



Evaluación de la productividad de bosques mixtos en Arteaga, Coahuila, México

DORIAN DE J. PIMIENTA DE LA T.*, ÓSCAR A. AGUIRRE C.*, ELIUD MORALES MATEO*,
EDUARDO J. TREVIÑO G.*, JAVIER JIMÉNEZ P.*

Un aspecto básico en la ordenación de los bosques de coníferas es la clasificación de la productividad de los terrenos forestales, ya que constituye una herramienta dasonómica necesaria para aplicar, de manera exitosa, las técnicas de manejo. Contar con conocimientos de las características de los bosques y las condiciones donde se desarrollan proporciona una visión integral de las oportunidades silvícolas que es posible considerar en cada área.

Una buena planificación del manejo forestal requiere proyecciones de crecimiento y rendimiento confiables. En muchas situaciones es suficiente el ajuste de curvas de crecimiento simples que describen el curso de variables de rodal en el tiempo. Aplicando un manejo más intensivo, estas variables son manipuladas a través de intervenciones silvícolas que pueden variar en fechas e intensidad, y se hace necesario predecir el comportamiento de rodales en una variedad de circunstancias diferentes.¹

El reconocimiento de la capacidad de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), como herramienta de análisis en la evaluación de los recursos naturales, adquiere cotidianamente mayor importancia en México. En la Sierra de Arteaga, Coahuila, el estudio del potencial productivo de

los bosques de coníferas es limitado y constituye un elemento clave en el manejo de los mismos. Por ello, el presente trabajo tiene como objetivo la evaluación de la productividad forestal, utilizando como herramienta tecnológica los Sistemas de Información Geográfica.

Antecedentes

Productividad

La productividad es una cantidad dada de energía química en forma de biomasa en un intervalo de tiempo dado,² y está definida en gran medida por la calidad de sitio, estimada mediante la máxima cosecha de madera que el bosque produce en un periodo determinado.^{3,4}

La productividad de un área depende de los factores estacionales (edáficos y climáticos) para una región dada. La determinación de la capacidad productiva de los ecosistemas forestales tiene gran importancia, ya que sin el conocimiento previo de la misma no se puede implementar ningún modelo teórico. La calidad de sitio tiene entonces una doble utilidad práctica: como herramienta para esti-

*Facultad de Ciencias Forestales, UANL.

mar la producción y como base para construir instrumentos prácticos de gestión de masas forestales.⁵ En sí, la capacidad productiva de un sitio, habitualmente, se refiere al volumen de madera producido por una masa forestal cuando llega a la edad del turno.¹

Los métodos indirectos para evaluar la calidad de sitio se basan en la utilización de uno o más de los siguientes parámetros: a) vegetación del bosque: índices de sitio y especies indicadoras; b) factores físicos del ambiente: el clima, suelo y la topografía; c) factores múltiples o combinados.⁶

El NGCIA (National Center for Geographic Information and Analysis) define los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como sistemas de *hardware*, *software* y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados para resolver problemas complejos de planificación y gestión.⁶ Los componentes de los datos geográficos son: el espacial que se refiere a la geometría (posición absoluta de cada objeto respecto a los ejes de coordenadas X y Y) y el temático, que describe las relaciones entre objetos.⁷ En un SIG se pueden representar características geográficas en dos formatos: el vectorial y el raster.⁸

En el campo del manejo de los recursos naturales es cada día más usual la implementación de SIG, con el fin de disponer de la información necesaria para la toma de decisiones,⁹ ya que es una herramienta que puede utilizarse en trabajos de muy variada naturaleza; en particular, en el manejo de recursos forestales su uso debería ser más intensivo.¹⁰ Las ortofotos combinan las características de la imagen de una fotografía aérea de cualquier escala con las cualidades geométricas de un mapa. Son imágenes en las que se han eliminado las deformaciones causadas por la óptica de la cámara y por el desplazamiento aparente de los objetos del terreno en el momento de la toma.¹¹

Materiales y métodos

Localización del área de estudio

El presente estudio se realizó en el predio El Pilar, en la Sierra de las Alazanas, de Arteaga, Coahuila.

El área se ubica entre los paralelos 25°15'12" y 25°16'55" de latitud Norte y los meridianos 100°29'12" y 100°30'46" de longitud Oeste.¹² Presenta una topografía poco accidentada con pendientes moderadas muy variables, en cuencas con formaciones de lomeríos que tienen en promedio 30% de pendiente, en las partes altas se pueden encontrar pendientes fuertes iguales y mayores al 100%; los rangos altitudinales van de 2,900 a 3,400 msnm.¹²

El clima es de tipo Cx'b (e') g, que, de acuerdo con Köppen, modificado por García,¹³ corresponde a un clima templado subhúmedo con lluvias escasas todo el año, verano fresco largo, muy extremo. De acuerdo con la estación meteorológica de San Antonio de las Alazanas, la temperatura media anual es de 12.7°C. Mayo es el mes más cálido con una temperatura media de 15.8°C; la precipitación total media anual es de 470.6 mm, distribuida en todo el año.¹⁴ El tipo de suelo que predomina en el área de estudio es litosol asociado con rendzina, luvisol crómico, rendzina asociado con fluvisol calcárico.^{15,16}

La vegetación del predio se compone principalmente de las especies de coníferas: *Abies vejarii*, *Pseudotsuga flahaulti*, *Pinus ayacahuite* y *Pinus rudis*, asociadas con matorral; ocurre también *Populus tremuloides*, mezclado con oyamel y otras especies en forma de asociaciones de transición. El pastizal inducido también está presente en el área de estudio.^{17,18}

Metodología

Primeramente se elaboró una ortofoto digital, con el programa Integrated Land and Water Information System (ILWIS); este programa elimina los errores más comunes en las fotografías aéreas. Una vez corregida la ortofoto, se exportó a ArcView, y se procedió a rodalizar en pantalla el área de estudio. Obtenidos los rodales, se procedió a determinar el tamaño de muestra, se utilizó el muestreo al azar, estableciéndose unidades de muestreo circulares con una superficie de 500m². Para la estimación del índice de sitio se establecieron 18 sitios, se seleccionaron árboles individuales dominantes y codominantes, sanos, no bifurcados y

sin daños físicos; las variables que se midieron fueron la altura total y la edad a 0.30m+4 años que en promedio demoran estas especies para alcanzar 30cm de altura.

Para la relación altura=f (edad) para las cuatro especies de coníferas, *Abies vejarii*, *Pseudotsuga flahaulti*, *Pinus ayacahuite* y *Pinus rudis*, se evaluaron las siguientes ecuaciones matemáticas (tabla I):

Tabla I. Ecuaciones matemáticas evaluadas.

Modelo	Ecuación
Schumacher	$Y = ae^{b/t^c}$
Chapman-Richards	$Y = a(1 - e^{-bt})^c$
Gompertz	$Y = ae^{-b^{-ct}}$
Korsun	$Y = e^{(a_0 + a_1 * \ln(d) + a_2 * \ln(d^2))}$

Donde: Y=altura, t=edad, d=diámetro, e=exponencial, ln=logaritmo natural, a, b, c=parámetros estadísticos.

En la generación de las curvas de índice de sitio (IS) se eligió una edad base de 60 años con una equidistancia de tres metros entre curvas. Los datos se procesaron en los programas Statistica® y Excel®, este último para obtener el coeficiente de proporcionalidad y generar la familia de curvas anamórficas de índice de sitio.

Resultados y discusión

Del procesamiento de las fotografías aéreas se obtuvo la ortofoto digital, y como producto de la fotointerpretación se obtuvieron trece rodales (figuras 1 y 2).

El mejor modelo para la evaluación del IS fue el de Schumacher, presentando el mejor ajuste con coeficientes de determinación de 0.5 a 0.6 en la relación edad-altura para las especies evaluadas. El resto de los modelos evaluados tuvieron ajustes menores.

Este modelo fue el más adecuado desde el punto de vista biológico, a pesar de los bajos valores de R² obtenidos en el procesamiento. Lo anterior se explica por la ausencia de datos en altura-edad en

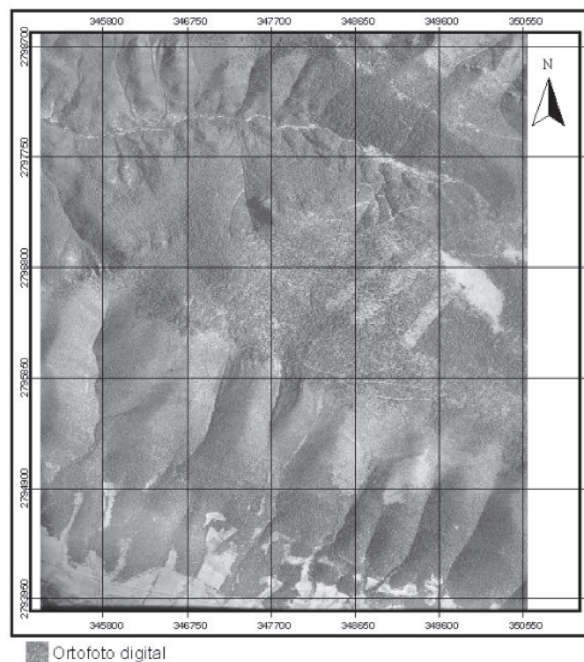


Fig. 1. Ortofoto digital del predio El Pilar.

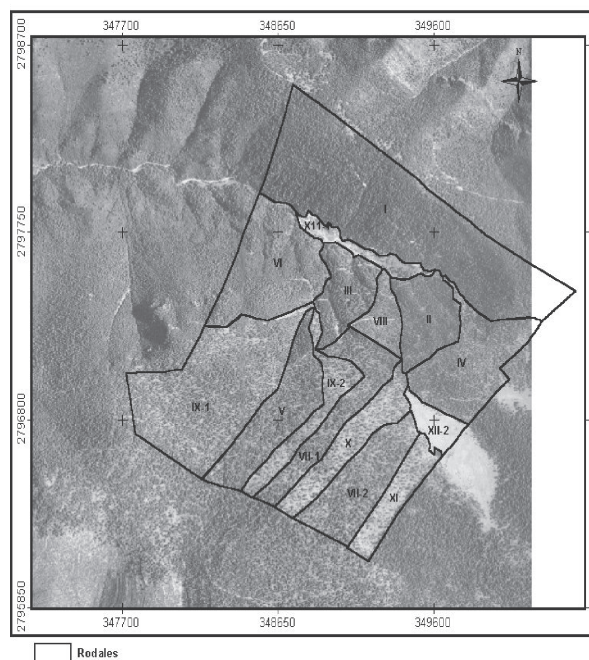


Fig. 2. Rodalización del predio. I, II,..., XII corresponden al número asignado a cada rodal.

las primeras etapas de desarrollo de los rodales objeto de estudio, en los que ocurren predominantemente árboles maduros con edades de 40 años y mayores. Las ecuaciones generadas por especie se

presentan en la tabla II.

En la figura 3 se presentan las curvas de índice de sitio construidas para las cuatro especies objeto de estudio. Los sistemas de curvas anamórficas incluyen datos de altura para rangos de edad de 40 a 100 años.

Tabla II. Ecuaciones matemáticas obtenidas para cada especie según el modelo de Schumacher.

Especies	Ecuación
<i>Abies vejarii</i>	$Y = \exp^{(2.9780-7.3639/t)}$
<i>Pseudotsuga flahaulti</i>	$Y = \exp^{(3.0325-16.3909/t)}$
<i>Pinus ayacahuite</i>	$Y = \exp^{(3.1152-23.0023/t)}$
<i>Pinus rudis</i>	$Y = \exp^{(3.2183-20.2504/t)}$

Conjuntando la información del SIG, se encontró que *Abies vejarii* presenta una productividad alta en los rodales I y VI, con un IS=20.38m; mientras los rodales II, III, V, VII-2 y IX-2 tienen una productividad media (IS=17.38m). Los rodales VII, IX y X presentan una productividad baja con un IS=14.38m.

Pseudotsuga flahaulti tiene una productividad alta en el rodal I con un IS=18.79m; los rodales IX y V presentan una productividad media (IS=15.79m); el rodal III muestra una productividad baja con un IS=12.79m.

Para *Pinus ayacahuite* se encontró una productividad media (IS=15.36m) en los rodales I, II, III, VI, VII y IX, respectivamente (figura 2).

Finalmente, *Pinus rudis* tiene una productividad media con un IS=17.83m en los rodales I, V, IX y X, y una productividad baja con IS=14.83m en el rodal II.

Conclusiones

El análisis de la productividad, con los SIG y muestreos en campo, constituye una herramienta de gran utilidad para la toma de decisiones en el manejo de los recursos forestales.

La ortofoto en su modalidad digital es útil como cubierta en los SIG, porque permite apreciar con más detalle la información para caracterizar diferentes ecosistemas.

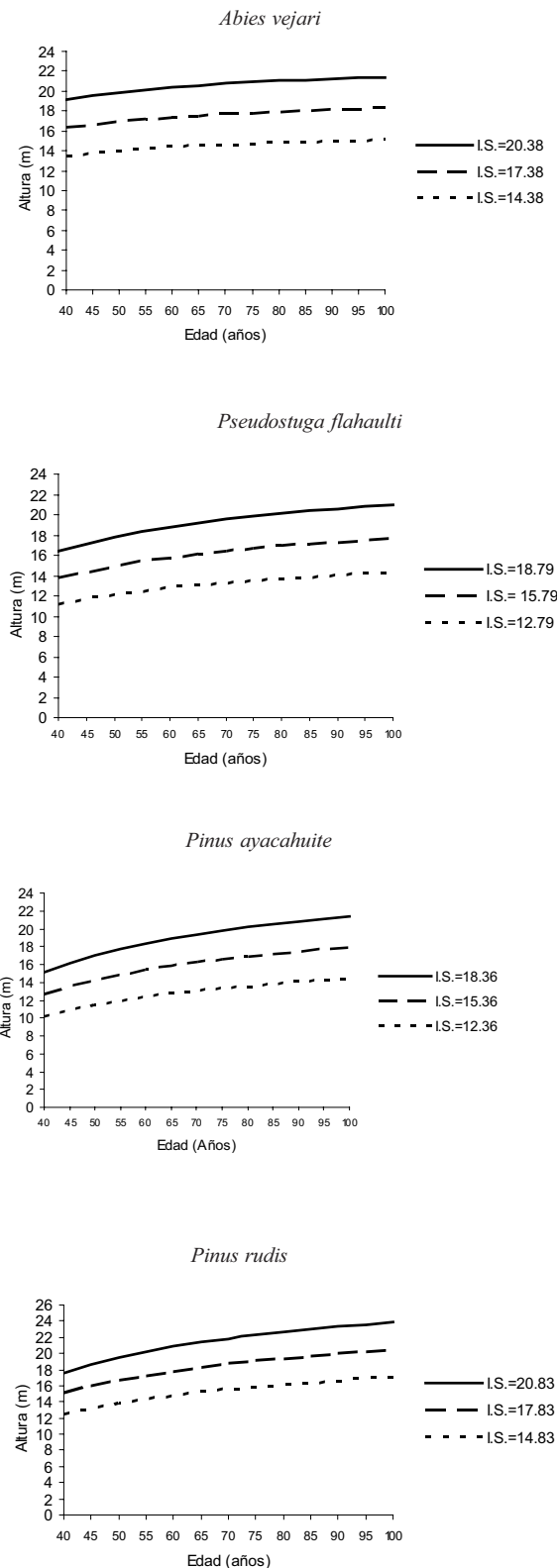


Fig. 3. Curvas de índice de sitio para *Abies vejarii*, *Pseudotsuga flahaulti*, *Pinus ayacahuite* y *Pinus rudis*, en la Sierra de Arteaga, Coahuila, México.

La determinación del índice de sitio mediante el modelo de Schumacher permite realizar estimaciones confiables de la productividad de los ecosistemas forestales.

Agradecimientos

Este trabajo se realizó con apoyo del Programa de apoyo a la investigación Científicas y Tecnológica (Paicyt), Proyecto CN-914-04.

Resumen

El presente trabajo se realizó en la Sierra de las Alazanas, al sureste de Coahuila, con el objetivo de evaluar la productividad de bosques mixtos, considerando variables susceptibles a ser analizadas mediante sistemas de información geográfica en la planeación del manejo forestal. Se generó una ortofoto digital, y por fotointerpretación se obtuvieron trece rodales. Se compararon los modelos de Schumacher, Chapman-Richards, Gompertz y Korsun para construir curvas de índice de sitio. El modelo de mejor ajuste fue el de Schumacher. Por el procedimiento de la curva guía se obtuvieron curvas anamórficas a edad base de 60 años para las especies: *Abies vejarii*, *Pseudotsuga flahaulti*, *Pinus rudis* y *Pinus ayacahuite*.

Palabras clave: Índice de sitio, SIG, Bosques mixtos, Coníferas.

Abstract

The present study was realized in the Sierra de las Alazanas in the southeast region of the state of Coahuila with the objective of evaluating the productivity of mixed forests, considering susceptible variables to be analyzed through geographical information systems in forest management planning. A digital orthophoto was generated, and through its photo interpretation, 13 stands were obtained. The Shumacher, Chapman-Richards, Gompertz, and Korsun Models were compared to develop the site index curves. The model that presented the best adjustment was the Shumacher model. By the guide curve method, anamorphic curves were obtained

at a base age of 60 years for the species *Abies vejarii*, *Pseudotsuga flahaulti*, *Pinus rudis*, and *Pinus ayacahuite*.

Key words: Site index, GIS, Mixed forests, Conifers.

Referencias

1. Rivas, M. M. 2003. Modelos estocásticos en crecimiento forestal. Departamento de Ingeniería de Sistemas. Universidad de Talca. 27 Congreso Nacional de Estadística e Investigación Operativa. Lleida. 8-11 de abril de 2003.
2. Kimmins, J. P. 2003. Forest Ecology. 3rd ed. Prentice Hall. 720 p.
3. Husch, B., Beers, T. W., Kershaw J. A. 2002. Forest Mensuration. Fourth ed. Wiley. 456 p.
4. Aguirre C., O. A.; Kramer, H.; Jiménez, J. 2003: Zuwachsuntersuchungen in einem ungleichaltrigen Nadelholzmischbestand in den Hochlagen der Sierra Madre Oriental, Nordostmexiko. Forstarchiv 74, 103-109.
5. Barrio, M. A., I. J. Díaz, M. J. G. Álvarez, G. y M. A. Balboa, M. 2002. Curvas de calidad para *Quercus robur* L. En el norte de la provincia de Lugo. Depto. de Ingeniería Agroforestal. Escuela Politécnica Superior, Universidad de Santiago de Compostela. Lugo, España.
6. Barnes B. V., Zak, D. R., Denton, S. R., Spurr S., H. 1998. Forest ecology. 4th ed. Wiley. 792 p.
7. Bosque, S. J. 2000. Sistemas de Información Geográfica. Tercera ed. Ed. Rialp. 452 p.
8. Franklin, S. E. 2001. Remote sensing for sustainable forest management. CRC Press. 424 p.
9. Treviño G., E. J. 1999. Estratificación de la información en el procesamiento de digital de imágenes de satélite aplicado a la cartografía de los bosques de *Pinus cembroides*. Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. 44: 54-63.
10. Colín, O. S. 2000. Identificación de factores ambientales que determinan la distribución del *Pinus durangensis* Mtz. en la región Tarahumara de Chihuahua, utilizando un sistema de información geográfica. Tesis profesional. UAAAN.

- Buenavista, Saltillo, Coahuila, México; 84 p.
11. INEGI. 2001. Normas técnicas para la elaboración de ortofotos digitales. <http://www.inegi.gob.mx/territorio/espanol/normatividad/ortofotos/ntecnicas.html#m1>
 12. CETENAL. 1975. Carta topográfica G14C35. San Antonio de las Alazanas, Escala 1:50,000. SPP. México.
 13. García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática Köppen. Tercera edición. Ed. Larios. México. 71 p.
 14. Mendoza, H. J. M. 1983. Diagnóstico climático para la zona de influencia inmediata de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. 616p.
 15. CETENAL. 1977. Carta edafológica G14C35. San Antonio de las Alazanas, Escala 1:50,000. SPP. México.
 16. Silva, M. C. 1978. Unidades de suelo (interpretadas para su uso en ingeniería civil y aprovechadas por el campesino en usos agropecuarios). Ed. Continental. 62 p.
 17. DETENAL. 1979. Carta Uso de suelo G14C35. San Antonio de las Alazanas, Escala 1:50,000. SSP. México.
 18. Vázquez, M. F. J. 1996. Programa de manejo forestal de San Antonio de las Alazanas, Arteaga, Coahuila, México; 78 p.

Recibido: 21 de diciembre de 2005

Aceptado: 20 de febrero de 2006