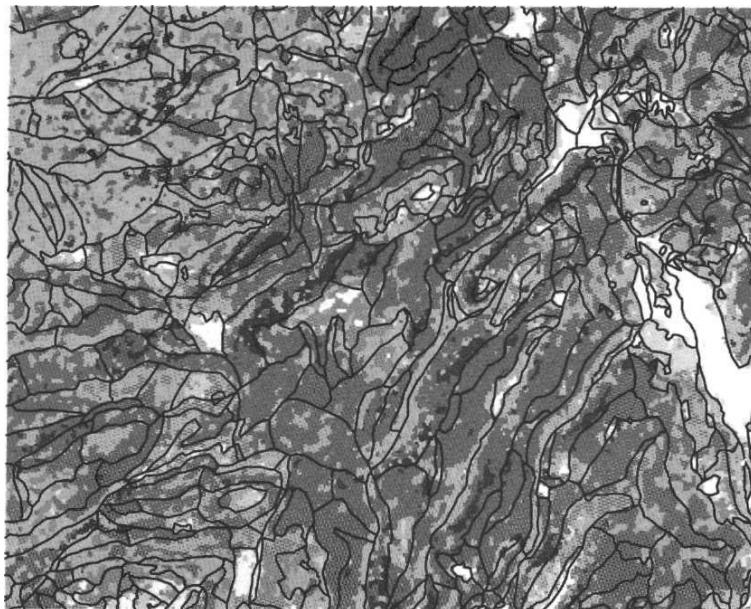


Figura 16. Subrodales originales sobre clasificación.

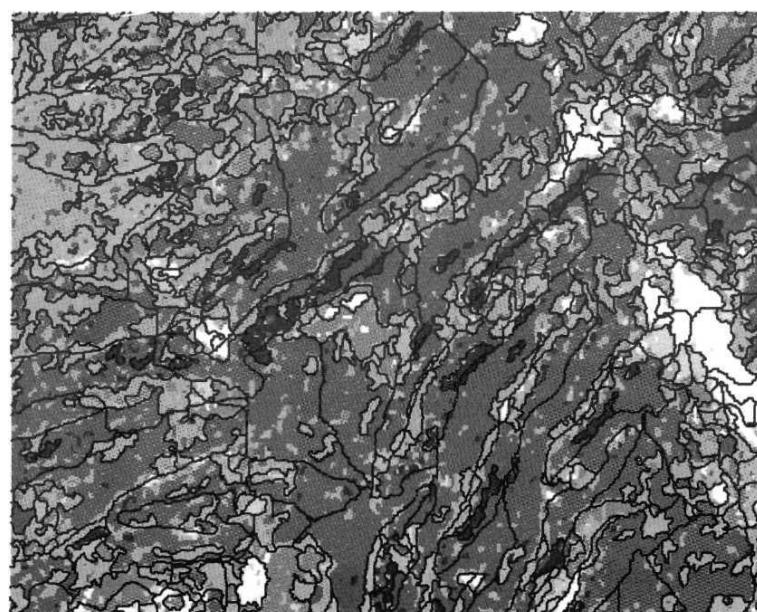


Figura 17. Subrodales modelados sobre clasificación.

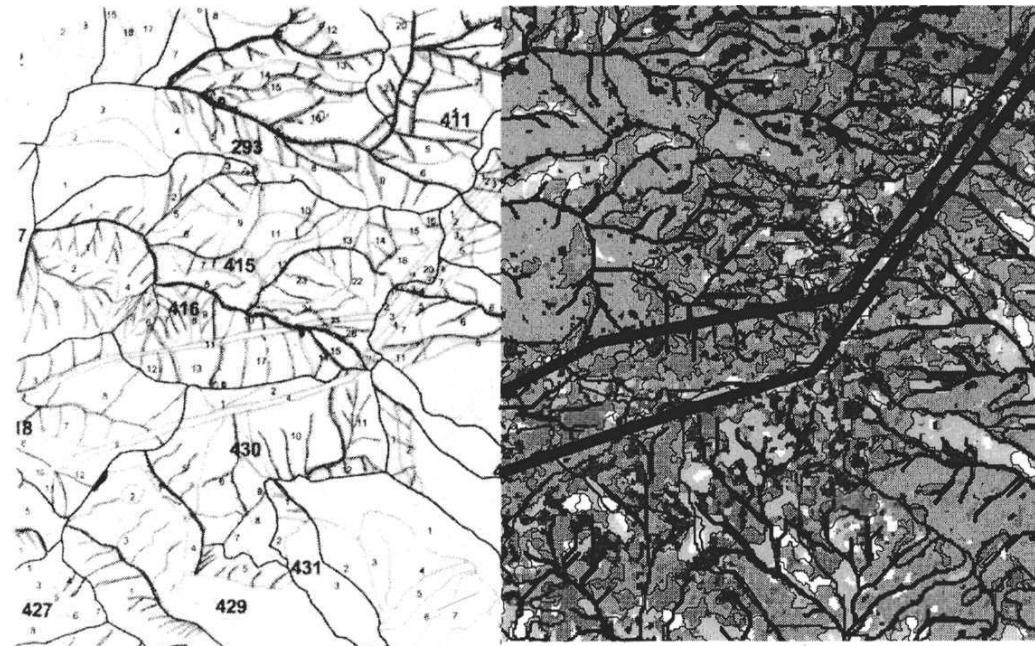


Figura 18. Comparación entre categoría actual y modelo de subodalización con segregación de áreas de cauces y caminos.

DISCUSIÓN

El conjunto de datos vectoriales 1:50 000 de INEGI presentó errores de elaboración, principalmente en la asignación de cotas altimétricas en varias de sus curvas de nivel, por lo que fue necesario revisar y corregir cada carta antes de elaborar el mosaico respectivo.

Fue necesario elaborar un MDE de 15 x 15 m dada la resolución espacial de la imagen pancromática Landsat-ETM+, ya que los actualmente comercializados por INEGI tienen la misma base vectorial, pero una resolución espacial de 50 x 50 m.

El conjunto de datos vectoriales 1:50 000 de INEGI se considera adecuado para la elaboración de MDE con alta resolución de donde se derivan los procesos de normalización topográfica, análisis topográfico y mo-

delación hidrológica, generando información necesaria para los procesos desarrollados en este trabajo.

Mediante el uso de sensores remotos es posible localizar y evaluar perturbaciones como incendios, plagas o enfermedades en estado avanzado, desmontes para cambio de usos de suelo, tratamientos silvícolas como cortas de regeneración, mas, sin embargo, efectos débiles de plagas y enfermedades, tratamientos de selección y aclareo, la misma estructura y dimensiones de valor comercial, son muy difíciles o imposibles de evaluar con este tipo de imágenes.

Las exposiciones mostraron, para el área de estudio, una fuerte influencia en la distribución de las comunidades forestales, así como en la definición de los rodales.

Existen marcadas diferencias entre la forma de trabajo del método tradicional y la

implementación del método de sensores remotos y sistemas de información geográfica, como se muestran en la Tabla 2. El reto es determinar cuál información, y qué procesos y variables se deben integrar.

Se encontraron errores en los trazos de delimitación de cuencas, subcuencas, microcuencas, submicrocuencas, rodales y subrodales en la información generada por los prestadores de servicios técnicos forestales del ejido Pueblo Nuevo. Estos errores se verificaron por los mismos prestadores de servicios técnicos y se atribuyeron principalmente a la capacidad óptica del personal para distinguir claramente parteaguas, cauces, límites entre diferentes comunidades forestales. Así como problemas de restitución, pues el

desfase de algunos polígonos fue de hasta 482 m.

Se registraron variaciones entre la superficie calculada por los servicios técnicos forestales del ejido y los calculados mediante sistemas de información geográfica. La diferencia promedio es del orden de 19 129 ha, lo que no indica una subevaluación de superficies. Considerando un total de 14 090 subrodales actuales, resulta en 26 952 761 ha. Este diferencial de superficie se atribuye a una estrategia de manejo seguida por los prestadores de servicios técnicos forestales para disponer de mayor superficie, número de árboles, volumen de existencias reales y atenuar la intensidad de corta bajo un criterio conservacionista.

Tabla 2. Comparación entre el método tradicional de rodalización y esta metodología

	MÉTODO	
Características	Tradicional	SR/SIG
<i>1. Percepción Remota Insumo:</i>		
Distorsión	Fuerte	Muy débil
Resolución espacial	De 2 a 5 metros	15 a 30 metros
Resolución espectral	Pancromática e infrarroja	Pancromática, 3 visibles, 3 infrarrojas, 2 térmicas
Capacidad óptica	64 tonos de gris	256 tonos de grises
Sistema de coordenadas	Difícil definición y transformación	Fácil definición y transformación
Cobertura	Limitada	Muy amplia
Costo por km ²	\$280.00	\$3.00**
<i>2. Trazo de polígonos</i>		
Definición de pendiente, exposición, ciencias, cauces y subrodales	Fotointerpretación (a criterio)	Analítica
Cálculo de distancia y superficie	Curvímetro, malla, planímetro	Analítica
Modelado	Difícil implementación	Fácil y repetible

CONCLUSIONES

Los sensores remotos y sistemas de información geográfica son nuevas tecnologías que permiten establecer metodologías y estándares específicos para los procesos del manejo forestal que en la actualidad aún continúan siendo de criterios variables y formas artesanales.

La resolución y nivel de detalle alcanzada actualmente por los sensores remotos permiten trabajar grandes extensiones de terreno de forma precisa, facilitando los trabajos de cuantificación, monitoreo y comprensión de la dinámica de los ecosistemas.

Los tipos de vegetación y uso de suelo derivados de la clasificación de la imagen de satélite, permitieron elaborar la subrodalización del área de estudio. Sin embargo, el resultado obtenido parece estar demasiado fragmentado, el cual puede ser mejorado, con una mejor definición de área mínima de mapeo o manejo de dos hectáreas para pequeños bosquetes aislados y de cuatro hectáreas para bosques mixtos.

Dada la discrecionalidad con la que se definen las áreas de manejo y administración en zonas forestales, es necesario la definición de estándares metodológicos para su correcta elaboración así como para su evaluación, puesto que de ella depende su correcta cuantificación, administración y aprovechamiento.

Este tipo de tecnologías no pretende sustituir el trabajo de campo, sino por el contrario, facilitar los trabajos sistematizando y orientando los esfuerzos para desarrollar un mejor conocimiento de las áreas forestales y específico de cada sitio.

REFERENCIAS

- Brownlie, R. K. y C. J. Terlesk (1995), *Using a geographical information system (GIS) to map and determine the extend of mayor soil disturbance resulting from a logging operation*, New Zealand Forestry, 4(2):23-26.
- Burrough, P. A. (1986), *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*, Oxford University Press, New York.
- Civco D. L. (1989), "Topographic Normalization of Landsat Thematic Mapper Digital Imagery", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 55(9):1303-1309.
- Congalton, R. K. Green y J. Teply (1993), "Mapping-old growth forest on National Forest and Park Lands in the Pacific Northwest from remotely sensed data", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 59(4):529-535.
- Coulombe, S. y K. Lowell (1995), "Ground-truth verification of relations between forest basal area and certain ecophysiographic factors using a GIS", *Landscape and Urban Planning*, 32(2):127-136.
- Chavez, P. S. (1991), "Comparison oh Three Different Methods to Merge Multiresolution and Multispectral Data: Landsat TM and SPOT Panchromatic", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 57(3):295-303.
- Hutchinson, M. F. (1989), "A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits", *journal of Hydrology*, 106,211-232.
- Hutchinson, M. F. (1988), "Calculation of hydrologically sound digital elevation models", *Third International Symposium on Spatial Data Handling*, Sydney, Columbus, Ohio: International Geographical Union, pp. 117-133
- SEMARNAT, INEGI y UNAM (2000), *Inventario Nacional Forestal, Vegetación y Uso de Suelo*, Información Cartográfica Digital, México, D. F.

Rodalización mediante sistemas de información geográfica y sensores remotos

- Treviño, E. J. (2000), "Estratificación de la información en el procesamiento digital de imágenes de satélite aplicado a la cartografía de los bosques de *Pinus cembroides*", *Investigaciones Geográficas, Boletín*, núm. 44, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 54-63.
- INEGI (año?), *Cartas Topográficas*, escala 1:50 000, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, F13-A27, A28, A29, A37, A38, A39, A48, A49, México.
- González, M. R. (1995), *Modelos Ecológicos de Distribución de Cobertura Vegetal*, tesis de Maestría, Programa de Graduados en Agricultura, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Nuevo León, México.
- González, M. R. (2003), *Alternativas de Manejo Forestal mediante el Desarrollo del Conocimiento Específico de Sitio*, tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León., México
- Jordan, G. A. (1992), "GIS and forest management: towards the next century", *GIS'92 Symposium*, section B3.
- Jordan, G. A. y J. Wardoyo (1996), "Assessing Management of Forest Landscapes with ARC/INFO and Easi/Pace", *Resúmenes de la 16^a. Conferencia Anual de Usuarios de ESRI*, CD de artículos publicados, ESRI.
- Lang, L. (1998), *Managing Natural Resource with GIS*, ESRI Press, Redlands California, USA.
- Meráz Alemán, R. (1998), *Programa de Manejo Forestal 1997-2007, Ejido Pueblo Nuevo*.
- Persson R. y K. Janz (1997), "Evaluación y monitoreo de Recursos Arbóreos", *Reunión Internacional sobre Evaluación y Monitoreo de Recursos Forestales y Arbóreos*.
- Treviño, E. J., A. Akca, E. Jurado y L. E. Barajas (1997), "Análisis retrospectivo y situación actual de la vegetación del municipio de Linares, N. L. México", *VII Simposio Latinoamericano de Percepción Remota*, Mérida, Venezuela.