

CIENCIA FORESTAL

en México

ISSN 1405-3586

REV. CIEN. FOR. EN MÉX. VOL. 27 NÚM. 91 108 p. MÉXICO, D.F. ENE-JUN 2002

inifap

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS
DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN FORESTAL

CONTENIDO	Pág.
EDITORIAL	3
DIAGNÓSTICO SANITARIO DE LOS BOSQUES DEL DISTRITO FEDERAL, MÉXICO Efraín Velasco Bautista, J. Francisco Reséndiz Martínez, Leonor Sandoval Cruz, L. Patricia Olvera Coronel, Francisco Moreno Sánchez, Marcela V. Gutiérrez Garduño y Oscar Cedeño Sánchez	7
IMPACTO DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO E INCENDIOS EN LA ESTRUCTURA DE TRES COMUNIDADES FORESTALES José Villanueva Díaz y Guy R. McPherson	27
MAQUINADO DE DOS ESPECIES DE ENCINO (<i>Quercus affinis</i> y <i>Q. crassifolia</i>) DEL ESTADO DE GUANAJUATO Rogelio Flores Velázquez, Martha Elena Fuentes López y Juan Quintanar Olguín	55
ECUACIONES ADITIVAS PARA ESTIMAR COMPONENTES DE VOLUMEN PARA <i>Pinus teocote</i> Schl. DE DURANGO, MÉXICO José Cruz Contreras Aviña y José de Jesús Nívar Cháidez	67
CELULOSA BLANQUEADA ECF y TCF DE CARTÓN KRAFT RECICLADO Noé Aguilar Rivera	83
ACTIVIDADES DE PROMOCIÓN DE LA REVISTA <i>CIENCIA FORESTAL EN MÉXICO</i>	97
CONSEJO ARBITRAL	103
CONSEJO EDITORIAL	107

DIAGNÓSTICO SANITARIO DE LOS BOSQUES DEL DISTRITO FEDERAL, MÉXICO

Efraín Velasco Bautista¹, J. Francisco Reséndiz Martínez¹, Leonor Sandoval Cruz¹, L. Patricia Olvera Coronel¹, Francisco Moreno Sánchez¹, Marcela V. Gutiérrez Garduño¹ y Oscar Cedeño Sánchez¹

RESUMEN

Cuando los ecosistemas forestales son atacados por plagas y enfermedades, además de alterar su función ambiental, se provoca un impacto económico y social, lo que lleva a implementar acciones de combate y control, en ocasiones a muy altos costos por una detección tardía. Estos daños pueden prevenirse en gran medida mediante la realización de un diagnóstico sanitario forestal. Por esta razón, durante febrero y marzo de 2003, se llevó a cabo este estudio en las comunidades de San Miguel y Santo Tomás Ajusco y Magdalena Petlalcalco, Delegación Tlalpan, Distrito Federal, en un área arbolada de 2,615 ha. Para tal efecto, se empleó un diseño de muestreo sistemático, en donde las unidades muestrales fueron sitios circulares de 500 m² equidistantes una de otra a cada 400 m. Para el análisis de la información se usó un estimador de razón considerando un tamaño de muestra de 138 sitios. Con un 95% de confiabilidad se concluyó que el porcentaje de árboles plagados en la zona de estudio se encuentra entre 8.9 y 18.5%, mientras que el porcentaje de árboles enfermos está entre 4.2 y 13.7%. Se identificó a *Pinus hartwegii* Lindl. como la especie forestal mayormente atacada por plagas (8.7%) y enfermedades (7.6%), dentro de las primeras destacó *Sciurus* sp. (ardilla gris) con 4.4% y dentro de las segundas *Lophodermium* sp. (enfermedad foliar) con 5.7%. Dado que estos porcentajes son bajos, se consideró que las plagas y enfermedades presentes no impactaron negativamente en el recurso forestal.

Palabras clave: Diagnóstico, *Lophodermium* sp., muestreo, *Pinus hartwegii*, sanidad, *Sciurus* sp.

Fecha de recepción: 15 de octubre de 2003.

Fecha de aceptación: 01 de octubre de 2004.

¹ Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales (CENID-COMEF), INIFAP. Correo-e: velasco.efrain@inifap.gob.mx

ABSTRACT

When forest ecosystems are attacked by pests and diseases, in addition to altering their environmental function, an economic and social impact is caused, which makes it necessary to implement combat and control actions, sometimes at very high costs due to late detection. These damages can be prevented by means of the accomplishment of a forest sanitary diagnosis. This study was carried out during February and March of 2003 in San Miguel and Santo Tomas Ajusco and Magdalena Petlalcalco communities, in the Delegation of Tlalpan, D.F., Mexico, in a forest area of 2,615 hectares. A systematic sampling design was used, where the sampling units were 500 m² circular sites equidistant 400 m one from another. For the analysis of the information a reason estimator was used, considering a size of sample of 138 plots. With a 95% confidence level it was concluded that the pested trees per cent in the study area is between 8.9 and 18.5%, while the real number of diseased trees is between 4.2 and 13.7%. It was found that *Pinus hartwegii* Lindl. is the forest species mainly attacked by pests (8.7%) and by diseases (7.6%); within the first ones *Sciurus* sp. (gray squirrel) occurred with 4.4% and within the second ones *Lophodermium* sp. (disease foliar) with 5.7%. As these data are low, it was considered that the plagues and diseases did not impact negatively to the forest.

Key words: Diagnosis, forest health, *Lophodermium* sp., *Pinus hartwegii* Lindl., sampling, *Sciurus* sp.

INTRODUCCIÓN

El Distrito Federal se divide en suelo urbano y de conservación (SMADF, s/f), para fines administrativos. La zona de conservación, ubicada en la parte sur ocupa 88,442 ha (59% del D.F.), de las cuales 38,252 ha están cubiertas por bosques de coníferas y latifoliadas y sólo 500 ha por matorrales.

Si bien es cierto que los bosques del Sur del Distrito Federal no tienen gran importancia en cuanto a aprovechamientos forestales se refiere, también es cierto que destacan por los bienes y servicios ambientales que generan, tales como producción de oxígeno, captación de carbono, biodiversidad, recreación, infiltración del agua de lluvia hacia los mantos acuíferos, minimización de la ocurrencia de tolveneras y con ello la presencia de partículas suspendidas en el aire. Sin embargo, la presencia de factores ambientales como contaminantes atmosféricos, la falta de humedad, los incendios y algunas actividades humanas, entre otros, propician que sean atacados por plagas y enfermedades, afectándose entonces su función ambiental.

Como respuesta a los múltiples problemas que enfrenta el área rural de la Ciudad de México y para preservar las tierras y los bosques, además de

fomentar el crecimiento natural de los pueblos junto con el desarrollo de sus actividades productivas, el 1.º de agosto de 2000 en la Gaceta Oficial del Distrito Federal se publicó el Decreto del Programa General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal (PGOEDF) de la Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal (SMADF, 2000). Con ello se contribuye al fortalecimiento de la propiedad social de los núcleos agrarios, para beneficio de sus legítimos dueños. De acuerdo a este programa, la zona forestal de conservación representa el 36.4% del suelo de conservación (SMADF, s/f).

De acuerdo a la información proporcionada por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), hasta septiembre de 2002 se habían diagnosticado 1,860 ha con problemas de sanidad forestal en el Distrito Federal.

Asimismo, de acuerdo a la información proporcionada por la Gerencia XIII Centro-Valle de México de la Comisión Nacional Forestal, en varias localidades del Sur del D. F. se ha detectado la presencia de *Dendroctonus* sp. y en menor proporción *Phloeosinus* spp.

Beutelspacher (1983) consideró a *Synanthedon cardinalis* Dampf mariposa de importancia forestal, debido a que sus larvas hacen galerías que afectan al floema de varias especies de pinos en el Valle de México. Asimismo, Hernández (1983) estudió la biología de *S. cardinalis* en el Estado de México. Este lepidóptero se considera descortezador de pinos.

Alvarado *et al.* (1987), estudiaron el decaimiento en los oyameles del Desierto de los Leones, encontraron en los tallos algunas bacterias y al hongo *Graphium* sp., los cuales mostraron su patogenicidad al ser inoculados en tubérculos de papa y plantas de oyamel de un año de edad.

Cibrián y Macías (1987) reportaron un nuevo patógeno sobre renuevo de oyamel en el Desierto de los Leones; ellos se basaron en las características morfológicas de estructuras sexuales y asexuales del hongo *Nectria* sp., así como por la sintomatología presente en las ramas.

Reséndiz y Salinas (1987), basándose en la sintomatología que presenta *Abies religiosa* en el Desierto de los Leones, propusieron conocer los micromicetos, de éstos los probables patógenos en yemas, brotes, agujas, corteza de ramas, tallos y sistemas radiculares. Determinaron a los hongos: *Penicillium* sp., *Alternaria* sp., *Hormodendrum* sp., *Mucor* sp., *Zygodendrum* sp., *Stemphyllium* sp. y *Aspergillus* sp., entre otros.

Salinas (1987) informó acerca de una nueva especie de roya (*Peridermium filamentosum* Peck.) en el Ajusco, la cual se presentó con baja incidencia. Este hongo se determinó por las características de disposición en las ecidiosporas y

por su organización en cadena, semejante a filamentos, encontrándose en ramas de *Pinus montezumae* Lamb.

Salazar y Vázquez (2001) elaboraron un diagnóstico sobre las principales plagas y enfermedades de la parte Sur del D. F.; reportaron un mayor ataque de *Dendroctonus adjunctus* Blandford. para la Delegación de Cuajimalpa que para la Delegación de Tlalpan; además, en la Delegación de Cuajimalpa detectaron *Arceuthobium vaginatum* (Willd.) Presl. subs. *vaginatum* (muérdago enano).

Aun cuando algunos autores consideran que el ataque ocasionado por arduillas no se le puede considerar como una plaga, otros estudios ponen de manifiesto que si llega a convertirse en plaga (Valdez, s/f.).

Es importante mencionar que aun cuando existen algunos trabajos sobre la descripción parcial de los daños ocasionados por plagas, y en menor grado por enfermedades, en la actualidad no se cuenta con un estudio detallado que en forma conjunta comprenda las especies hospedantes más importantes (árboles) y los diferentes insectos y patógenos que las atacan.

Al revisar los Programas de Manejo Forestal correspondientes a las comunidades de San Miguel y Santo Tomás Ajusco (Salgado, 2002), Magdalena Petlacalco (Medina, 2002) y San Nicolás Totolapan (Medina, 2002), los cuales fueron proporcionados por la Comisión Nacional Forestal, se observó que gran parte de su superficie se reporta con problemas de sanidad forestal, y que tan sólo para San Miguel y Santo Tomás Ajusco, hay una superficie reportada de 3,595.13 ha con descortezadores y 213.12 con muérdago, por lo que se determinó estudiar una superficie de 2,615 ha en la parte Oeste de los Ajuscos; sin embargo, en estos trabajos no se estimó el porcentaje de árboles afectados.

Los objetivos del presente trabajo fueron los siguientes:

- Estimar el porcentaje de árboles plagados y enfermos en los bosques de San Miguel y Santo Tomás Ajusco y Magdalena Petlacalco, Delegación Tlalpan, Distrito Federal.
- Determinar los agentes biológicos (plagas y enfermedades) que dañan al arbolado.
- Determinar las especies hospedantes que son atacadas por plagas y enfermedades.

MATERIALES Y MÉTODOS

Determinación del área de estudio

En la Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural del D. F. (CORENA)

se obtuvo la siguiente cartografía digital en unidades UTM (Universal Transverse Mercator): Vegetación y uso de suelo (1:50 000), zonificación normativa del Programa General de Ordenamiento Ecológico del D. F. (1:50 000) y poblados rurales (1:10 000).

Utilizando el Sistema de Información Geográfica ArcView Versión 3.1, a partir de la cobertura de Vegetación y Uso de Suelo se obtuvo la capa de Vegetación Arbolada, de la cobertura de Zonificación Normativa del PGOEDF la capa de la zona Forestal de Conservación y de la cobertura de Poblados Rurales la capa de Pueblos de Estudio. El mapa obtenido al sobreponer los tres temas así generados constituyó el mapa base para la realización del estudio (Figura 1). A éste se le agregó además la cobertura de Límites Delegacionales.

En el mapa base obtenido se ubicó el área de estudio, misma que comprende una superficie de 2,615 ha situadas en la parte Oeste de los Ajuscos. El 88.12% de esta superficie corresponde a terrenos de la Comunidad de San Miguel y Santo Tomás Ajusco y el 11.88% a Magdalena Petlalcalco. Las coordenadas que definen los límites de los terrenos de estas comunidades involucradas se obtuvieron de los Programas de Manejo Forestal respectivos. Geográficamente el área objeto de estudio se localiza entre las coordenadas UTM 466 814 a 472 514 m hacia el Este y 2 116 902 a 2 125 648 m hacia el Norte de la Zona 14 Q (Figura 2).

Diseño de muestreo y obtención de la información en campo

Con el propósito de estimar el porcentaje de árboles dañados por plagas y/o enfermedades, así como conocer a los patógenos e insectos presentes y determinar las especies forestales afectadas en el área objeto de estudio, se utilizó un diseño de muestreo sistemático simple. Para tal fin, en el polígono del área de estudio se generó una red cuadrangular de puntos, equidistantes uno de otro cada 400 m, los puntos estuvieron definidos por coordenadas UTM X y Y. Estos puntos georeferenciados representaron el centro de las unidades muestrales, las cuales fueron sitios circulares de 500 m². Este tamaño de sitio obedeció a que no siempre al aumentar su tamaño, se reduce el error de muestreo. Se generó un total de 161 puntos (Figura 3).

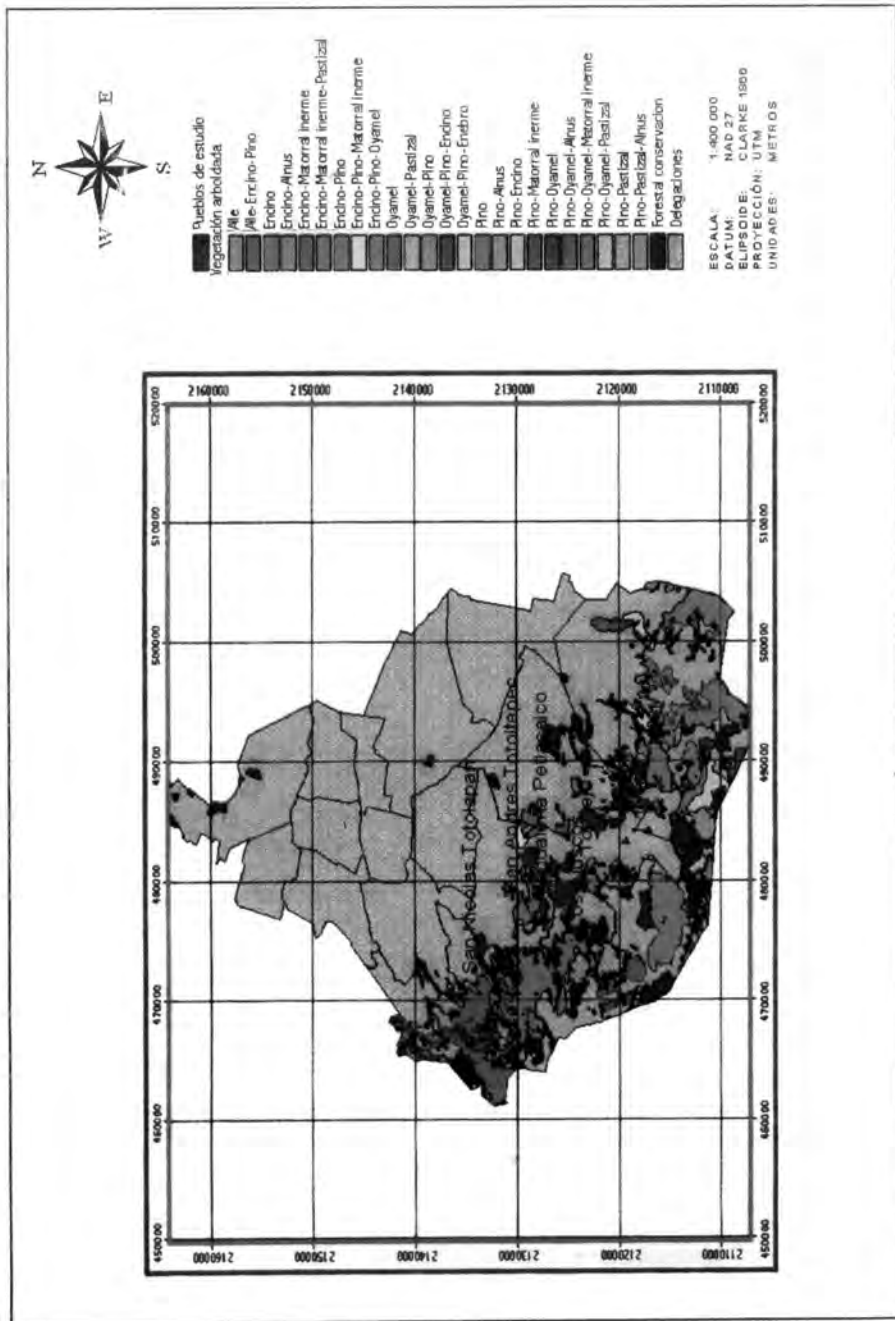


Figura 1. Mapa base para el estudio.

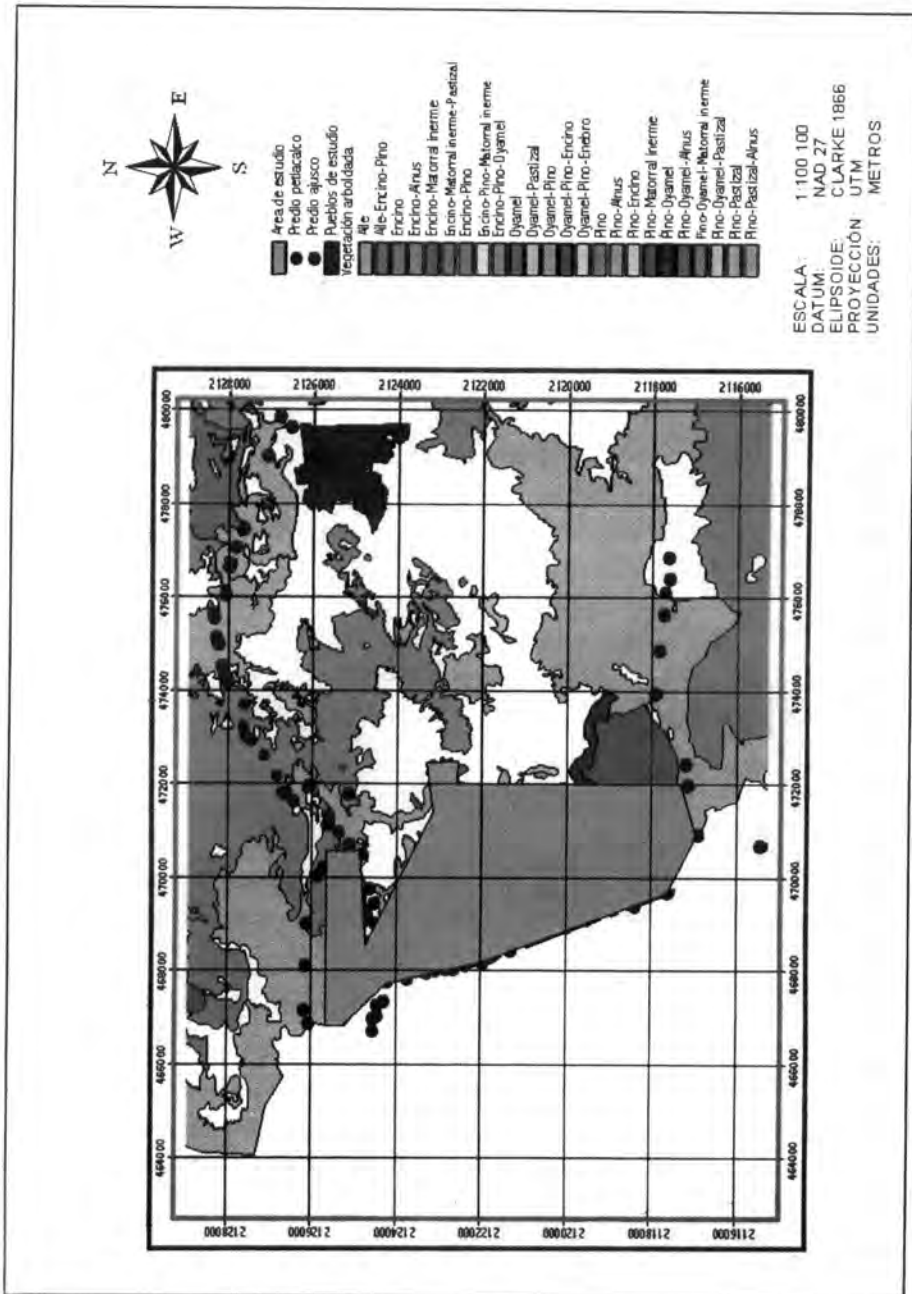


Figura 2. Ubicación Geográfica del área de estudio.

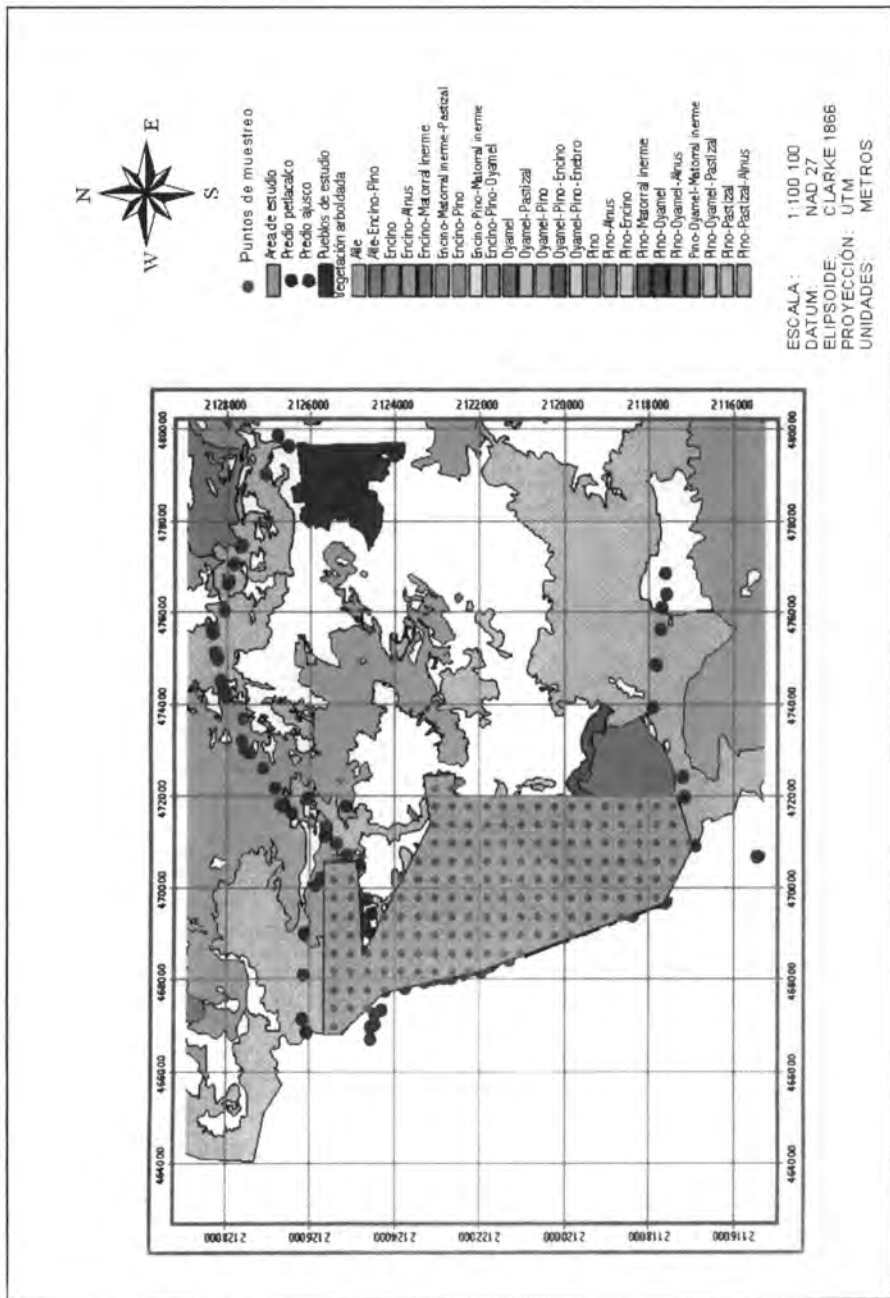


Figura 3. Puntos de muestreo.

En campo, las coordenadas de los puntos referidos se localizaron mediante Global Positioning System (GPS), con un error menor a los 10 m.

Los datos de campo se obtuvieron durante los meses de febrero y marzo de 2003. La información registrada a nivel de sitio fue: Número de sitio, coordenadas UTM, fecha, localidad, delegación, paraje, tipo de vegetación, exposición, pendiente (%), altitud (msnm); mientras que a nivel de árbol vivo fue: especie, presencia / ausencia de plagas (en hojas, ramas y fuste) y presencia / ausencia de enfermedades (en hojas, ramas y fuste).

Para la determinación de las especies forestales se recolectaron ramas y frutos, mismas que fueron enviadas al Herbario Nacional Forestal.

El trabajo de campo en el área de sanidad consistió en buscar los efectos de algún agente causal en las diferentes estructuras de los árboles. En follaje se evaluó la presencia de marchitamiento o clorosis; en fuste la presencia de excremento, aserrín, galerías sinuosas o irregulares, grumos de resina translúcida o blanca, así como tumoraciones.

Las partes detectadas con algunas de estas características, se colectaron directamente, con la finalidad de encontrar insectos o patógenos en alguna fase de desarrollo que facilitara su determinación en el laboratorio, apoyándose de microfotografías.

Trabajo de laboratorio

Los ejemplares botánicos colectados fueron analizados en el Herbario Nacional Forestal empleando las claves dicotómicas correspondientes de la zona (Standley, 1982; Benítez, 1986 y Calderón y Rzedowski, 2001).

A las muestras patológicas colectadas con evidencia de daños causados por posibles agentes de enfermedad se les realizó un examen macroscópico para identificar sus signos y síntomas.

Sólo para el caso de enfermedades foliares se utilizó cámara húmeda, con la finalidad de que los hongos desarrollaran cuerpos fructíferos. De los micromicetos obtenidos se realizaron preparaciones semipermanentes, utilizando el colorante azul-algodón-lactofenol y se determinaron mediante claves específicas (Barnett, 1972).

Análisis de la información

Aun cuando la teoría del muestreo se basa en la selección aleatoria de las unidades de muestreo, la selección sistemática ha mostrado superioridad en la práctica, y empleando los mismos estimadores, los resultados satisfacen el nivel de precisión esperado, siempre que la población no sea periódica en cuanto

al valor de la variable que se evalúa. Si la población bajo estudio es aleatoria, es decir, los elementos (árboles) están distribuidos al azar, el muestreo sistemático es equivalente al muestreo aleatorio (Scheaffer *et al.*, 1987). Además, un diseño sistemático tiene la ventaja de que las unidades de muestreo se distribuyen en toda la población. Estas consideraciones son de vital importancia, ya que si bien cierto que en el presente estudio se utilizó un diseño de muestreo sistemático, el estimador utilizado supone muestreo aleatorio.

Para la estimación del porcentaje de árboles enfermos y de árboles plagados se empleó un estimador de razón, el cual está dado por la siguiente expresión (Cochran, 1993):

$$\hat{R} = \frac{\sum_i^n y_i}{\sum_i^n x_i} \quad (1)$$

Donde:

y_i = Número de árboles que presentaron alguna plaga o alguna enfermedad en el i -ésimo sitio (valor variable de interés). Es la suma de los árboles plagados o enfermos en i -ésimo sitio, para lo cual el j -ésimo árbol del i -ésimo sitio, tomó el valor 1 si estaba plagado o enfermo y tomó el valor 0 de otra forma.

x_i = Número total de árboles presentes en el i -ésimo sitio (valor variable auxiliar).

n = Tamaño de muestra.

El uso del estimador de razón es apropiado en este caso, ya que aun cuando las unidades muestrales son iguales en superficie, realmente son diferentes en cuanto al número total de elementos que las integran (Freese, 1969). El estimador de razón es más efectivo cuando la relación entre la variable respuesta y la variable auxiliar es lineal a través del origen, la varianza de Y es proporcional a X y cuando el coeficiente de correlación entre ambas es mayor a $\frac{1}{2}$.

Aunque la estimación de razón es sesgada, para un tamaño de muestra grande ($n > 30$) el sesgo es despreciable. Además, los estimadores de razón son insesgados cuando la relación entre la variable de interés y la variable auxiliar es lineal a través del origen (Scheaffer *et al.*, 1987).

Por sus características teóricas y prácticas este estimador es recomendado en los Programas de Inventario Forestal y Análisis (FIA) y de Monitoreo de la Salud

Forestal de los Estados Unidos (Bechtold and Zarnoch, 1999).

La varianza estimada de (1) está dada por:

$$\hat{V}(\hat{R}) = \frac{1}{nx^2} \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{R}x_i)^2}{n-1} \quad (2)$$

Un intervalo de confianza al 95%, suponiendo normalidad, está dado por:

$$\hat{R} \pm 2 \left(\frac{1}{nx^2} \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{R}x_i)^2}{n-1} \right)^{0.5} \quad (3)$$

Tanto la estimación puntual como por intervalo del porcentaje de árboles plagados y enfermos se obtuvo aplicando directamente las ecuaciones 1, 2 y 3, las cuales son función de estadísticas simples.

En el i -ésimo sitio se determinaron las especies forestales y los insectos o patógenos que provocan el daño, en aquellos casos en donde había más de una especie se empleó la frecuencia máxima.

Considerando únicamente la estimación puntual del porcentaje de árboles plagados o enfermos, se determinaron las especies forestales, así como las plagas y enfermedades que las afectan.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Relación entre el número de árboles afectados y el número total de árboles en el sitio

Aun cuando en gabinete se estableció un tamaño de muestra de 161 unidades, en campo solamente 151 pertenecieron a vegetación arbolada. Por otro lado, con el fin de mejorar la estimación de árboles plagados y enfermos, en ambos casos se eliminaron del análisis 13 sitios, ya que sus valores no contribuían a la relación lineal de X y Y . En estas condiciones el tamaño de muestra final fue de 138 sitios.

El estimador de razón se consideró apropiado, ya que el coeficiente de

correlación entre el número de árboles plagados y el número total de árboles fue de 0.70 (Figura 4), mientras que para el número de árboles enfermos y el número total de árboles fue de 0.60 (Figura 5), ambos mayores a 0.5.

Estimación del porcentaje de árboles plagados y enfermos

Después de aplicar el estimador correspondiente a los datos obtenidos en campo, con un 95% de confiabilidad se concluye que el porcentaje de árboles plagados en la zona de estudio se encuentra entre 8.9 y 18.5%, mientras que el porcentaje real de árboles enfermos se encuentra entre 4.2 y 13.7% (Figura 6). Asimismo, se obtuvo que 13.7 y 8.9% es la estimación puntual para el porcentaje de árboles plagados y enfermos, respectivamente.

En ambos casos la amplitud del intervalo de confianza puede reducirse al aumentar el tamaño de muestra, ya que como se indica en la expresión (2), al incrementar el número de unidades muestrales la varianza del estimador disminuye.

Especies forestales afectadas

Considerando que el 13.7% de los árboles presentaron algún tipo de plaga, la especie forestal mayormente plagada fue *Pinus hartwegii* Lindl., mientras que la especie con menor incidencia de plagas resultó ser *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. et Cham. Asimismo, tomando en cuenta que el 8.9% de los árboles presentan algún tipo de enfermedad, la especie con mayor porcentaje de afectación por enfermedades fue también *Pinus hartwegii* Lindl.; otras especies como *Pinus pseudostrobus* Lindl. y *Pinus radiata* D. Don. presentaron menor incidencia de ataque (Cuadro 1).

Plagas y enfermedades que atacan a las especies forestales

Como puede apreciarse en el Cuadro 2, *Sciurus* sp. (ardilla gris) fue la plaga que se presentó con mayor incidencia en *Pinus hartwegii* respecto a las demás; aun cuando el 4.4% no es de gran impacto, un ataque intenso puede ocasionar debilitamiento a los árboles, y en consecuencia, sería más probable el ataque de plagas o patógenos. En este estudio la presencia de otras plagas como los descortezadores puede considerarse de poca importancia.

La enfermedad que más afectó a *Pinus hartwegii* fue *Lophodermium* sp. Otras enfermedades como las royas se presentaron con poca frecuencia (Cuadro 3).

En los bosques del Sur del Distrito Federal, los principales problemas de plagas y enfermedades reportados por CONAFOR y SEMARNAT, se refieren a los descortezadores (*Dendroctonus adjunctus* y *D. mexicanus* Hopk.) y el

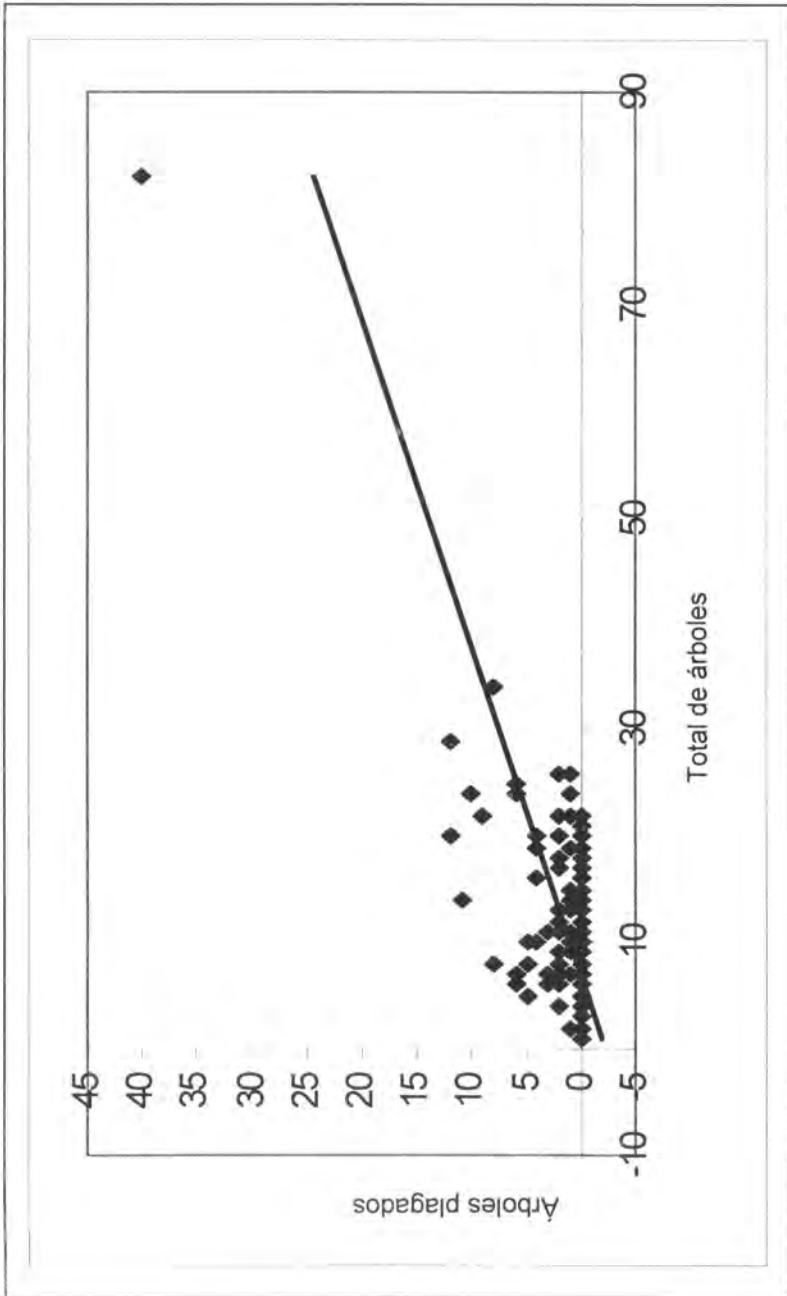
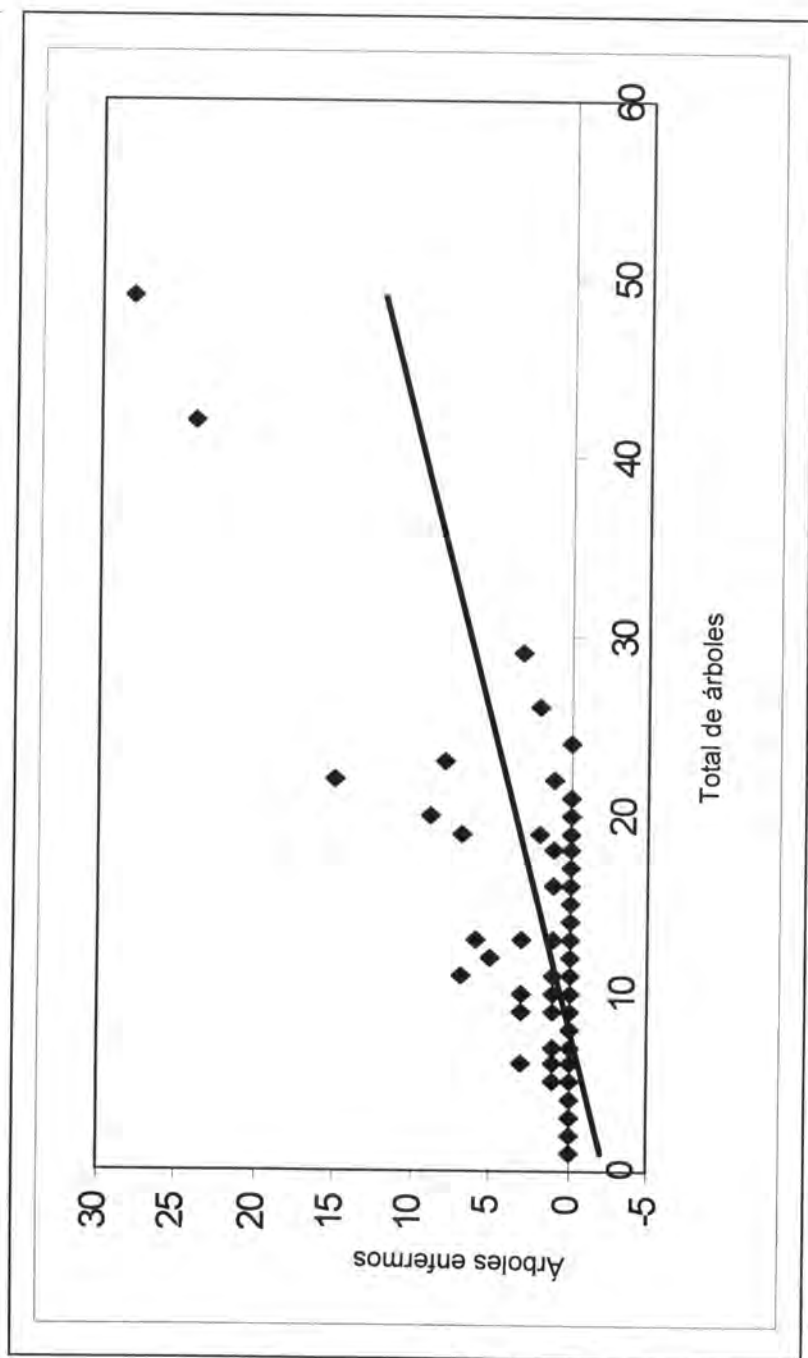


Figura 4. Relación árboles plagados y total de árboles.



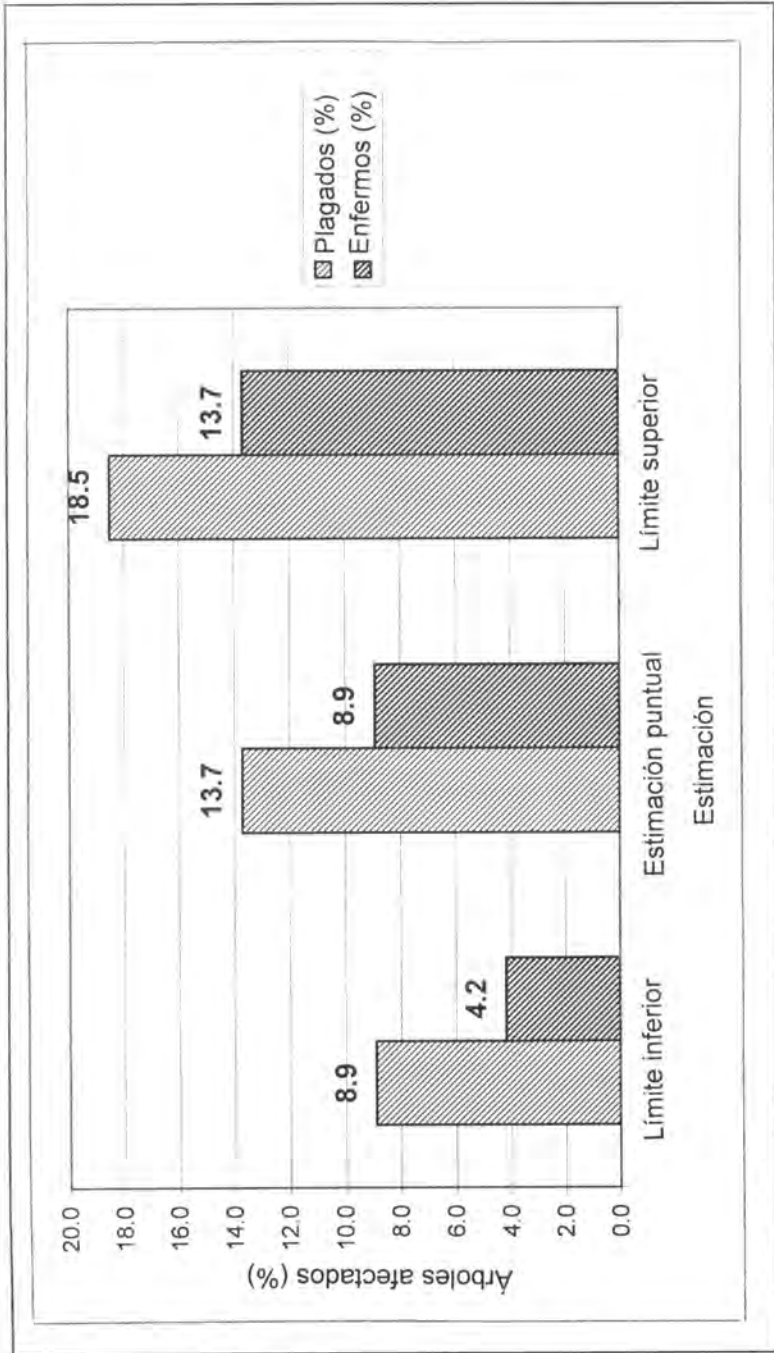


Figura 6. Estimación puntual y por intervalo del porcentaje de árboles plagados y enfermos.

Cuadro 1. Especies forestales con algún tipo de plaga o enfermedad.

Especie forestal	Árboles con algún tipo de plaga (%)	Árboles con algún tipo enfermedad (%)
<i>Abies religiosa</i>	0.5	0.2
<i>Alnus jorullensis</i> ssp. <i>zorullensis</i>	1.2	0.3
<i>Pinus hartwegii</i>	8.7	7.6
<i>Pinus montezumae</i>	3.3	0.7
<i>Pinus pseudostrobus</i>	----	0.1
<i>Pinus radiata</i>	----	0.1
Total	13.7	8.9

Cuadro 2. Plagas que afectan al *Pinus hartwegii* Lindl.

Nombre de la plaga	Árboles plagados (%)
<i>Sciurus</i> sp. (ardilla gris)	4.4
<i>Synanthendon cardinalis</i> (mariposa resinera)	1.6
<i>Dendroctonus adjunctus</i> (descortezador)	1.1
<i>Ips mexicanus</i> (descortezador secundario)	0.5
Coccidae (escama algodonosa)	1.1
Total	8.7

Cuadro 3. Enfermedades que afectan al *Pinus hartwegii* Lindl.

Nombre del agente causal	Árboles enfermos (%)
<i>Ascomyceto</i> (cancro)	1.4
<i>Lophodermium</i> sp. (enfermedad foliar)	5.7
<i>Cronartium</i> sp. (roya)	0.6
Total	7.6

muérdago enano (*Arceuthobium globosum* Hawksw. & Wiens y *A. vaginatum* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) J. Presl); sin embargo, en los sitios evaluados únicamente se encontró a *D. adjunctus* con el 1.1%, posiblemente esto se deba al saneamiento a que fue sometida la zona de estudio.

El principal daño fue el ocasionado por la ardilla, ya que al alimentarse de la parte apical y brotes del árbol provoca el descortezado de estas estructuras, al respecto, algunos autores consideran que no se le puede considerar como una plaga; no obstante, en este estudio sí se consideró como plaga debido a que un ataque intenso de *Sciurus* sp. (ardilla gris), provocaría un debilitamiento a los árboles, y en consecuencia, serían más susceptibles al ataque de otras plagas y enfermedades.

CONCLUSIONES

Con un 95% de confiabilidad se concluye que el porcentaje de árboles plagados en la zona de estudio está entre 8.9 y 18.5%, mientras que el porcentaje de árboles enfermos se encuentra entre 4.2 y 13.7%. Además, 13.7 y 8.9% es la estimación puntual para el número de árboles plagados y enfermos, respectivamente.

Pinus hartwegii Lindl., fue la especie forestal más atacada tanto por plagas como por enfermedades, dentro de las primeras destaca *Sciurus* sp. (ardilla gris) y dentro de las segundas *Lophodermium* sp. (Schrad.: Fr.) Chev. (enfermedad foliar)

Dado que los porcentajes de incidencia son bajos, se consideró que las plagas y enfermedades presentes no impactaron negativamente en el recurso forestal, no obstante, un ataque intenso de la ardilla gris puede provocar un debilitamiento a los árboles, y en consecuencia, sería más probable el ataque de plagas o patógenos.

La frecuencia observada del grupo de los descortezadores (*Dendroctonus adjunctus*, *Ips mexicanus* (Hopkins) y *Synanthendon cardinalis*) y de los chupadores de savia de la familia *Coccidae* es baja. Sin embargo, se deben monitorear a fin de evitar su propagación y de esta forma disminuir su impacto negativo en el arbolado.

En cuanto a las enfermedades (royas, canchros, pudriciones y enfermedades foliares) su incidencia fue baja durante la época de muestreo, sin embargo, es necesario continuar con detecciones oportunas e intensivas, para la toma de decisiones en la prevención y control de plagas y enfermedades forestales.

Se recomienda la generación de una escala de evaluación de daños causados por diferentes insectos o patógenos en donde se indique, por una parte, los rangos del porcentaje de afectación y por la otra, los calificativos correspondientes.

AGRADECIMIENTOS

Al personal de la Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural del D. F. (CORENA), por haber proporcionado la cartografía digital de la zona de estudio, la cual fue la materia prima para el desarrollo del presente trabajo.

De manera muy especial, a la Gerencia XIII Centro - Valle de México de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), por haber financiado el proyecto "Diagnóstico Sanitario en los Bosques del Sur del Distrito Federal".

Finalmente, a todas aquellas personas involucradas de una u otra forma en el desarrollo de este proyecto, quienes sin su apoyo incondicional no hubiera sido posible concluirlo.

REFERENCIAS

- Alvarado R., J., T. Hernández T., Ma. L. De la Isla de B. y J. Galindo J. 1987. Decaimiento del oyamel en el Desierto de los Leones, D. F. *In*: SARH. Memoria del IV Simposio Nacional sobre Parasitología Forestal y IV Reunión sobre Plagas y Enfermedades Forestales. Pub. Esp. No. 59. Tomo II. México, D.F. pp: 790- 801.
- Barnett, L. H. and B. B. Hunter. 1972. Illustrated genera of imperfect fungi. Burgess Publishing Company. 241 p.
- Bechtold, W. A. and S. J. Zarnoch. 1999. Field methods and data processing techniques associated with mapped inventory plots. *In*: Aguirre-Bravo, C. y C. Rodríguez F. (Comp.): North American science symposium. Toward an unified framework for inventorying and monitoring forest ecosystem resources. USDA-Forest Service. Fort Collins, USA. pp: 421-424.

- Benítez B., G. 1986. Árboles y flores del Ajusco. Instituto de Ecología. Museo de Historia Natural de la Ciudad de México. México. 183 p.
- Beutelspacher, B. C. R. 1983. Redefinición taxonómica de *Montezumia cardinalis* Dampf (Lepidoptera: Sesiidae). Ciencia Forestal. Vol. 8(43):24-31.
- Calderón, G. y J. Rzedowski. 2001. Flora fanerogámica del Valle de México. Instituto de Ecología A. C.- CONABIO. 1406 p.
- Cibrián T., J. y J. Macías S. 1987. Presencia de un nuevo patógeno sobre renuevo de oyamel (*Abies religiosa*) en el parque cultural y recreativo Desierto de los Leones. In: SARH. Memoria del IV Simposio Nacional sobre Parasitología Forestal y IV Reunión sobre Plagas y Enfermedades Forestales. Pub. Esp. No. 59. Tomo II. México, D. F. pp: 653-666.
- Cochran, W.G. 1993. Técnicas de muestreo. Compañía Editorial Continental. México. 513 p.
- Freese, F. 1969. Muestreo Forestal Elemental. Centro Regional de Ayuda Técnica. Agencia para el Desarrollo Internacional. México/Buenos Aires. 96 p.
- Hernández H., M. S. 1983. Biología de *Synanthedon cardinalis* Dampf (Lep. sesiidae), descortezador de los pinos. Ciencia Forestal. Vol. 8(46):39- 62.
- Medina B., R. 2002. Programa de Manejo Forestal para la remoción de maderas muertas por plagas, enfermedades y agentes meteorológicos e incendios forestales en el Ejido de Magdalena Petlacalco, D. F. Comisión Nacional Forestal, Gerencia XIII Centro-Valle de México. México. 49 p.
- Medina B., R. 2002. Programa de Manejo Forestal para la remoción de maderas muertas por plagas, enfermedades y agentes meteorológicos e incendios forestales en el Ejido de San Nicolás Totolapan, D. F. Comisión Nacional Forestal, Gerencia XIII Centro-Valle de México. México. 59 p.
- Reséndiz M., F. y R. Salinas, Q. 1987. Observaciones preliminares sobre la microflora asociada a *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. et Cham. In: SARH. Memorias del IV Simposio Nacional sobre Parasitología Forestal y IV Reunión sobre Plagas y Enfermedades Forestales. Pub. Esp. No. 59. Tomo II. México, D. F. pp: 695- 701.
- Salazar R., R. y S. Vázquez E. 2001. Diagnóstico de las principales plagas y enfermedades en el arbolado de la parte sur del Distrito Federal. Informe Final de Servicio Social Legal. Licenciatura de Agronomía. Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco. México. 35 p.
- Salgado C., A. 2002. Programa de Manejo Forestal Sustentable para el cultivo, protección, restauración y remoción de maderas muertas comunidad San Miguel Santo Tomás Ajusco Delegación Tlalpan, D. F. Comisión Nacional Forestal, Gerencia XIII Centro-Valle de México. México. 168 p.
- Salinas, Q., R. 1987. Informe complementario sobre una posible nueva roya de pinos. In: SARH. Memoria del IV Simposio Nacional sobre Parasitología Forestal y IV Reunión sobre Plagas y Enfermedades Forestales. Pub. Esp. No. 59. Tomo II. México, D. F. pp: 625-630.

- Scheaffer, R. L., W. Mendenhall y L. Ott. 1987. Elementos de muestreo. Trad. por Rendón S., G. y J. R. Gómez A. Grupo Editorial Iberoamérica. México. 321 p.
- Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal (SMADF). 2000. Decreto del Programa General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal. Gaceta Oficial del Distrito Federal (1 de agosto de 2000). México. 90 p.
- Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal (SMADF). s/f. <http://www.sma.df.gob.mx/> (7 de agosto de 2003).
- Standley, P. 1982. Trees and shrubs of Mexico. Vol. 23. Strauss & Cramer. Germany. 1721 p.
- Valdez, A. M. s/f. Las Ardillas de México. http://www.conabio.gob.mx/institucion/conabio_espanol/doctos/ardillas.html (10 junio de 2003).

IMPACTO DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO E INCENDIOS EN LA ESTRUCTURA DE TRES COMUNIDADES FORESTALES

José Villanueva Díaz¹ y Guy R McPherson².

RESUMEN

El conocimiento actual de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas forestales de zonas templadas y de los factores que condicionan su distribución y la abundancia de las especies que las conforman es muy limitado. El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de los cambios en el uso del suelo e incendios en la dinámica estructural de dos comunidades forestales ubicadas en el suroeste de los Estados Unidos de América (Animas Mountains) y una en el norte de México (Sierra los Ajos). Las asociaciones vegetales involucradas fueron (1) *Pseudotsuga menziesii* / *Quercus gambelii* localizada en exposiciones norte con una altitud superior a los 2,200 m; (2) *Pinus strobiformis* / *Pinus leiophylla* / *Pinus ponderosa* desarrollada a menos de 2,200 msnm y (3) *Pinus discolor* / *Juniperus deppeana* / *Quercus* sp. en elevaciones inferiores a 2,000 m. Aunque las distribuciones de clases diamétricas y de edad fueron muy variables en cada una de las cadenas montañosas, estas indicaron que *Pseudotsuga menziesii*, *Pinus strobiformis* y *Pinus discolor* presentaron un incremento, o bien se mantienen como predominantes en algunos sitios de Animas Mountains, aparentemente como consecuencia de actividades de eliminación de incendios y diversos usos del suelo. Por el contrario, los incendios más frecuentes y las actividades de aprovechamiento forestal en la Sierra los Ajos habrían reducido la densidad de árboles y la dominancia de especies intolerantes a la sombra como *Pinus ponderosa*.

Palabras clave: Cambio de uso del suelo, dinámica forestal, estructura forestal, frontera México-E.U.A., incendios forestales, uso del suelo.

Fecha de recepción: 24 de julio de 1997.

Fecha de aceptación: 26 de julio de 2004.

¹ Centro Nacional de Investigación Disciplinaria - Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera / INIFAP.
Correo-e: villanueva.jose@inifap.gob.mx

² Escuela de Recursos Naturales, Universidad de Arizona.

ABSTRACT

The focus of this study was to evaluate the effect of land-use history and fires on forest structure in two mountain ranges of the southwestern United States of Northamerica (Animas Mountains) and northern Mexico (Sierra los Ajos). Three forest communities in each mountain range were examined: (1) *Pseudotsuga menziesii*, *Quercus gambelii* found on northern aspects above 2,200 m; (2) *Pinus strobiformis* / *Pinus leiophylla* / *Pinus ponderosa* found below 2,200 m, and (3) *Pinus discolor* / *Juniperus deppeana* / *Quercus* sp. at elevations lower than 2000 m, bordering grasslands. Although size and age-class distributions for individual species were highly variable within a mountain range, they indicated that *Pseudotsuga menziesii*, *Pinus strobiformis*, and *Pinus discolor* are maintaining or increasing dominance in some stands in Animas Mountains, apparently as consequence of fire suppression and other land uses. In contrast, a less aggressive and usually less effective fire suppression policy in Sierra Los Ajos may have contributed to a continued dominance of the shade-intolerant *Pinus ponderosa*.

Key words: Land-use change, forest dynamics, forest structure, Mexico-U.S.A. frontier, forest fires, land use.

INTRODUCCIÓN

El aprovechamiento de los sistemas bióticos se debe fundamentar en una comprensión profunda de su ecología y desarrollo histórico, ya que ambos permiten comprender e interpretar tanto su funcionamiento como los procesos ecológicos que han determinado su desarrollo. Sin embargo, el conocimiento actual de los ecosistemas forestales de zonas templadas, así como de los factores que condicionan su distribución y abundancia de las especies que los conforman, aún es muy limitado.

Los bosques de coníferas del suroeste de los Estados Unidos de América y del norte de México son de los menos estudiados en Norteamérica (Peet, 1988); incluso, la información preliminar relacionada con su organización estructural y desarrollo sucesional no se ha detallado, aunque varios autores han descrito dichas comunidades de manera general (Pace y Brown, 1982; Niering y Lowe, 1984; Peet, 1988).

Los análisis de la estructura de edades y clases diamétricas pueden utilizarse de manera indirecta para inferir los procesos que han afectado a la comunidad, como son: la frecuencia y severidad de los disturbios (incendios, plagas, enfermedades, etc), patrones sucesionales, entre otros.

Niering y Lowe (1984) y Peet (1988) han investigado los procesos sucesionales

que han afectado a este tipo de vegetación, pero sus interpretaciones están basadas en observaciones de predominio de especies, no en estudios dinámicos del bosque. Además, el punto de vista Clementsiano adoptado por dichos autores ha sido radicalmente modificado, en especial para sistemas áridos (Westoby *et al.*, 1989). La predicción de la estructura de comunidades bióticas con base en el conocimiento taxonómico de las especies, clima prevaleciente y régimen de disturbio, es una meta central de los estudios biológicos (Collins *et al.*, 1993; Wilson y Watkins, 1994). En el caso particular de las asociaciones de coníferas del suroeste de Estados Unidos de América, la poca información disponible no permite hacer una buena la predicción de su estructura.

Como hipótesis se plantea que la estructura de los bosques en Animas Mountains, Nuevo México (AM) y en la Sierra los Ajos, Sonora (SLA) responde al clima y al historial del uso del suelo. Así mismo, una comunidad forestal localizada en sitios con características fisiográficas similares, variará como resultado de las diferencias históricas en el uso del suelo. Así se espera que los rodales en AM se distingan estructuralmente de los de SLA, a consecuencia de ese tipo de variaciones. El control de incendios en los Estados Unidos posterior a 1900 ha ocasionado cambios estructurales en la vegetación.

Los objetivos específicos de este estudio son: 1) comparar la estructura de los bosques de coníferas presentes en una cadena montañosa del suroeste de los Estados Unidos con otra en el noroeste de México, y 2) conocer la influencia del uso del suelo en los patrones estructurales de la vegetación existente. De manera específica se determinarán para cada una de las comunidades dominantes en AM y SLA las estructuras de edades y diámetro normal de fuste.

MATERIALES Y MÉTODOS

Áreas de estudio: Animas Mountains y Sierra los Ajos

Localización Geográfica.- Animas Mountains es el sistema de montañas más alto en el suroeste de Nuevo México; se localiza al oeste del Río Grande y al sur de la Planicie Mogollón, a una latitud de 31° 35' norte y una longitud de 108° 47' oeste; el pico más alto es de 2,600 m y ocupa 100 km² en el Gray Ranch, Hidalgo County, Nuevo México.

Sierra los Ajos se ubica en Sonora, México a una latitud de 30° 55' norte y una longitud de 109° 55' oeste, aproximadamente 100 km al suroeste de AM; su mayor altitud es del orden de los 2,600 m y tiene una superficie de 171 km² (Figura 1).

Clima.- Tanto AM como SLA presentan un patrón de precipitación bimodal, con

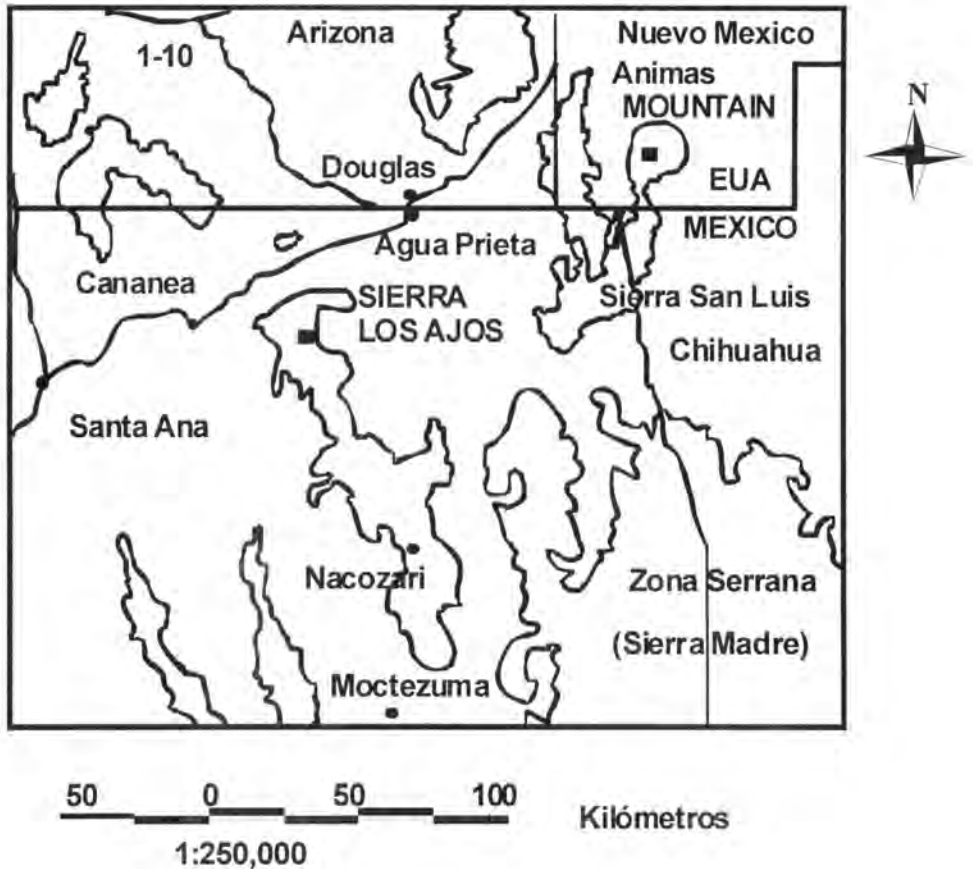


Figura 1. Localización geográfica de las montañas Animas Mountains, Nuevo México y Sierra los Ajos, Sonora.

60% del total anual (450 - 750 mm, dependiendo de la elevación) presente de julio-septiembre y 40% en el periodo invernal. Temperaturas superiores a 32°C son comunes en el verano y fluctúan entre 12 y -5°C en el invierno (Wagner, 1977; Garza-Salazar, 1993).

Vegetación.- La proximidad de AM y SLA a la Sierra Madre Occidental y a las Montañas Rocallosas ha favorecido una alta diversidad florística en estas montañas, integrada por elementos de ambas regiones (Wagner, 1977; Brown, 1982; Fishbein *et al.*, 1995).

La vegetación de AM se caracteriza por la presencia de tres tipos principales de comunidades: encinar bajo, encinar alto y bosques de coníferas. Las coníferas cubren casi 450 ha, a una altitud entre 1,980 y 2,600 m (Wagner, 1977; Hubbard 1977). Las especies más importantes son: Douglas-fir o pinabete (*Pseudotsuga menziesii* var. *glauca* (Beissn.) Franco), pino fronterizo (*Pinus strobiformis* Engelm.), pino ponderosa (*Pinus ponderosa* var. *arizonica* Shaw.) y el pino real (*Pinus leiophylla* var. *chihuahuana* Engelm.). El bosque de pinos mixtos se localiza en un rango altitudinal de 2,300 y 2,600 msnm y está constituido por *P. ponderosa* var. *arizonica*, *P. leiophylla* var. *chihuahuana* y *P. engelmannii* Engelm. La asociación de pino piñonero-encino se desarrolla entre 2,300 y 2,450 msnm, los taxa que la integran son: *P. discolor* D. K. Bailey & Hawksworth, *Juniperus deppeana* Steud y diversas especies de encino entre las que sobresalen: *Quercus hypoleucoides* A. Camus, *Q. rugosa* Née, *Q. arizonica* Sarg. y *Q. emoryi* Torr.

Los tipos de vegetación que caracterizan a SLA son: bosque de coníferas, chaparral, encinar y vegetación riparia. El bosque de coníferas está restringido a exposiciones norte entre 1,900 a 2,600 msnm (Garza-Salazar, 1993; Fishbein et al., 1995); las especies dominantes son: *Pseudotsuga menziesii*, *Quercus gambelii* Nutt y *Arbutus arizonica* (Gray) Sarg. La asociación pino-encino se localiza entre los 1,500 y 2,000 msnm, las especies asociadas son *Pinus ponderosa*, *P. leiophylla*, *P. discolor*, *Q. emoryi* Torr, *Q. hypoleucoides* y *Q. arizonica*.

Geología y Suelos.- Animas Mountains es producto de la intensa actividad volcánica del Periodo Terciario. Durante el Cretácico ocurrieron erupciones de basaltos seguidos por granadiorita, mientras que a finales del Terciario éstas fueron de riolita, tobas y basaltos (Arras, 1979; Wagner, 1977).

La Sierra los Ajos tiene una formación geológica muy compleja, caracterizada por una composición lítica heterogénea (Aponte, 1974). Formaciones rocosas del Precámbrico y del Holoceno se identifican a lo largo del gradiente altitudinal. Ambos sistemas montañosos poseen una topografía escarpada muy irregular, con suelos rocosos y someros, por lo regular menores de 50 cm de profundidad (Soil Conservation Service, 1973; Garza-Salazar, 1993).

Historial del uso del suelo

Animas Mountains.- La ocupación humana en el suroeste de Nuevo México y sureste de Arizona se ha registrado por más de 10,000 años (Martin, 1963). La colonización española de la región tuvo lugar a principios del siglo XVII. Las actividades de los primeros habitantes se limitaron a la agricultura, ganadería y en menor proporción a la minería. La intensidad del pastoreo en AM durante este periodo se desconoce, pero a principios de 1890 se inició a gran escala, cuando estas montañas formaron parte del histórico Diamond A Cattle Ranch

(Wagner, 1977; Tonne *et al.*, 1992). Aunque la mayor actividad se presentó en el pastizal, la presencia de cercos viejos, veredas y abrevaderos en las partes altas, indican que el bosque también fue utilizado para esos fines.

El fuego, como componente natural de los ecosistemas forestales, fue modificado de manera significativa en el siglo XX. La combinación de la ganadería intensiva y el control de incendios (actividad iniciada durante las primeras décadas de 1900) habría provocado cambios en la vegetación y afectado otros procesos ecológicos, que involucran la formación y expansión de arroyos, la invasión del pastizal por arbustivas y la sustitución de especies intolerantes a la sombra por especies tolerantes (Archer y Smeins, 1991).

El régimen natural de incendios en AM antes de 1900, se caracterizó por una mezcla de eventos de baja intensidad y alta intensidad, con una frecuencia de 3 a 15 años los primeros y de 20 a 50 años los segundos. (Baisan y Swetnam, 1995).

Sierra los Ajos.- Su historial de uso del suelo es poco conocido. En la época precolombina, la región fue habitada por tribus Opatas (Hastings y Turner, 1965, West, 1993). La colonización española se llevó a cabo un siglo después de que la zona fuese explorada con fines mineros. Entre 1614 y 1617, los Jesuitas fundaron sus primeras misiones en Sonora; su economía se sustentó en la ganadería extensiva y el mayor impacto en la vegetación herbácea se produjo con la apertura de ranchos ganaderos a principios de 1700. Así, en 1713 un productor poseía 7,000 unidades animal en el Valle Moctezuma; al mismo tiempo, seis españoles pastoreaban alrededor de 12,000 unidades animal en las montañas entre Sonora y el Valle de Moctezuma (Harnnes y Barber, 1964).

En la actualidad, las actividades pecuarias en la SLA no están bien documentadas. Se expidieron varios permisos en el periodo 1968-1984, aunque la intensidad de pastoreo, las unidades animal y la temporada de aprovechamiento son desconocidos, o existe escasa información al respecto.

Las actividades de supresión de incendios han tenido poco impacto en la reducción de su incidencia; de tal manera que las conflagraciones de baja intensidad tienen una frecuencia de cuatro a cinco años (Dieterich, 1983; Baisan y Swetnam, 1995).

Parcelas de muestreo.- En cada una de las cadenas montañosas (AM y SLA) se estudió la estructura de las siguientes comunidades vegetales: 1) *Pseudotsuga menziesii* / *Quercus gambellii* (DF), localizada en exposición norte, en una altitud superior a los 2200 msnm; 2) *Pinus strobiformis* / *Pinus leiophylla* / *Pinus ponderosa* (PM) ubicada a menos de 2200 msnm y 3) *Pinus discolor* / *Juniperus deppeana* / *Quercus* sp (PE) presente a bajas elevaciones, en la frontera con los pastizales. Con base en fotografías aéreas y recorridos de campo, se eligieron cuatro sitios representativos de cada comunidad.

En las áreas de estudio, se eligieron 12 parajes para muestreo intensivo de vegetación, la selección de cada sitio se realizó en coordinación con un estudio sobre historial de incendios conducido por el Laboratorio de Dendrocronología de la Universidad de Arizona (Baisan y Swetnam, 1995; Swetnam y Baisan, 1996).

Se estableció una parcela permanente de 20 x 50 m (0.1 ha) por paraje, la cual se dividió en 10 subparcelas de 10 x 10 m, en ellas se obtuvo el diámetro de cada árbol presente a 1.35 m de altura (DN) y se llevó a cabo la colecta de ejemplares de herbario a partir de dos individuos seleccionados al azar. Con un taladro de Pressler se tomaron las virutas de 20 árboles por parcela para medir incrementos, y determinar la edad del arbolado.

Además, en cada parcela se hicieron cortes o secciones transversales del fuste de 5 a 6 renuevos de las especies dominantes, localizadas en sitios relativamente abiertos, con el fin de estimar el número de años transcurridos para que un árbol alcance 1.35 m de altura. Lo anterior, se calculó mediante una regresión lineal simple entre la altura del renuevo y la edad (Hett y Loucks, 1976; Screuder *et al.*, 1993). Los años que una planta tarda en alcanzar su DN se suman a los años obtenidos de la muestra tomada a la misma altura (1.35 m). La técnica anterior permite una aproximación más confiable de la edad real del árbol.

Los cortes fueron montados y pulidos para resaltar los anillos de crecimiento, a continuación con la ayuda de las técnicas dendrocronológicas tradicionales se determinó la edad (Stokes y Smiley, 1968; Fritts, 1976; Swetnam *et al.*, 1985). Si una muestra en particular, estaba cerca pero no contenía el anillo central, entonces se calculaban los anillos faltantes y el número de años obtenido de esta manera, se añadía al número de anillos presentes en la sección radial (Applequist, 1958).

Los anillos de crecimiento de las series fechadas, se midieron con una aproximación de 0.01 mm (Robinson y Evans, 1980). Para estimar la exactitud de los resultados, las series de crecimiento anual se analizaron con el programa COFECHA (Holmes, 1994) y el dato obtenido se corroboró mediante la revisión, por un especialista en dendrocronología, de varias muestras seleccionadas aleatoriamente.

Todas las parcelas se analizaron con relación a la composición de especies arbóreas y se construyeron tablas de frecuencia de distribución, tanto diamétricas (clases de 5 cm), como de edades (clases de 5 años), esta información permitió inferir los factores que influenciaron la supervivencia de las especies presentes.

La relación entre edad del arbolado y DN en cada una de las especies fechadas, se determinó por medio de un análisis de regresión lineal. Las ecuaciones resultantes se emplearon para definir la edad por taxon en la parcela, se consideró como variable independiente el DN. Para propósitos de comparación, la densidad de árboles se extrapoló a una hectárea.

Con el objeto de estimar la influencia de las diferencias en el uso del suelo en las montañas estudiadas, se confrontaron las distribuciones diamétricas y de edades de los sitios similares en edad, altitud, exposición y pendiente presentes en una misma comunidad.

Se usó una prueba de "t" para verificar las diferencias estadísticas en densidad total (número de fustes ha^{-1}) y área basal total ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$) para comunidades similares entre cadenas montañosas. Así mismo, se determinó el porcentaje de contribución y el valor de importancia (promedio del porcentaje de densidad y área basal) de las especies dominantes en cada comunidad (*Pseudotsuga menziesii* en DF, *Pinus ponderosa* y *P. strobiformis* en PM y *P. discolor* en PE).

El impacto de los incendios y de la precipitación en la estructura de las comunidades de DF y PM en Animas Mountains, se evaluó por comparación del historial de incendios y precipitación y la distribución de edades de *Pseudotsuga menziesii* y *Pinus strobiformis*. En SLA se utilizaron los incendios que afectaron comunidades de *P. ponderosa*, en particular, los registrados en las partes altas (Baisan y Swetnam, 1995; Swetnam y Baisan 1996). Los eventos de precipitación considerados fueron aquellos superiores a 1.1 desviaciones estándar, con relación a la media (Dean, 1988; Grissino-Mayer, 1995).

RESULTADOS

Las correlaciones entre el diámetro normal (DN) y la edad fueron significativas ($p \leq 0.05$) para las especies muestreadas en ambos sistemas montañosos. Con base en las mediciones del DN, en AM el porcentaje de variación en edad (r^2 , el coeficiente de determinación), varió desde 24% ($r^2 = 0.24$) en parcelas de *Pinus discolor* hasta 88% ($r^2 = 0.88$) en los sitios de *Pseudotsuga menziesii*. En la SLA el valor más bajo fue de 22% ($r^2 = 0.22$) para las parcelas de *P. ponderosa*, y el más alto de 83% ($r^2 = 0.83$) en las de *P. discolor*.

En AM, al combinar los datos de los árboles fechados de una sola especie presentes en todas las comunidades, se obtuvo un coeficiente de determinación de $r^2 = 0.34$ para *P. menziesii*, $r^2 = 0.61$ en *Pinus strobiformis* y $r^2 = 0.55$ en *P. discolor*. En el caso de SLA el coeficiente de determinación fue de 0.62, 0.22 y 0.72 para *Pseudotsuga menziesii*, *P. ponderosa* y *P. discolor*, respectivamente.

La densidad de árboles y el área basal no tuvieron diferencias significativas ($p \geq 0.05$) entre comunidades similares para las dos cadenas montañosas estudiadas. La densidad total y el área basal en las comunidades DF fueron $1,203 \pm 387$ individuos ha^{-1} (media \pm desviación estándar) y 45 ± 8.2 $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$; en las PM los valores correspondieron a 866 ± 358 individuos ha^{-1} , con un área basal de 39 ± 12.2 $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$; por último en las PE se registraron 958 ± 281 individuos ha^{-1} y 23.7 ± 7.6 $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$.

Referente a la contribución de las especies dominantes a la abundancia total de árboles por comunidad fue diferente ($p \leq 0.05$) entre cadenas montañosas.

En promedio, *Pseudotsuga menziesii* constituyó 62% del arbolado y 80% del área basal en los sitios DF de Animas Mountains; en cambio para su equivalente en Sierra Los Ajos, los valores fueron de 8% de la densidad y 16% del área basal. El valor de importancia calculado para la comunidad DF fue de 71% en la primera localidad; mientras que en SLA se calculó un 12%. En los sitios de pinos mixtos de AM, *P. strobiformis* estuvo bien representado a diferencia de SLA. Los valores obtenidos para *P. discolor* en el mismo tipo de comunidades fueron de 76% del total de los árboles presentes en AM y 70% del área basal, y sólo 24% de los árboles y 20% del área basal en SLA (cuadros 1 y 2).

Cuadro 1. Composición, densidad, área basal y valores de importancia de las especies arbóreas en los rodales muestreados en la montaña Animas Mountains, Nuevo México, EUA.

Rodal	¹ Comunidad	² Especies	Densidad		³ AB		⁴ VI
			(No. individuos ha ⁻¹)	%	(m ² ha ⁻¹)	%	
Animas Saddle	DF	P. m	600	41	32.9	70	55
		Q. g	480	32	6.4	14	23
		J. d	250	17	6.2	13	15
		P. d	40	3	0.1	0	2
		Q. a	110	7	1.2	3	5
Animas Saddle West	DF	P. m	1400	90	45.2	94	92
		P. s	60	4	1.2	3	4
		Q. g	100	6	1.5	3	4
Animas South	DF	P. m	780	54	36.5	76	65
		Q. g	630	43	10.7	22	33
		P. s	40	3	0.9	2	2
Animas 8565TN		P. m	860	64	43.4	80	72
		Q. g	360	26	6.1	11	19
		P. s	130	10	5.0	9	9
Animas Peak1	PM	P. s	790	61	42.8	81	71
		Q. g	500	39	9.9	19	29
Animas Peak2	PM	P. s	810	94	26.2	88	91
		P. p	20	3	1.9	6	5
		Q. g	30	3	1.8	6	4

continúa...

Cuadro 1, continuación.

Animas Peak3	PM	P. s	370	76	23.7	88	82
		P. p	70	14	3.0	11	13
		Q. g	50	10	0.4	1	5
Animas South Canyon	PM	P. p	260	57	26.9	79	68
		P. s	20	4	1.2	4	4
		Q. h	90	20	1.4	4	12
		J. d	80	17	4.2	12	15
Animas South Pinyon	PE	Q. a	10	2	0.2	1	1
		P. d	760	97	30.2	97	97
Pinyon 7420T	PE	J. d	20	3	0.8	3	3
		P. d	590	77	13.8	66	72
		P. p	10	1	0.5	2	2
Pinyon 4WD	PE	J. d	50	7	4.2	20	13
		Q. a	120	15	2.5	12	13
		P. d	660	73	10.7	67	70
		Q. a	130	14	2.4	15	15
Black Hill Spring SE	PE	Q. h	90	10	1.6	10	10
		J. d	30	3	1.4	8	5
		P. d	600	58	19.0	51	55
		Q. a	70	7	2.9	8	7
		J. d	360	34	15.1	40	37
		Q. h	10	1	0.2	1	1

¹DF = *Pseudotsuga menziesii* / *Quercus gambelii*, PM = Pinos Mixtos, PE = Piñonero / Encino.

²P.s = *Pseudotsuga menziesii*, Q.g = *Quercus gambelii*, J.d = *Juniperus deppeana*, P.d = *Pinus discolor*, Q.a = *Quercus arizonica*, P.s = *Pinus strobiformis*, P.p = *Pinus ponderosa*, Q.h = *Quercus hypoleucoides*. ³AB = Área Basal. ⁴VI = Valor de importancia: (%Densidad + %AB) / 2.

La mayor parte de los árboles de *P. menziesii* en AM se establecieron en tres sitios después de un incendio ocurrido en 1879, en general los individuos cuyo desarrollo era previo a dicho año, no superaron el evento antes mencionado. La misma especie se regeneró en un solo sitio, posteriormente a una conflagración de 1900. El promedio de repoblación de *P. menziesii* sobreviviente a un incendio, pasado un periodo de dos a tres años fue de 20 árboles ha⁻¹, en particular, para los fuegos ocurridos en los años de 1707, 1768, 1801, 1805, 1825, 1857 y 1900. Los sitios de Animas Saddle, Animas Saddle West y Animas South tuvieron poblaciones jóvenes de *P. menziesii* establecidas después del incendio de 1900 (figuras 2a y 2b).

La comunidad de pinos mixtos en AM, estuvo relacionada con la presencia de incendios (figuras 2a y 2b) y en general, el establecimiento de árboles se incrementó después de 1900, lo cual coincide con el inicio de la exclusión

Cuadro 2. Composición, densidad, área basal y valores de importancia de las especies arbóreas en los rodales muestreados de la montaña Sierra los Ajos, Sonora, México.

Rodal	¹ Comunidad	² Especies	Densidad		³ AB		⁴ VI
			(No. individuos ha ⁻¹)	%	(m ² ha ⁻¹)	%	
Puerto Tanano	DF	P. m	20	2	1.0	2	2
		P. p	40	5	4.5	9	7
		P. s	80	11	1.4	3	7
		P. e	360	43	33.3	67	55
		Q. a	110	13	3.7	8	11
		J. d	110	13	3.1	6	9
		A. a	110	13	2.3	5	9
Los Frijolitos	DF	P. m	20	2	1.0	2	2
		P. e	280	21	27.8	56	39
		P. s	10	1	0.2	1	1
		Q. a	1010	75	20.3	40	57
		A. a	10	1	0.5	1	1
Los Ajos Nuevos	DF	P. m	20	2	0.3	1	2
		P. p	560	51	19.8	58	55
		Q. a	130	12	2.4	7	9
		Q. h	340	31	11.3	33	32
		A. a	40	4	0.5	1	2
Cerro las Flores		P. m	120	27	17.9	59	43
		Q. a	100	22	3.7	12	17
		P. e	60	13	3.8	13	13
		Q. g	30	7	0.4	1	4
		J. d	130	29	3.3	11	20
		A. a	10	2	1.3	4	3
Cerro la Nevada	PM	P. p	1370	91	51.6	92	92
		Q. a	140	9	4.7	8	8
Animas Peak2	PM	P. s	810	94	26.2	88	91
		P. p	20	3	1.9	6	5
		Q. g	30	3	1.8	6	4
Animas Peak3	PM	P. s	370	76	23.7	88	82
		P. p	70	14	3.0	11	13
		Q. g	50	10	0.4	1	5

continúa...

Cuadro 2, continuación...

Cerro Nevada Gate	PM	P. p	720	82	26.9	79	81
		P. e	30	3	1.4	4	4
		Q. a	110	13	1.2	4	8
		A. a	20	2	4.2	13	7
Los Jacalitos	PM	P. p	150	32	24.3	52	42
		P. e	90	19	14.5	31	25
		Q. a	230	49	8.3	18	33
Las Borregas	PM	P. p	690	68	26.3	77	73
		Q. a	40	4	4.2	12	8
		J. d	270	27	3.3	10	18
		Q. e	10	1	0.4	1	1
Las Cabañas	PE	P. d	30	2	0.2	1	2
		P. l	250	16	12.3	54	35
		Q. a	90	6	1.2	5	6
		Q. e	1210	76	9.3	40	27
La Puerta	PE	P. d	110	11	3.0	14	13
		Q. a	500	49	12.9	64	57
		Q. e	300	29	2.1	10	19
		J. d	110	11	2.1	10	11
El Arroyo	PE	P. d	150	22	4.0	29	26
		Q. a	230	34	4.6	33	34
		J. d	240	35	3.9	28	32
		Q. e	60	9	1.3	10	8
La Sal	PE	P. d	510	59	8.4	34	47
		Q. a	230	26	9.1	37	31
		J. d	130	15	6.9	29	22

¹DF = *Pseudotsuga menziesii* / *Quercus gambelii*, PM = Pinos Mixtos, PE = Piñonero / Encino, ²P. s = *Pseudotsuga menziesii*, Q. g = *Quercus gambelii*, J. d = *Juniperus deppeana*, P. d = *Pinus discolor*, Q. a = *Quercus arizonica*, P. s = *Pinus strobiformis*, P. p = *Pinus ponderosa*, P. e = *Pinus engelmannii*, P. l = *Pinus leiophylla*, Q. h = *Quercus hypoleucoides*, Q. e = *Quercus emoryi*, ³AB = Área Basal; ⁴VI = Valor de importancia; (%Densidad + %AB) / 2.

de incendios en el suroeste de los Estados Unidos de América, seguido y favorecido por un periodo con precipitación superior a la normal. El promedio de árboles establecidos en forma ulterior a los incendios de 1768, 1801, 1863 y 1900 se fue de 15 árboles ha⁻¹; para algunos sitios el mayor valor se presentó después de 1900.

En contraste, con los sitios donde predomina *P. strobiformis* en AM, la comunidad de pinos mixtos en SLA estuvo dominada por unos cuantos individuos

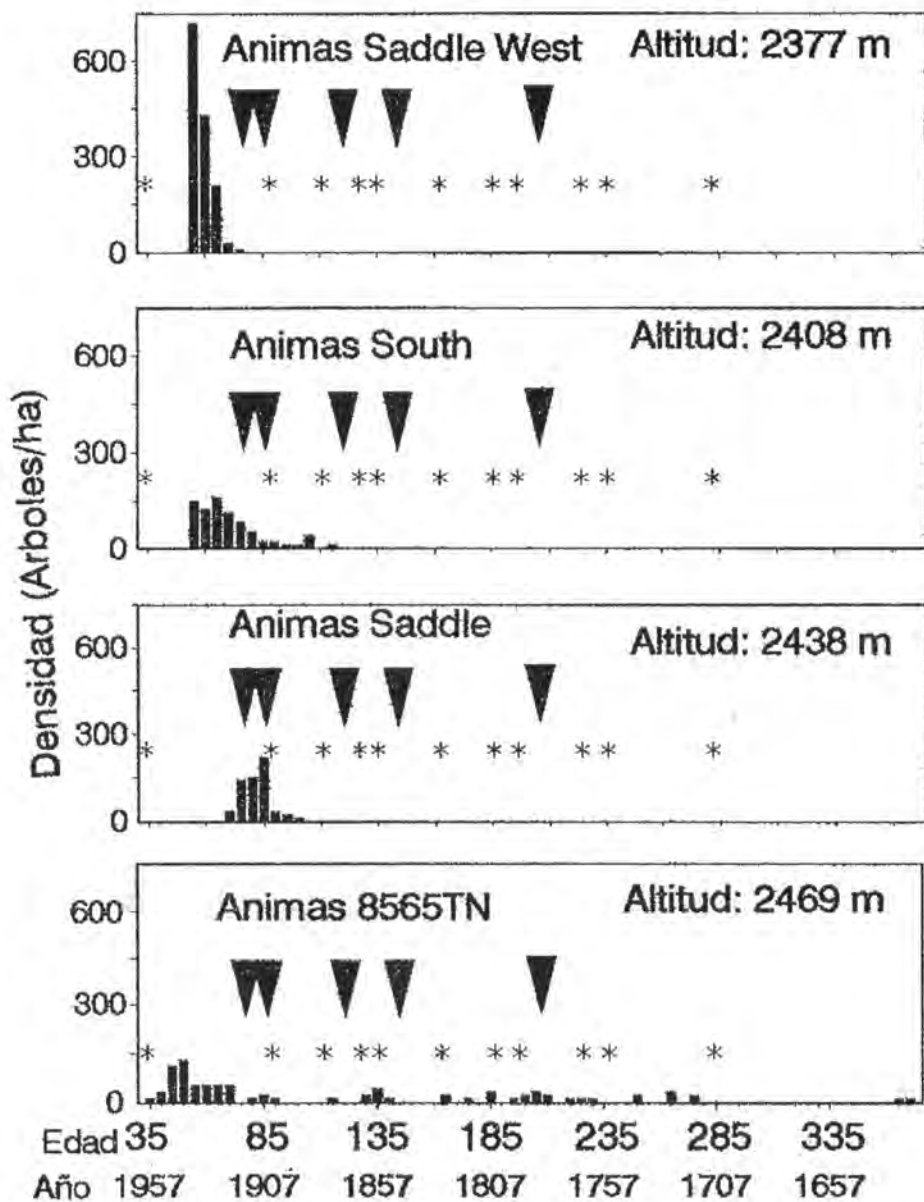


Figura 2a. Relación entre fecha de incendios, inicio de periodos con precipitación superior a la normal y establecimiento de *Pseudotsuga menziesii* y *Pinus strobiformis* en Animas Mountains, Nuevo México.

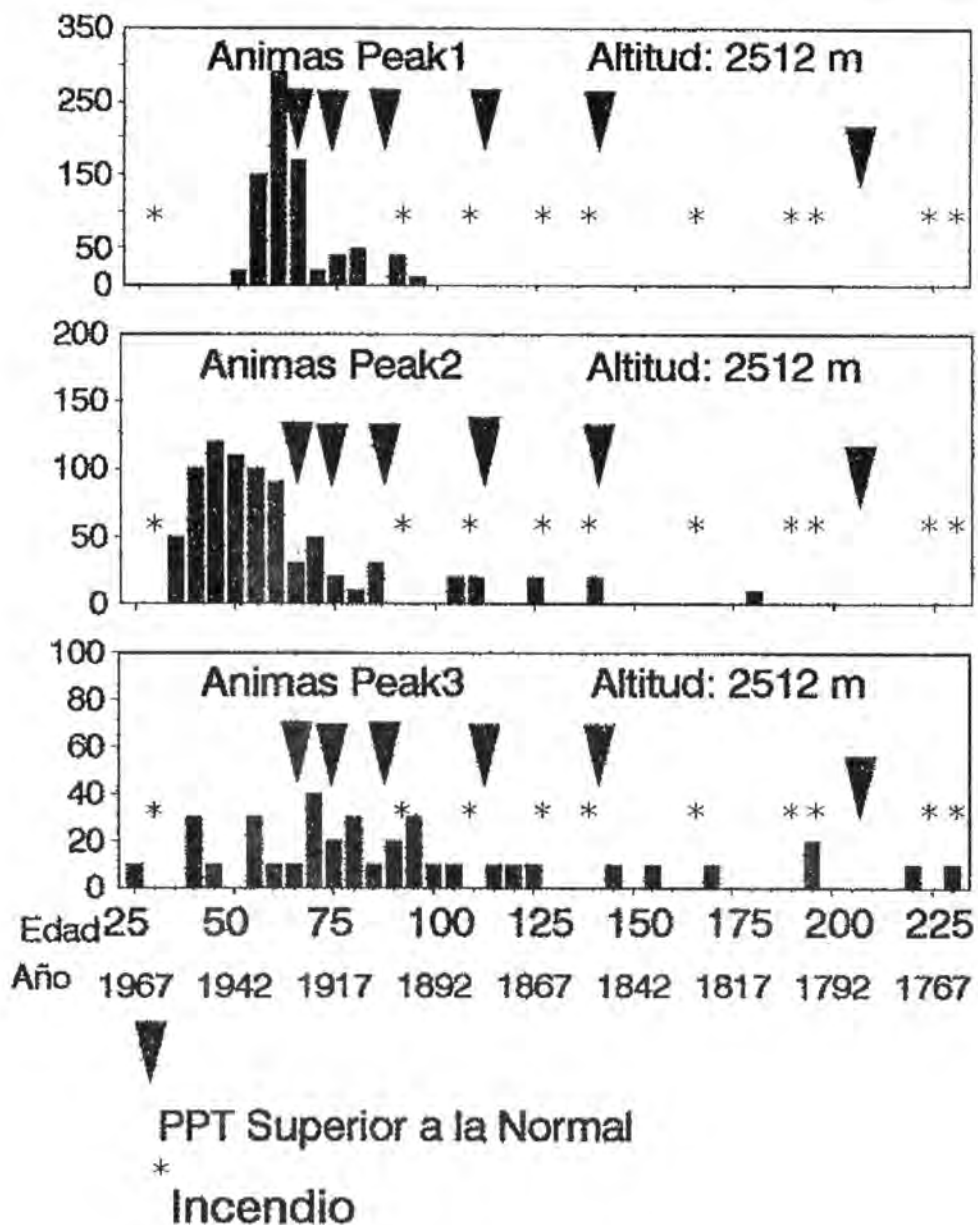


Figura 2b. Relación entre fecha de incendios, inicio de periodos con precipitación superior a la normal y establecimiento de *Pseudotsuga menziesii* y *Pinus strobiformis* en Animas Mountains, Nuevo México.

relativamente viejos de *P. ponderosa* y la mayoría del arbolado tenía menos de 90 años de edad. No se evidenció una relación estrecha entre el establecimiento de árboles y la cronología de los incendios para algunos parajes de la SLA (Los Jacalitos y Cerro Nevada Gate), sobre todo antes de 1900 (Figura 3).

Aunque el sitio Las Borregas, mostró un promedio de establecimiento de 40 árboles ha^{-1} , en un periodo de uno a tres años posterior a 10 conflagraciones (1867, 1876, 1897, 1916, 1925, 1928, 1936, 1954, 1964 y 1972). Se observaron variaciones en el número de árboles por sitio, en particular, después del fuego de 1916. En la SLA muchos individuos sobrevivieron varios eventos de este tipo, lo que parece ser consecuencia de la alta frecuencia y baja intensidad de los mismos (Figura 3).

Las distribuciones diamétricas para comunidades de DF en sitios con características fisiográficas similares (altitud, exposición y pendiente) difirió entre cadenas montañosas. En el sitio Animas 8565TN de AM (altitud 2,469 m; exposición norte y pendiente 40°) predominaron individuos de la especie *P. menziesii* con DN entre 5 a 50 cm; la densidad fue superior a 200 árboles ha^{-1} en las clases diamétricas de 5 a 10 cm (Figura 4a); los taxa codominantes fueron: *P. strobiformis*, *Quercus gambelii* y *Q. arizonica*. A diferencia del sitio Cerro las Flores en SLA (altitud 2,460 m, exposición norte y pendiente 39°), donde *P. menziesii* fue dominante, pero con una densidad menor en cualquiera clase diamétrica; también con densidades bajas se identificaron *Pinus engelmannii*, *Juniperus deppeana*, *Q. arizonica* y *Arbutus arizonica*.

Así mismo, en las comunidades de pinos mixtos con fisiografía similar presentaron diferencias entre los sistemas montañosos. En Animas South Canyon de AM (altitud 2,286 m, exposición noreste y pendiente 12°) se identificaron cinco especies arbóreas, de ellas *P. ponderosa* fue la dominante en las clases diamétricas de 30 a 55 cm; en tanto que, *Quercus hypoleucoides*, *J. deppeana* y *P. strobiformis* prevalecieron en las clases diamétricas inferiores. *P. ponderosa* fue el taxon más abundante en todas las clases diamétricas (5 a 55 cm) presentes en el Cerro Nevada Gate (altitud 2,200 m, exposición suroeste y pendiente 12°); y en cantidades menores se registraron diversas especies de encinos (*Quercus* spp.), *P. engelmannii* y *A. arizonica* (Figura 4b).

Sitios fisiográficamente semejantes en ambas cadenas montañosas con comunidades de *P. discolor* mostraron distribuciones diamétricas muy parecidas. En Pinyon 7420TN ubicado en AM (altitud 2,195 m, exposición sureste y pendiente 15°), se obtuvo una alta densidad de árboles de 80 y 400 árboles ha^{-1} para las clases diamétricas 5 y 10 cm, respectivamente. De forma similar, el sitio La Sal en SLA (altitud 2,200 m, exposición suroeste y pendiente 18°), se caracterizó por altas densidades en las clases diamétricas de 5 a 15 cm, las especies asociadas en ambos sitios incluyeron *Q. arizonica* y *J. deppeana* (figuras 4a y 4b).

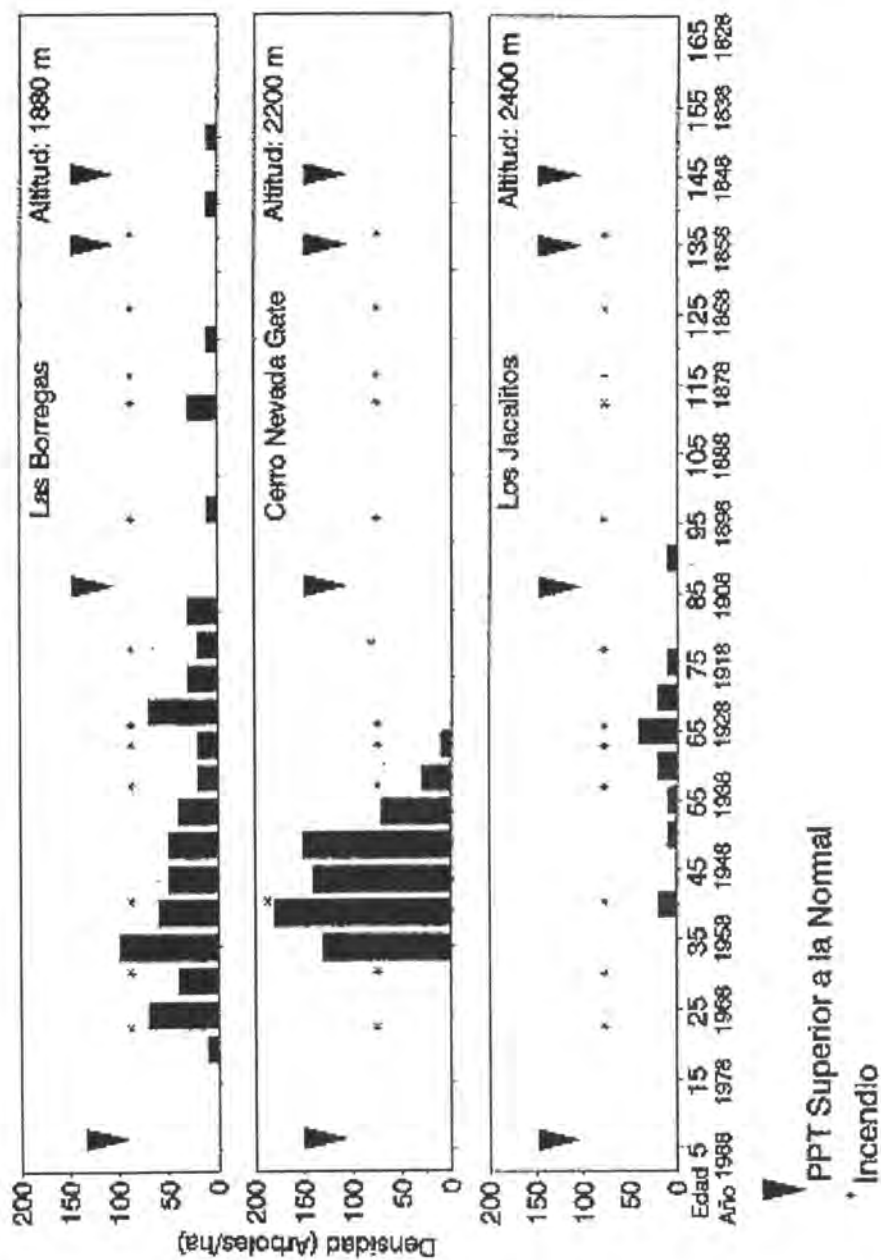


Figura 3. Relación entre fecha de incendios, inicio de periodos con precipitación superior a la normal y establecimiento de pino ponderosa en Sierra los Ajos, Sonora, México.

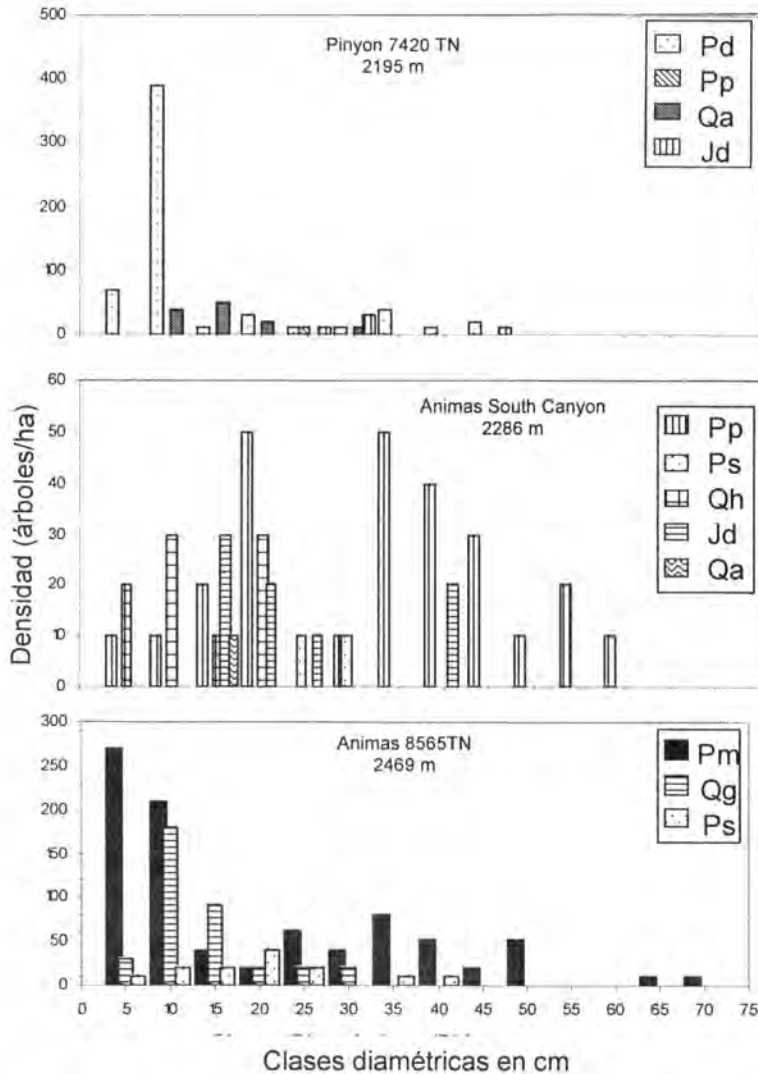


Figura 4a. Distribución de clases diamétricas de comunidades fisiográficamente similares en Animas Mountains, Nuevo México. *Pinus discolor* (Pd), *Pinus ponderosa* (Pp), *Quercus arizonica* (Qa), *Juniperus deppeana* (Jd), *Pinus strobiformis* (Ps), *Quercus hypoleucoides* (Qh), *Pseudotsuga menziesii* (Pm), *Quercus gambelii* (Qg), *Pinus engelmannii* (Pe), *Arbutus arizonica* (Aa).

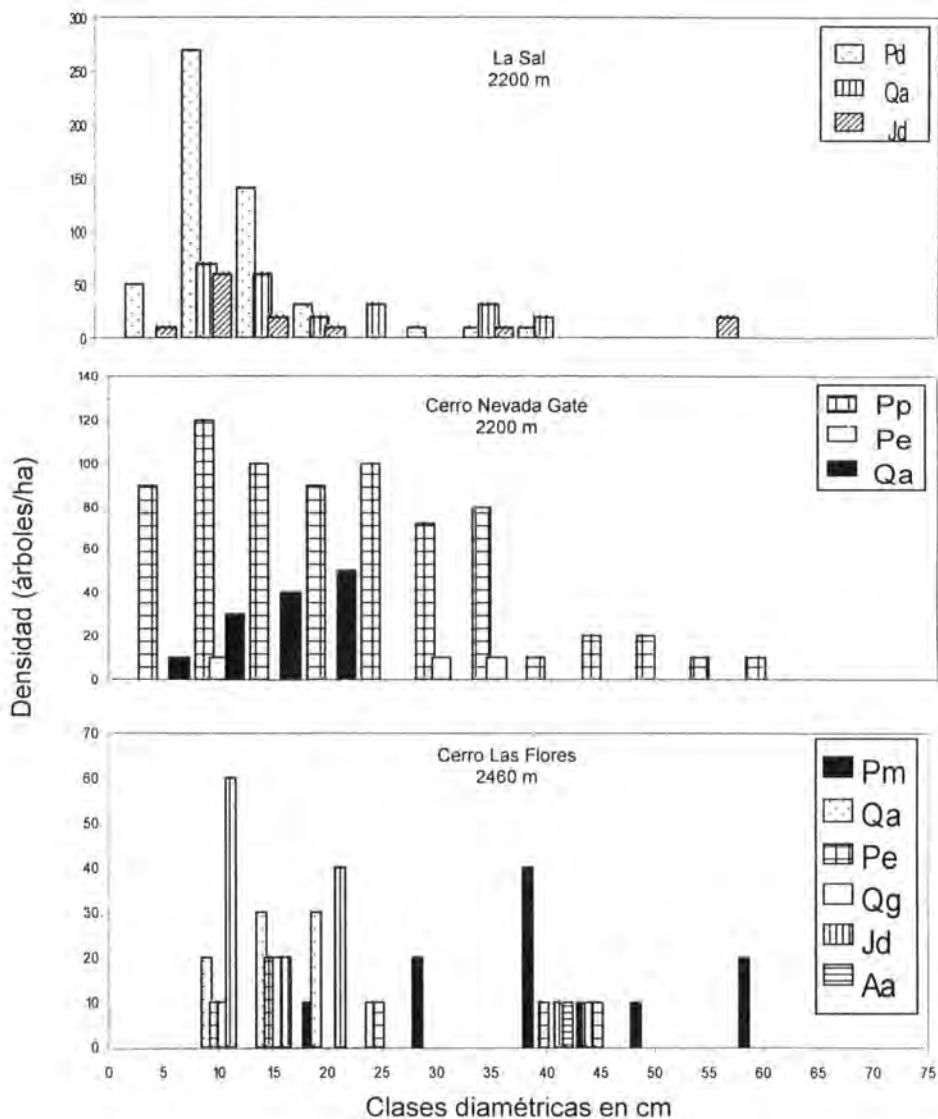


Figura 4b. Distribución de clases diamétricas de comunidades fisiográficamente similares en Sierra los Ajos, Sonora. *Pinus discolor* (Pd), *Pinus ponderosa* (Pp), *Quercus arizonica* (Qa), *Juniperus deppeana* (Jd), *Pinus strobiformis* (Ps), *Quercus hypoleucoides* (Qh), *Pseudotsuga menziesii* (Pm), *Quercus gambelii* (Qg), *Pinus engelmannii* (Pe), *Arbutus arizonica* (Aa).

La estructura de edades de la comunidad DF difirió de manera considerable entre los sistemas montañosos. Por ejemplo, *P. menziesii* presentó una gama de edades en el sitio Animas 8565TN, donde las especies de *P. menziesii*, *Q. gambelii* y *P. strobiformis*, mostraron alto establecimiento en las clases de edad de 35 y 90 años. En contraste, los árboles de *P. engelmannii* en el sitio Cerro las Flores de SLA, tuvieron sus clases dominantes de los 85 a 165 años (figuras 5a y 5b); varios ejemplares de *P. engelmannii* se desarrollaron en el sitio durante los últimos 50 años.

Los sitios con *P. ponderosa*, presentan la misma tendencia en su estructura de edades que la observada para la distribución diamétrica. En el paraje Animas South Canyon la regeneración de *P. ponderosa* fue relativamente continua para el rango de clases entre 85 a 235 años y declinó de manera notoria en los últimos 85 años. *P. strobiformis* estuvo representado en las clases de 100 a 120 años. En el sitio Cerro Nevada Gate, se identificó una población joven de *P. ponderosa* (40 a 70 años) con algunos ejemplares de *P. engelmannii* (40 a 45 años) (figuras 5a y 5b).

En el sitio Pinyon 7420TN la repoblación de *P. discolor*, tuvo lugar de los 35 a 85 años. Sin embargo, su mayor aporte se registró en los últimos 150 años, con el máximo número de individuos concentrado en las clases de 35 a 90 años. El sitio La Sal de SLA en las clases 20 a 60 años se observó la dominancia de *P. discolor*. La estructura de edades de este sitio fue cualitativamente similar a la observada en Pinyon 7420TN, con unos cuantos individuos muy viejos y mucho arbolado joven. Aunque la principal regeneración de *P. discolor* ocurrió en una época más temprana en el sitio La Sal, que en Pinyon 7420TN (figuras 5a y 5b).

DISCUSIÓN

No obstante que en un mismo sistema montañoso las distribuciones diamétricas y de edades para cada especie fueron muy variables, se observó que, *Pseudotsuga menziesii* mantiene o incrementa su predominio en algunos sitios de Animas Mountains. Las diferencias en la frecuencia de incendios entre sitios, quizás hayan afectado de manera distinta el establecimiento de los árboles. Por ejemplo, en el sitio Animas 8565TN, *P. menziesii* permaneció en baja proporción, en especial antes de 1900, como respuesta a los incendios frecuentes (Baisan y Swetnam, 1995; Swetnam y Baisan, 1996). Sin embargo, en la mayoría de las comunidades de DF, el número de individuos de *P. menziesii* se incrementó después de 1900, lo que provocó un aumento en la densidad de árboles jóvenes.

En contraste, las comunidades de DF en la SLA, afectadas por el mismo tipo de eventos, pero más frecuentes y por el aprovechamiento forestal, tiene en la actualidad como especie dominante en el estrato arbóreo a *P. menziesii*; en tanto que, en el sotobosque sobresale *Pinus engelmannii*, por lo que esta última

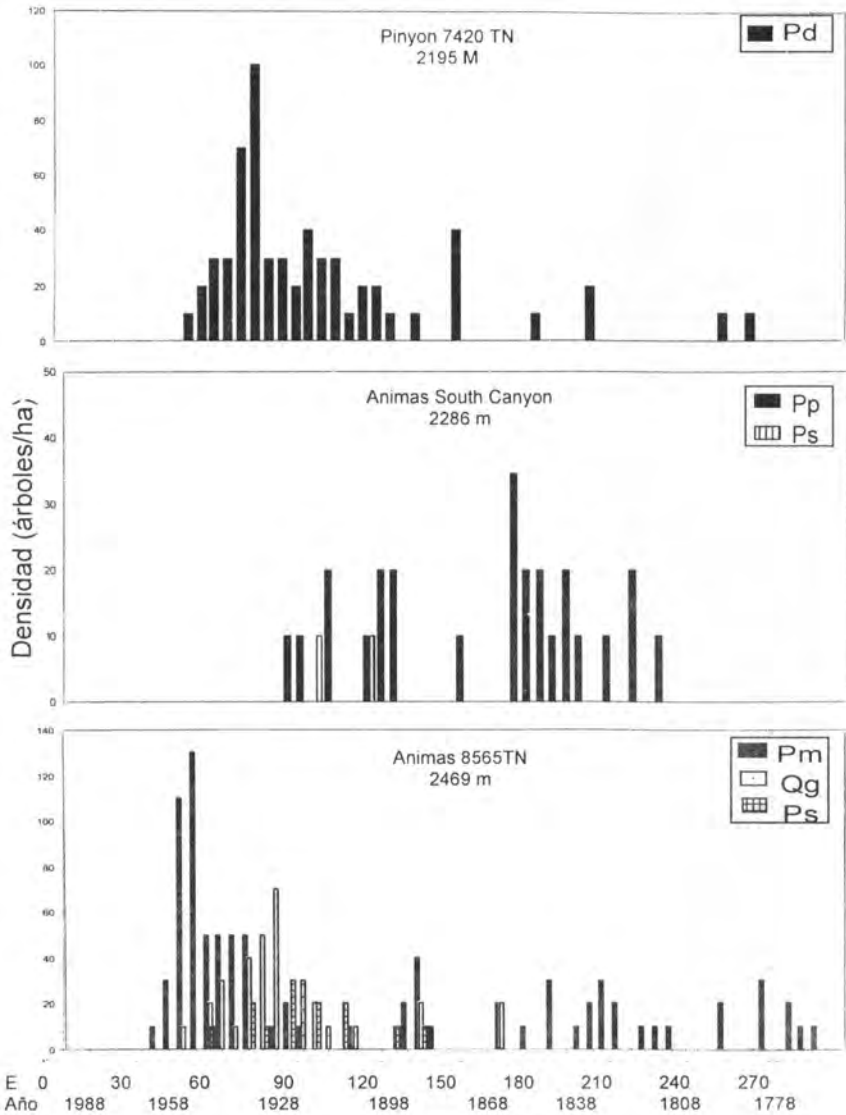


Figura 5a. Distribución de frecuencia de edades de comunidades fisiográficamente similares en Animas Mountains, Nuevo México. *Pinus discolor* (Pd), *Pinus ponderosa* (Pp), *Pinus strobiformis* (Ps), *Quercus gambelii* (Qg), *Pinus engelmannii* (Pe).

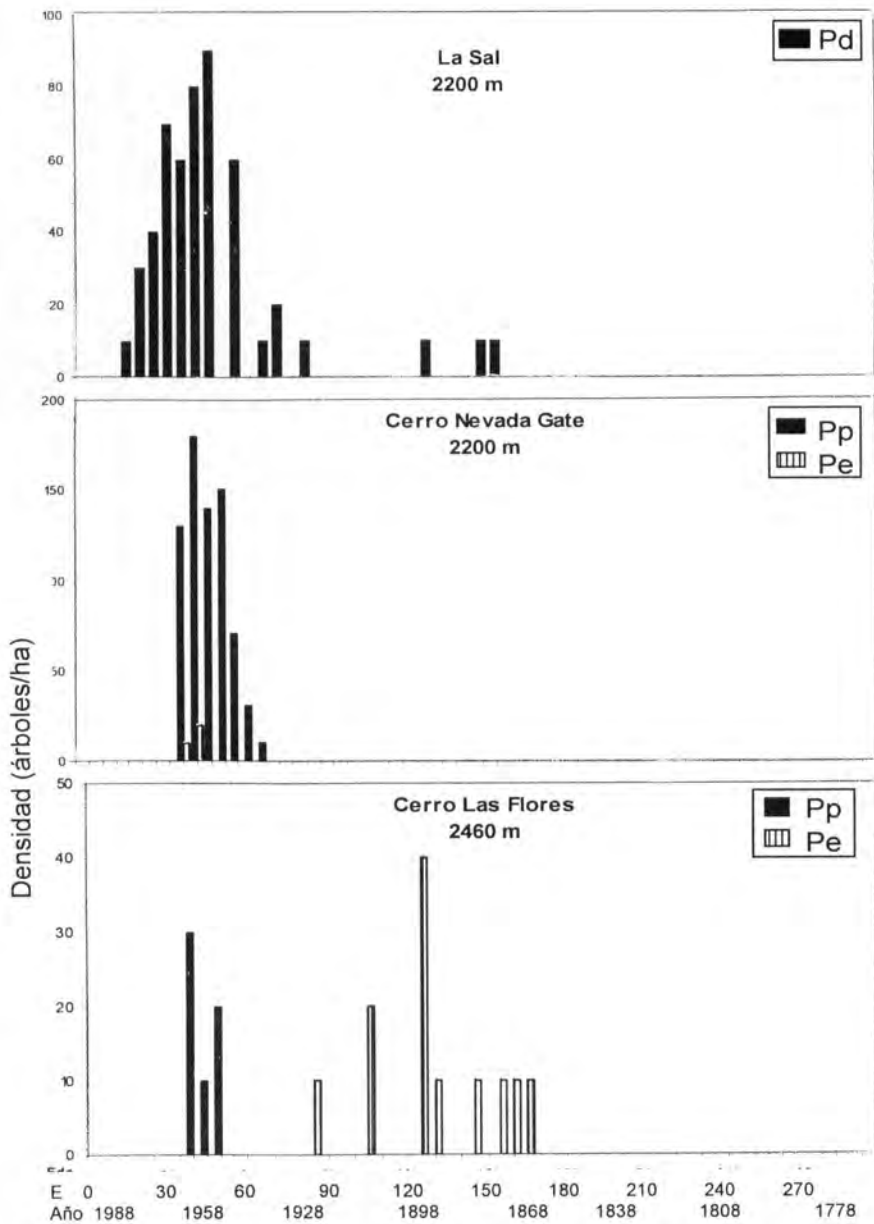


Figura 5b. Distribución de frecuencia de edades de comunidades fisiográficamente similares en Sierra los Ajos, Sonora. *Pinus discolor* (Pd), *Pinus ponderosa* (Pp), *Pinus strobiformis* (Ps), *Quercus gambelii* (Qg), *Pinus engelmannii* (Pe).

podría ser, en el futuro, el taxon predominante en estos parajes. *P. engelmannii* es una especie muy relacionada a *P. ponderosa*, con adaptaciones al fuego, lo cual le permite sobrevivir incendios de baja intensidad (Elmore y Janish, 1976; Peloquin, 1984; Barton 1991, 1993). Así, la alta frecuencia de incendios en SLA y la extracción de madera en ciertos sitios, probablemente, han mantenido la densidad de *P. menziesii* a nivel bajo y favorecido el establecimiento de *P. engelmannii*, especie intolerante a la sombra.

La comunidad de pinos mixtos en AM poco a poco ha sido dominada por *P. strobiformis* y *P. menziesii*; en cambio, en SLA continúa siendo *P. ponderosa* la especie más importante. Este patrón es consistente con la interpretación de la dinámica de comunidades bióticas en las Montañas Rocallosas de los Estados Unidos. El incremento en el pastoreo y la reducción en la incidencia de incendios después de 1880, al parecer provocó un cambio en la composición florística, que se tradujo en una reducción en la importancia de *P. ponderosa* y en el incremento de taxa con afinidades umbrófilas, pero menos resistentes al fuego como son: *P. strobiformis* y *P. menziesii* (Cooper, 1960; Dickman, 1978; Peet, 1981; Savage, 1991; Arno *et al.*, 1995; Fulé *et al.*, 1995).

La composición botánica antes y después de 1880 pudo haber sido semejante, con tasas de mortalidad producidas por el fuego muy parecidas, aunque esto último es poco probable, si se considera la gran variación en supervivencia de las especies después de un incendio (Wright y Bailey, 1982); no obstante, los análisis estructurales estáticos de comunidades, difícilmente pueden diferenciar entre explicaciones competitivas de cambios en el tiempo (Whipple y Dix, 1979; Lorimer, 1980, 1985; Aplet *et al.*, 1988; Veblen, 1992; Johnson *et al.*, 1994). Así mismo, en el suroeste de los Estados Unidos de América y en el noroeste de México, donde los ecosistemas forestales están sujetos a incendios frecuentes, la tasa de mortalidad de los árboles a través del tiempo es casi imposible de estimar, debido a la remoción de árboles muertos.

Un programa con pocos recursos para la supresión de incendios en México pudo haber contribuido a la continua dominancia de *P. ponderosa* en la SLA, situación que sin duda ha sido favorecida por los aprovechamientos forestales. Diferentes usos del suelo, también han influenciado la distribución de edades con rodales de pinos dominados por arbolado joven en las montañas de México y una variedad de clases de edad en las montañas de Estados Unidos. Este comportamiento no se puede generalizar a toda la SLA, ya que por ejemplo, es común observar en esta cadena montañosa, que rodales de pinos mixtos, con la presencia de *P. engelmannii*, *P. chihuahuana* var. *leiophylla*, *Quercus hypoleucoides*, *Q. arizonica* y *A. arizonica*, son destruidos por incendios de alta intensidad para luego son sustituidos con etapas sucesionales de encino procedente de rebrote.

La comunidad de piñonero-encino en AM estuvo dominada principalmente por *P. discolor*; en comparación, la misma comunidad en SLA se caracterizó por bajas densidades de dicha especie. Además, *P. discolor* es muy susceptible al fuego, sobre todo en su etapa juvenil (Arnold *et al.*, 1964; Wright y Bailey, 1982; Barton, 1993 *op cit.*). La supresión de incendios, el sobrepastoreo y las adecuadas condiciones de precipitación, quizás favorecieron el incremento en las densidades encontradas en AM.

Por otra parte, se observó que una precipitación superior a la normal en AM, ocurrió en los periodos 1905-1908, 1916-1922 y 1926-1932; los que a su vez corresponden con un aumento significativo en el establecimiento de *P. discolor*. Al contrario, la presencia continua de incendios en la SLA y una aparente menor intensidad de pastoreo, pudo haber mantenido una baja regeneración de *P. discolor* hasta el año de 1940; su incremento después de 1950, quizás obedece a un pastoreo más intenso, menor incidencia de incendios y mayor precipitación.

Aunque la extracción de madera en la SLA se concentró en *P. ponderosa* y *Pseudotsuga menziesii*, los piñoneros pudieron ser aprovechados en apoyo a las actividades mineras de la región. La comunidad PE se ubica más cerca y accesible a las localidades mineras de Cananea y Nacozari, lo que explicaría la ausencia de árboles adultos. Algunas investigaciones recientes han atribuido las variaciones en el tiempo de la composición de especies a procesos no estáticos (Sprugel, 1991; Campbell y Andrews, 1993), lo que implica que la respuesta de una comunidad a un régimen de disturbio no sea predecible.

CONCLUSIONES

La mínima variabilidad detectada en la estructura de las comunidades de una cadena montañosa, donde la diversidad de especies fue similar entre sitios, parece indicar que el control que ejerce el clima es mediado por diferencias en el uso del suelo. De esta manera, la estructura de un sitio en esas montañas, puede explicarse o predecirse con razonable confiabilidad mediante el conocimiento de las especies, su comportamiento fenológico, el clima prevaleciente y los patrones de uso del suelo.

El historial de incendios y de uso del suelo en AM no es el típico de la región fronteriza de los Estados Unidos, debido a que no hubo importantes aprovechamientos forestales en dicha localidad y en consecuencia la eliminación de incendios no ha sido muy efectiva o consistente. Algo similar ocurre con la SLA, ya que por su extensión y variabilidad en vegetación, suelo, clima y de uso del suelo, el comportamiento de las comunidades ahí presentes, no puede generalizarse a todo el macizo montañoso.

El constante cambio de uso del suelo limita las investigaciones como la aquí

presentada, las cuales son fundamentales para entender el comportamiento a largo plazo de las comunidades forestales del norte de México. Por lo tanto, se recomienda la realización de estudios comparativos adicionales, que involucren otras montañas para obtener una comparación más completa de la influencia del fuego y el uso del suelo en la dinámica de las comunidades forestales de la región.

REFERENCIAS

- Aponte M., B. 1974. Estratigrafía del Paleozoico (Cámbrico-Pensilvánico) del centro de Sonora. Tesis profesional. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura. Sonora, México. 125 p.
- Aplet G., H., R. D. Laven and F. W. Smith. 1988. Patterns of community dynamics in Colorado Engelmann spruce-subalpine fir forests. *Ecology* 69:312-319.
- Applequist M., B. 1958. A simple pith locator for use with off-center increment cores. *Journal of Forestry* 56:141.
- Archer, E. and F. E. Smeins. 1991. Ecosystem-level processes. *In*: Heitschmidt, R. K. and J.W. Stuth (editors). *Grazing management: an ecological perspective*. Timber Press. Portland, Oregon. pp. 109-139.
- Arno S., F., J. H. Scott and M. G. Hartwell. 1995. Age-class structure of old growth ponderosa pine/Douglas-fir stands and its relationship to fire history. USDA, Forest Service, Research Paper INT-RP-481. Ogden, Utah. 25 p.
- Arnold J., F., D. A. Jameson and E. H. Reid. 1964. The pinyon-juniper type of Arizona: effects of grazing, fire, and tree control. Production Research Report No. 84. Washington, D. C. 28 p.
- Arras M., M. 1979. Geohydrological investigation in the Animas Valley, Hidalgo County, New Mexico. M.S. Thesis, New Mexico State University, Las Cruces. 57 p.
- Baisan C., B. and T. W. Swetnam. 1995. Historical fire occurrence in remote mountains of southwestern New Mexico and northern Mexico. *In*: Brown J., K., R. W. Mutch, C. W. Spoon, and R. H. Wakimoto (technical coordinators). *Proceedings of the symposium on fire in wilderness and park management*. USDA Forest Service. General Technical Report INT-GTR-320. Ogden, Utah. pp. 153-156.
- Barton A., M. 1991. Factors controlling the elevational positions of pines in the Chiricahua Mountains, Arizona: drought, competition, and fire. Ph. D. Dissertation. University of Michigan, In Arbor. 162 p.
- Barton A., M. 1993. Factors controlling plant distributions: drought, competition, and fire in montane pines in Arizona. *Ecological Monographs* 63:367-397.
- Brown D., E. 1982. Madrean evergreen woodland. *Desert Plants* 4:59-65.
- Campbell I., D. and J. H. Andrews. 1993. Forest equilibrium caused by rapid little ice age cooling. *Nature* 366:336-338.

- Collins S., L., S. M. Glenn and D. W. Roberts. 1993. The hierarchical continuum concept. *Journal of Vegetation Science* 4:149-156.
- Cooper C., F. 1960. Changes in vegetation, structure and growth of ponderosa pine forests since white settlement. *Ecological Monographs* 30:129-164.
- Dean J., S. 1988. Dendrochronology and paleoenvironmental reconstruction of the Colorado Plateaus. *In*: Gummerman, G.J. (editor). *The Anasazi in a changing environment*. Cambridge University Press. New York, NY. pp. 119-167.
- Dickman, A. 1978. Reduced fire frequency changes species composition of a ponderosa pine stand. *Journal of Forestry* 76:24-25.
- Dieterich J., H. 1983. Historia de los incendios forestales en la Sierra de los Ajos, Sonora. Nota Técnica No. 6. Centro de Investigaciones Forestales del Norte, INIF. PR-04. Chihuahua, Chih. 9 p.
- Elmore H., F. and J. R. Janish. 1976. Shrubs and trees of the southwest uplands. Southwest Parks and Monuments Associations. Tucson, Arizona. 214 p.
- Fishbein M., R. Felger and F. Garza-Salazar. 1995. Another jewel in the crown: a report on the flora of the Sierra de los Ajos, Sonora, México. *In*: DeBano L., F., P. F. Folliott, A. Ortega-Rubio, G. J. Gottfried, H. R. Hamre and C. B. Edminster (technical coordinators). *Proceedings of the symposium on biodiversity and management of the Madrean Archipelago: the sky islands of the southwestern United States and northern Mexico*. USDA Forest Service. General Technical Report RM-GTR-264, Fort Collins, Colorado. pp. 126-134.
- Fritts H., C. 1976. *Tree rings and climate*. Academic Press, New York, NY. 567 p.
- Fulé P., Z., M. M. Moore and W. W. Covington. 1995. Changes in ponderosa pine-Gambel oak forest structure following fire regime disruption in northern Arizona: Camp Navajo old-growth forest study. Final Report, Northern Arizona University, Flagstaff, Arizona. 49 p.
- Garza-Salazar, F. 1993. Sistema de áreas naturales protegidas del estado de Sonora (SANPES). Gobierno del estado de Sonora, Secretaría de Infraestructura Urbana y Ecología, Centro Ecológico de Sonora. Sonora, México. 97 p.
- Grissino-Mayer, H. D. 1995. Tree-ring reconstructions of climate and fire history at El Malpais National Monument, New Mexico. Ph.D. Dissertation. The University of Arizona, Tucson. 407 p.
- Harnnes V., L. and C. H. Barber. 1964. Cotton in Mexico. United States Department of Agriculture, Foreign Agriculture Service, FAS-M 163. Washington, D. C. 54 p.
- Hastings J., R. and R. M. Turner. 1965. *The changing mile*. University of Arizona Press, Tucson. 317 p.
- Hett J., M. and O. L. Loucks. 1976. Age structure models of balsam fir and eastern hemlock. *Journal of Ecology* 64:1029-1044.

- Holmes R., L. 1994. Dendrochronology Program Library, Tucson, AZ. University of Arizona, Laboratory of Tree-Ring Research. 51 p.
- Hubbard J., P. 1977. A biological inventory of the Animas Mountains, Hidalgo County, New Mexico. New Mexico Department of Game and Fish Endangered Species Program. 56 p.
- Johnson E., A., K. Miyanishi and H. Kleb. 1994. The hazards of interpretation of static age structure as shown by stand reconstructions in a *Pinus contorta-Picea engelmannii* forest. *Journal of Ecology* 82:923-931.
- Lorimer C., G. 1980. Age structure and disturbance history of a southern Appalachian virgin forest. *Ecology* 61:1169-1184.
- Lorimer C., G. 1985. Methodological considerations in the analysis of forest disturbance history. *Canadian Journal of Forest Research* 15:200-213.
- Martin P., S. 1963. The last 10,000 years. University of Arizona Press. Tucson. 87 p.
- Niering, W. A. and C. H. Lowe. 1984. Vegetation of the Santa Catalina Mountains: community types and dynamics. *Vegetatio* 58:3-28.
- Pace C., P and D. E. Brown. 1982. Rocky Mountain (Petrean) and Madrean montane conifer forests. *Desert Plants* 4:43-51.
- Peet R., K. 1981. Forest vegetation of the Colorado Front Range: composition and dynamics. *Vegetation* 45:3-75.
- Peet R., K. 1988. Forests of the Rocky Mountains. In: Barbour, M. G. and W. D. Willings (editors). *North American terrestrial vegetation*. Cambridge University Press, New York, NY. pp. 63-101.
- Peloquin R., L. 1984. The identification of three species hybrids in the ponderosa pine complex. *Southwestern Naturalist* 29:115-122.
- Robinson W., J. and R. Evans. 1980. A microcomputer-based tree-ring measurements system. *Tree-Ring Bulletin* 40: 59-64.
- Savage, M. 1991. Structural dynamics of a southwestern pine forest under chronic human influence. *Annals of the Association of American Geographers* 81:271-289.
- Screuder H., T., T. G. Gregoire and G. B. Wood. 1993. Sampling methods for multiresource forest inventory. John Wiley & Sons, New York. 453 p.
- Soil Conservation Service. 1973. Soil survey of Hidalgo County, New Mexico. United States Government Printing Office, Washington, D. C. 90 p.
- Sprugel D., G. 1991. Disturbance, equilibrium, and environmental variability: what is "natural" vegetation in a changing environment?. *Biological Conservation* 58:1-18.
- Stokes M., A. and T. L. Smiley. 1968. An introduction to tree-ring dating. The University of Chicago Press, Chicago. 73 p.
- Swetnam T., W., M. A. Thompson and E. K. Sutherland. 1985. Using dendrochronology to measure radial growth of defoliated trees. USDA Forest Service, Agricultural Handbook 639. 39 p.

- Swetnam T., W. and C. H. Baisan. 1996. Fire histories of montane forests in the Madrean Borderlands. *In*: Folliott P., F., L. F. DeBano, M. B. Baker, Jr., G. J. Gottfried, G. Solís-Garza, C. B. Edminster, D. G. Neary, L. S. Allen, and R. H. Hamre (technical coordinators). Proceedings of the effects of fire on Madrean Province ecosystems symposium, Tucson, Arizona. USDA Forest Service, General Technical Report RM-GTR-289. Fort Collins, Colorado, US. pp. 15-36.
- Tonne, P., A. Cato and G. Babb. 1992. The natural and historic role of fire on the Gray Ranch, Hidalgo County, New Mexico. Unpublished report on file with the Nature Conservancy. 44 p.
- Veblen T., T. 1992. Regeneration dynamics. *In*: Glenn-Lewin, D. C., R. K. Peet and T. T. Veblen (editors). Plant succession: theory and prediction. Chapman & Hall, London. pp. 153-187.
- Wagner W., L. 1977. Floristic affinities of Animas Mountains, southwestern New Mexico. M.S. Thesis. University of New Mexico, Albuquerque. 180 p.
- West R., C. 1993. Sonora: its geographical personality. University of Texas Press. Austin. 191 p.
- Westoby M., B. Walker and I. Noy-Meir. 1989. Opportunistic management for rangelands not at equilibrium. *Journal of Range Management* 42:266-274.
- Whipple S., A. and R. L. Dix. 1979. Age structure of successional dynamics of a Colorado subalpine forest. *Midland Naturalist* 101:142-157.
- Wilson J., B. and J. Watkins. 1994. Guild and assembly rules in lawn communities. *Journal of Vegetation Science* 5:591-600.
- Wright H., A. and A. W. Bailey. 1982. Fire ecology. John Wiley & Sons, New York, NY. 501 p.

MAQUINADO DE DOS ESPECIES DE ENCINO (*Quercus affinis* y *Q. crassifolia*) DEL ESTADO DE GUANAJUATO

Rogelio Flores Velázquez¹, Martha Elena Fuentes López¹
y Juan Quintanar Olguin¹

RESUMEN

Se evaluó el comportamiento al maquinado de la madera de *Quercus affinis* y *Q. crassifolia* provenientes del estado de Guanajuato, en las operaciones de cepillado, torneado, barrenado, moldurado y lijado. Los ensayos se realizaron de acuerdo con la norma ASTM D 1666-87, efectuando modificaciones a los ensayos de cepillado y lijado. *Q. affinis* presentó excelentes resultados en cepillado con los ángulos de corte de 15, 20 y 25° para los dos números de marcas de cuchilla probados (29.3 y 16.9). Para el ángulo de 30° los resultados fueron buenos sólo cuando se utilizó el mayor número de marcas de cuchilla por cm. *Q. crassifolia* reportó excelentes resultados con los ángulos de 15 y 20°, con el ángulo de 25° sólo se tuvieron resultados excelentes utilizando 29.3 marcas de cuchilla por cm. Para el ángulo de corte de 30° los resultados fueron regulares y pobres con 29.3 y 16.9 marcas de cuchilla por cm, respectivamente. Las dos especies presentaron un buen torneado a contenidos de humedad de 16 y 8%. El barrenado de ambas especies fue excelente con velocidades de giro de 1300 y 2460 rpm. El moldurado de las especies fue regular, la desclasificación de las probetas se debió al grano astillado producido al hacer el cambio de corte transversal al longitudinal. Las dos especies muestran un excelente lijado.

Palabras Clave: Barrenado, cepillado, encino, lijado, maquinado, torneado.

ABSTRACT

Wood machining behaviour in planing, boring, sanding and turning operations was assessed in wood from trees of *Quercus affinis* and *Q. crassifolia* collected in the state of Guanajuato, Mexico. These operations were tested

Fecha de recepción: 22 de enero de 2002.

Fecha de aceptación: 30 de septiembre de 2004.

¹ Campo Experimental San Martinito, C.I.R. Centro, INIFAP. Correo-e: cesmar@compu-redes.net.mx

according to the American Society for Testing and Materials Standards (ASTM D 1666-87), using chip marks of 29.3 and 16.9. However, the aforementioned standard was modified for planing and sanding tests. Results showed that wood of *Q. affinis* was excellent for planing, using cutting angles of 15, 20 and 25° for both tested chip marks (29.3 and 16.9). Similarly, wood of *Q. crassifolia* showed excellent planing in cutting angles of 15 and 20°, while the cutting angle of 25° produced good and fair planing grades for chip marks of 29.3 and 16.9, respectively. The wood of both species showed good turning grades at moisture contents of 16 and 8%. Boring operations was excellent in wood from both species with spindle speeds of 1300 and 2460 r/min, although shaping was fair for both species, but grades diminished due to torn grain when cutting was changed from cross to longitudinal grain. The wood of both species also was excellent for sanding purposes.

Keywords: Boring, planing, oak, sanding, wood machining, turning.

INTRODUCCIÓN

Los encinos han sido subutilizados y poco aprovechados a nivel nacional, a pesar de ser la segunda especie más importante después de los pinos por su abundancia y amplia distribución y por representar a un gran número de especies. Esta problemática se sustenta en que la industria forestal y maderera en México está diseñada principalmente para la industrialización de maderas suaves como el pino, por lo que, el procesamiento de la madera de encino con el mismo equipo presenta serias dificultades, dado que las tecnologías existentes no son propias para trabajar maderas duras.

Las características y propiedades de la madera influyen sustancialmente en el labrado de la misma, pero también existen por otro lado, los factores de las máquinas y herramientas que afectan la calidad de maquinado (el cual se puede definir como el comportamiento que presenta la madera al ser trabajada con máquinas y herramientas), pero que pueden ser modificados para obtener el efecto deseado. Dentro de estos factores están los ángulos del elemento de corte (ángulo de ataque, ángulo de limpieza, ángulo de filo) y el espesor de viruta, que a su vez está dada por la profundidad de corte, velocidad de alimentación, velocidad de rotación y el número de elementos de corte de la herramienta. En las operaciones de maquinado es frecuente encontrarse con defectos de quemaduras, rayones, grano astillado, grano comprimido, grano apelmusado, grano levantado, grano rasgado y marcas de astilla (Flores, 1990).

En el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias se han estudiado las características de trabajabilidad de la madera de 54 especies mexicanas. De los resultados de estos estudios, Herrera (1981) recomienda cepillar la madera de encino con un ángulo de corte de 20° y el mayor número

de marcas de cuchilla por cm. Torelli (1982) determinó las características de maquinado de dos especies de encinos tropicales, concluyendo que los mejores resultados se obtienen con un mayor número de marcas de cuchilla por unidad de longitud y que a menor ángulo de corte hay un mayor consumo de energía. Quiñones y Herrera (1984) recomiendan cepillar la madera de encino con un ángulo de corte de 20°, ya que con éste se obtienen mejores resultados. Sin embargo, si se aumenta el ángulo de corte a 30° y se mantiene el mismo número de marcas de cuchilla por cm (29.3), disminuye la calidad (Goche, 1995).

Flores (1990) determinó que para el cepillado de madera de encino se obtiene una mejor calidad de superficie a medida que el ángulo de corte es más pequeño y el número de marcas de cuchilla es mayor. Además, existe una relación directa entre la calidad y el número de marcas de cuchillas por cm, es decir, que a mayor número de marcas de cuchilla por cm corresponde una mejor calidad de cepillado (Flores, 1991). Para el torneado, a mayor contenido de humedad (12%) la calidad es mejor comparativamente con contenidos de humedad más bajos (7%) (Flores, 1990).

A pesar de que ya existe información sobre las características de trabajabilidad de algunas especies de encinos mexicanos, es necesario la realización de este tipo de estudios en madera de encino proveniente de una misma condición de crecimiento. Así, en el presente estudio se determinaron las características de maquinado de las especies *Quercus affinis* Scheid. Hort Belg. y *Q. Crassifolia* Humb. & Bonpl., en las operaciones de cepillado, torneado, barrenado, moldurado y lijado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de los ensayos se utilizó la maquinaria instalada en la Planta Piloto de Trabajabilidad de la Madera, en el Campo Experimental San Martinito del C.I.R. Centro, esto es: trompo o molduradora de un cabezal (Marca Invicta, modelo Velox); máquina combinada cepillo, canteador y escoplo con cabezal giratorio para 4 cuchillas (Marca SCM, Modelo 2200 -FSB), un taladro de pedestal (Karpinter), una lijadora de banda (Marca Genari Armando) y un torno semiautomático (Marca Invicta, Modelo Astral). Las herramientas empleadas están construidas con acero rápido, con excepción de la fresa molduradora que es una aleación de carburo de tungsteno.

Las muestras de ensayo se obtuvieron de un lote pequeño de madera aserrada de especies colectadas en el estado de Guanajuato e identificadas como *Quercus crassifolia* y *Q. affinis*. La madera fue secada previamente en estufa convencional a un contenido de humedad promedio de 7% para *Q. crassifolia* y de 8% para *Q. affinis*. Para realizar el ensayo de torneado, algunas secciones de las

tablas se acondicionaron a un contenido de humedad promedio de 17% y 16%, respectivamente.

Las especificaciones y el número de muestras por ensayo fue de 50 de acuerdo a lo establecido por la norma ASTM D1666-87 (ASTM, 1992), excepto que éstas se obtuvieron saneando tablas de diferentes dimensiones en lugar de tablas libres de defectos con dimensiones fijas de 2.5 x 12.5 x 122 cm.

Para el ensayo de cepillado se utilizaron ángulos de corte de 15, 20, 25 y 30°, y los siguientes números de marcas de cuchilla por cm: 16.9 y 29.3; estas cantidades se obtuvieron adecuando en la máquina combinada la velocidad de avance de acuerdo con la siguiente fórmula.

$$N = (A*B)/(C*100)$$

donde:

- N = Número de marcas de cuchilla por cm
- A = rpm del cabezal portacuchillas
- B = Número de cuchillas
- C = Velocidad de avance, m/min

En el ensayo de moldurado se utilizó una velocidad de giro del cabezal portafresas de 6000 rpm y una velocidad de alimentación promedio de 2.26 m/min en el corte preliminar y de 2.37 m/min en el corte final. Para el ensayo de barrenado se utilizó, como lo establece la norma, una broca para madera de 1" de diámetro, el tiempo de penetración promedio fue de 15 seg para una velocidad de giro de 1300 rpm y para la velocidad de giro de 2500 rpm, el tiempo de penetración promedio fue desde 7.8 a 9.5 seg.

Para el ensayo de lijado se utilizó una lijadora de banda con velocidad de alimentación de 6.37 - 6.50 m/min. ejerciendo una presión constante sobre el cojín opresor de 4.573 Kg, esto, en lugar de la lijadora de tambor que especifica la norma por no contar con esta última.

La evaluación se realizó como lo establece la misma norma, basándose en la presencia y severidad de los defectos de: grano astillado, grano apelmusado, grano levantado, marcas de astilla, grano rasgado, grano comprimido y rayones, examinando las probetas visualmente y clasificándolas en cinco categorías (Cuadro 1).

Posteriormente la evaluación de las especies se realizó considerando la suma de porcentaje de piezas excelentes (E) y buenas (B), de acuerdo a la clasificación que se presenta en el Cuadro 2, excepto en el ensayo de torneado en donde se incluyó además el porcentaje de muestras clasificadas como regulares.

Cuadro 1. Método de evaluación y clasificación de las muestras de ensayo.

Grado	Clasificación	Condiciones de la muestra
1	Excelente	Libre de defectos.
2	Buena	Con defectos superficiales que pueden eliminarse con lija del No. 100.
3	Regular	Con defectos marcados que pueden ser eliminados utilizando una lija gruesa del No. 60 y después una lija fina del No. 100.
4	Pobre	Con defectos severos que para eliminarse, requiere nuevamente del cepillado de la pieza de madera.
5	Muy pobre	Con presencia de defectos muy severos. Para eliminarlos será necesario sanear la pieza de madera.

Cuadro 2. Método de clasificación de especies en función del porcentaje de piezas Excelentes + Buenas.

% Piezas Excelentes + Buenas	Clasificación
90 - 100	Excelente
80 - 89	Buena
60 - 79	Regular
40 - 59	Pobre
0 - 39	Muy pobre

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En México, el cepillado de la madera de encino se realiza normalmente de la misma manera que el de cualquier madera suave, ocasionando con ello que no se obtengan las superficies con el grado de tersura deseado.

El cepillado de la madera de *Q. affinis* presentó excelentes resultados con los ángulos de corte de 15, 20 y 25° para los dos números de marcas de cuchilla por cm probados, pero para el ángulo de 30° los resultados obtenidos fueron buenos sólo cuando se utilizó el mayor número de marcas de cuchilla por cm y regulares para el menor número de marcas de cuchilla por cm (Cuadro 3).

Cuadro 3. Clasificación del efecto el ángulo de corte y el número de marcas de cuchilla por cm en el cepillado de la madera de dos encinos.

Operación	Especie	C. H. %	% piezas (E + B*) por ángulo de corte				N. M. C.	Velocidad alimentación m/min
			15°	20°	25°	30°		
Cepillado	<i>Q. crassifolia</i>	8	98	100	100	76	29.3	07.5
	<i>Q. crassifolia</i>	8	92	96	74	58	16.9	13.0
	<i>Q. affinis</i>	7	96	100	100	86	29.3	07.5
	<i>Q. affinis</i>	7	90	98	92	66	16.9	13.0

* E = cepillado excelente y B = buen cepillado, N. M. C. = número de marcas de cuchilla por cm.

Lo anterior coincide con Flores (1990), quien para la misma especie colectada en el estado de Puebla determinó que con 8.4 marcas de cuchilla por cm los mejores resultados se obtienen utilizando los ángulos de corte de 15, 20 y 25°. También se concuerda con lo reportado por Herrera (1981), Quiñones y Herrera (1984), Flores (1990), Flores (1991) y Goche (1993) quienes mencionan que a mayor número de marcas de cuchilla por cm se incrementa la calidad del cepillado en madera de encinos.

Una situación similar se observó para *Q. crassifolia*, obteniéndose excelentes resultados con los ángulos de corte de 15 y 20°, cuando el ángulo fue de 25° se tuvieron excelentes resultados sólo cuando se utilizó un número de 29.3 marcas de cuchilla por cm, pero al utilizar un número de 16.9 marcas de cuchilla por cm, los resultados fueron regulares. Con un ángulo de corte de 30° los resultados fueron regulares y pobres con 29.3 y 16.9 marcas de cuchilla por cm respectivamente, lo cual coincide con lo encontrado por Flores (1990) y Flores (1991), quienes estudiaron el maquinado de esta misma especie colectada en Puebla y Guanajuato, respectivamente.

El efecto de disminuir la velocidad de alimentación también es un factor importante de considerar, ya que experimentalmente se ha determinado que utilizando un ángulo de corte de 30° (que es el convencionalmente usado en el cepillado periférico de la madera) con una baja velocidad de alimentación, la calidad de la superficie cepillada también se incrementa. Esto se explica en buena parte porque en la medida que se reduce la velocidad de alimentación, la cantidad de madera que las cuchillas tienen que remover al cortar, es menor.

Se ha demostrado con otros trabajos y se corrobora con este estudio que los mejores resultados del cepillado de encinos se obtienen combinando un ángulo de corte pequeño con una velocidad de alimentación baja, generándose con esta última, un mayor número de marcas de cuchilla por cm, manteniendo constante la velocidad de giro del cabezal portacuchillas.

Por otro lado, los resultados reportados por Wengert (1988), Flores (1990), Flores (1991) y Goche (1993), han determinado que el ángulo de corte ideal para obtener una mejor calidad de cepillado en maderas duras varía entre 10 - 20° en función del contenido de humedad de la madera, coincidiendo en que para piezas con rangos de humedad entre 6 y 12%, también son los ángulos más recomendados.

Así mismo, Wengert (1988) también sugiere que para cuando se usen ángulos de corte de 30°, con madera a contenidos de humedad entre 6 y 10%, se utilice una profundidad de corte de 1/32" (0.8 mm). Un factor importante de considerar en el cepillado de cualquier madera, señalado por el mismo autor es que el uso de ángulos entre 20 y 40° reduce tanto el desafilado de las cuchillas, como el consumo de energía hasta en 2 ó 3 veces.

El contenido de humedad en las operaciones de torneado tiene un efecto determinante en la calidad de las piezas torneadas, ya que en el rango entre 7 y 10%, generalmente se presenta con mayor frecuencia el defecto de grano astillado. Koch (1964) menciona que a bajos contenidos de humedad, este defecto puede presentarse tan severo que podría causar la ruptura de la pieza trabajada.

Aunque en general, ambas especies presentaron un excelente comportamiento de torneado para los dos contenidos de humedad probados (Cuadro 4), los resultados obtenidos en el presente trabajo corroboraron esta preposición, ya que las muestras ensayadas con el rango de contenido de humedad entre 7 y 8%, con una clasificación de buen maquinado, presentaron el defecto de grano astillado, lo cual se atribuyó a la mayor resistencia que presenta la madera a ser cortada por la cuchilla de acuerdo con Flores (1990) y Flores (1991).

La literatura reporta que cuando el contenido de humedad oscila entre 12 y 15%, el defecto más frecuente en esta operación es el grano apelmusado, el cual puede eliminarse fácilmente con el lijado. En este experimento, cuando se utilizó un

Cuadro 4. Clasificación del efecto del lijado, torneado, torneado, taladrado y moldurado en maderas de dos encinos.

Operación	Especie	C.H. %	Piezas (E+B) %	Vel. alim. m/min	T.E.C. seg.	Defecto más frecuente	Clasificación
Lijado	<i>Q. crassifolia</i>	8.9	100	6.37	8.62		Excelente
	<i>Q. affinis</i>	9.0	100	6.50	8.44		Excelente
Torneado	<i>Q. crassifolia</i>	8	98	0.0724	16.58	Grano astillado	Excelente
	<i>Q. affinis</i>	7	100	0.0701	17.11	Grano astillado	Excelente
	<i>Q. crassifolia</i>	16	100	0.1151	10.42	Grano apelmusado	Excelente
	<i>Q. affinis</i>	17	100	0.1142	10.51	Grano apelmusado	Excelente
Barrenado 1300 rpm	<i>Q. crassifolia</i>	8	98	0.0784	15.28	Grano apelmusado	Excelente
	<i>Q. affinis</i>	7	98	0.0778	15.43	Grano apelmusado	Excelente
	<i>Q. crassifolia</i>	8	100	0.1379	8.7	Grano apelmusado	Excelente
	<i>Q. affinis</i>	7	100	0.1370	8.76	Grano apelmusado	Excelente
Moldurado Corte preliminar	<i>Q. crassifolia</i>	8	84	2.24	9.96	Grano apelmusado	Buena
	<i>Q. affinis</i>	7	90	2.27	9.83	Grano apelmusado	Excelente
	<i>Q. crassifolia</i>	8	74	2.48	9.0	Grano apelmusado y ast. en salida	Regular
	<i>Q. affinis</i>	7	64	2.51	8.9	Grano apelmusado y ast. en salida	Regular

C.H. = contenido de humedad; Piezas E + B = % de probetas excelentes más buenas; Vel. alim. = velocidad de alimentación, T.E.C. = tiempo efectivo de corte.

rango de contenido de humedad entre 16 y 17%, el porcentaje de probetas excelentes fue más alto que con maderas más secas, las probetas buenas y regulares presentaron como defecto más frecuente el grano apelmusado, lo cual coincide con lo reportado por Flores (1990) y Flores (1991).

En la operación de barrenado, (CSR Training Center, 1991; CSR Training Center, s/f) recomienda emplear velocidades de penetración hasta 50% menos de las que se emplean para maderas suaves. Para piezas perforadas en un rango de humedad entre el 7 y 12%, los resultados obtenidos por Flores (1990) fueron excelentes, al emplear la velocidad de giro de la broca recomendada por el fabricante del taladro en brocas para madera (1300 rpm).

En el presente trabajo, se empleó la velocidad de giro de la broca de 2460 rpm, que es la más próxima a las especificaciones de la norma ASTM D 1666-87 utilizada y la velocidad de 1300 rpm recomendada por el fabricante del taladro en brocas para madera de una pulgada de diámetro. Los resultados obtenidos mostraron que las dos especies presentaron calidades de barrenado excelentes en ambas velocidades.

El hilo recto y la mayor rigidez de las fibras de la madera de encino son características importantes que le permitieron contrarrestar la presencia del grano comprimido, defecto específico del barrenado, presentándose únicamente y con una frecuencia e intensidad mínimas, el defecto de grano apelmusado.

En el moldurado de la madera de encino es recomendable utilizar una velocidad periférica de 40-60 m/seg para fresas con aspas de acero rápido y de 50-80 m/seg para fresas con aspas de carburo de tungsteno y velocidades de alimentación de 3 m/min para molduras curvas y para molduras rectas 6 m/min cuando la alimentación se realiza de manera manual (CSR Training Center, 1991; CSR Training Center, s/f).

La clasificación resultante del moldurado para *Q. affinis* y *Q. crassifolia* fue excelente y bueno respectivamente en el corte preliminar y regulares para ambas especies en el corte final. Estos resultados difieren con lo reportado por Flores (1990), quien menciona que ambas especies presentan excelentes características de moldurado y por Flores (1991), que determinó excelentes resultados de moldurado para *Q. crassifolia*. La presencia y severidad del defecto de grano astillado, que se presentó durante el ensayo al hacer el cambio del sentido transversal al longitudinal, principalmente en el corte final ocasionó que el resultado de moldurado no llegara a ser excelente.

Las dos especies presentaron excelente comportamiento al lijado, empleando una lija de grano grueso del número 60 para eliminar los posibles defectos iniciales de las muestras, con un peso constante del cojín opresor de 4.573 kg y una velocidad de alimentación de 6.37 m/min para *Q. crassifolia* y de 6.5 m/min para *Q. affinis*. El proceso de lijado finalizó con una lija fina del número 100, con

la que se eliminaron los rayones y se obtuvo la tersura deseada, obteniéndose resultados excelentes en las dos especies probadas. Estos resultados coinciden con los que reportan Flores (1990) para las mismas especies del estado de Puebla y Flores (1991) para *Q. crassifolia* del estado de Guanajuato.

CONCLUSIONES

A través de la determinación de las características de maquinado, se puede conocer la facilidad o dificultad que presenta una madera en su procesamiento al ser sometida a las máquinas y herramientas utilizadas en las distintas operaciones de labrado. Para el ensayo de cepillado, la mejor calidad de la superficie se obtuvo utilizando ángulos pequeños de corte y un número mayor de marcas de cuchilla por cm, lo que implica una menor velocidad de alimentación.

La madera de las especies estudiadas presentó excelentes características de maquinado en las operaciones de torneado, barrenado y lijado y muy buenas en el moldurado. El contenido de humedad no manifestó ninguna influencia en el torneado.

La calidad y el comportamiento de ambas especies en el maquinado se considera en general excelente, por lo que es posible recomendar estas maderas en la elaboración de productos de mayor valor agregado, como decoración de interiores y muebles.

REFERENCIAS

- American Society for Testing and Materials. 1992. Annual book of ASTM standards. Construction section. Philadelphia, USA. pp. 260-279.
- CSR Training Center. 1991. Tecnologia delle lavorazioni. Apuntes mimeografiados. Italia. 196 p.
- CSR Training Center. s/f. Utensili per la lavorazione del legno. Italia. 177 p.
- Flores G., E. 1991. Características de maquinado y comparación de dos aleaciones de acero de las cuchillas en el cepillado en tres especies de encino del estado de Guanajuato. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 49 p.
- Flores V., R. 1990. Características de maquinado de cuatro especies maderables de encino del estado de Puebla. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 65 p.
- Goche T., J. R. 1993. Estudio tecnológico de la madera de *Quercus sideroxylla* del estado de Durango. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 63 p.
- Herrera B., A. 1981. Avance en la determinación de las características de maquinado de cinco especies de encino que vegetan en México. Ciencia Forestal 34(6):45-63.

- Koch, P. 1964. Wood machining processes. Ronald Press Company, New York, N.Y., USA. 530 p.
- Quiñones O., J. y A. Herrera B. 1984. Potencialidad y utilización de los encinos en el norte del país. *Ciencia Forestal* 52(9):3-10.
- Torelli, N. 1982. Estudio promocional de 43 especies forestales tropicales mexicanas. Programa de Cooperación Científica y Técnica México-Yugoslavia. SARH. SFF. UEK. México. 73 p.
- Wengert, E. M. 1988. The wood's doctor RX. Department of Forest Products. Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg, VA. 378 p.

ECUACIONES ADITIVAS PARA ESTIMAR COMPONENTES DE VOLUMEN PARA *Pinus teocote* Schl. DE DURANGO, MÉXICO

José Cruz Contreras Aviña¹ y José de Jesús Nívar Cháidez¹

RESUMEN

La cuantificación con ecuaciones confiables de los componentes de volumen del árbol es una herramienta clave para entender los principales productos y servicios derivados de los árboles y masas forestales. El objetivo del presente trabajo fue estimar coeficientes con menor varianza de ecuaciones aditivas para estimar los componentes de volumen (rollo total árbol, fuste sin corteza, corteza, tocón y ramas) para la especie *Pinus teocote* Schl. en Durango, México. La base de datos se obtuvo de árboles derribados en labores de aprovechamiento maderable del ejido Vencedores, municipio de San Dimas, a los cuales se les midió el diámetro a diferentes secciones de altura y el grosor de la corteza. A una muestra de 45 árboles se les cortaron las ramas, se apilaron y midieron sus dimensiones de apilamiento y se estimaron sus volúmenes por el método de inmersión. Se analizaron 196 árboles y se estimaron los coeficientes de dos ecuaciones de volumen: a) la ecuación de la variable combinada de Spurr (1952) y b) la ecuación comprensible múltiple desarrollada paso a paso hacia adelante. Se probaron cuatro formas de estimación de parámetros: 1) regresión lineal convencional, 2) regresión lineal ponderada, 3) regresión lineal generalizada y 4) regresión lineal generalizada ponderada. Los resultados mostraron que los coeficientes con menor varianza se calcularon en regresión lineal generalizada y los estadísticos de ajuste de las ecuaciones no cambiaron significativamente. Por esta razón, se recomienda la ecuación comprensible desarrollada en regresión lineal generalizada ponderada para estimar los componentes de volumen y total para la especie *P. teocote* de la región de Durango, México.

Palabras clave: Componentes de volumen, Durango, ecuaciones de volumen, *Pinus teocote*, regresión lineal, volumen por inmersión.

Fecha de recibido: 20 de enero de 2004.

Fecha de aceptación: 07 de octubre de 2004.

¹ Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Correo-e: jnavar@ccr.dsi.uanl.mx

ABSTRACT

The quantification of volume components and total volume with robust equations is a key component to understand the main products and services derived from trees and forests. The objective of this research was to estimate coefficients with the least variance in additive equations to estimate volume components (total aboveground, bole, bark, stump, and branches) for *Pinus teocote* Schl. from Durango, Mexico. Data was collected during harvesting operations of Ejido Vencedores, municipality of San Dimas, Durango and measurements consisted on stem and bark profiles. Branches were collected from a sample of 45 trees and measured in volume by the volume displacement technique, branches were also piled and pile volume measured in the field. In total 196 trees were used to estimate volume equation coefficients of: a) the combined variable equation of Spurr (1952) and b) stepwise regression. Four techniques of parameter estimation were tested: 1) conventional simple linear regression, 2) weighted simple linear regression, 3) seemingly unrelated linear regression, and 4) weighted seemingly linear regression. The results showed that the coefficients estimators with the least variance were developed in weighted seemingly unrelated regression and the conventional statistical parameters did not change. Therefore, it is recommended to employ the comprehensible equation (best model derived from stepwise regression) developed in weighted seemingly unrelated linear regression for the species *P. teocote* of Durango, Mexico.

Key words: Volume components, Durango, volume equations, *Pinus teocote*, linear regression, volume displacement.

INTRODUCCIÓN

A medida que la demanda de productos forestales maderables aumenta, se diversifica y los recursos maderables disminuyen, se hace patente incrementar la eficiencia en la utilización total de los árboles derribados. En proyectos ambientales, las estimaciones de los balances del carbono y nitrógeno en la parte aérea incluyen mediciones de la biomasa y/o volumen de los diferentes compartimentos de los árboles (Mohren y Klein Goldewijk, 1990; Houghton, 1991; Brown, 1997). Los árboles, además de proporcionar fustes para torcería o productos como triplay, aserrío, postes y pilotes, producen también ramas que pueden ser potencialmente aprovechadas como productos secundarios, leña o material celulósico. En general, la corteza se está empleando en viveros forestales, mientras que los tocones de diferentes dimensiones, se dejan en el sitio por la dificultad que implica su extracción y por los daños ambientales que ocasionarían a los ecosistemas esta práctica.

En la literatura se encuentra un sinnúmero de ecuaciones de volumen ajustadas para diferentes especies forestales (Schumacher y Hall, 1933; Spurr, 1952; Honer,

1964; Demaerschalk, 1972; Cao *et al.*, 1980; Clutter, 1980; Clutter *et al.*, 1983; Wenger, 1984; Bailey, 1994; Prodan, 1997) pero no existen muchas ecuaciones que describan conjunta y simultáneamente los componentes de volumen, con ecuaciones para variables endógenas, piezas de información clave en el manejo forestal convencional y ambiental de los bosques. El objetivo de este trabajo fue probar diferentes metodologías de estimación de parámetros de ecuaciones aditivas que describan los componentes del volumen, fustes, corteza, ramas, tocones; los cuales en su conjunto se denominan volumen rollo total árbol, para la especie *P. teocote* de Durango, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características del área de estudio

Los trabajos de derribo y mediciones de los componentes de volumen se realizaron en el Ejido Vencedores, Municipio de San Dimas, Durango, México, a 170 km al oeste de la Ciudad de Durango. Se localiza en el macizo montañoso de la Sierra Madre Occidental (105° 36' 19" y 105° 51' 48" W y 24° 19' 05" y 24° 30' 16" N), con una altura promedio sobre el nivel del mar de 2 540 m. La precipitación y temperatura promedios anuales son de 900 mm y de 15°C, respectivamente. La vegetación predominante son bosques de coníferas con rodales de *Pinus* y mezcla de los géneros *Pinus-Quercus* y *Pinus-Quercus-Juniperus-Arbutus*. Las especies de pino más comunes son: *P. cooperii*, *P. leiophylla*, *P. teocote*, *P. durangensis*, *P. engelmanni* y *P. lumholtzii*. Los rodales de *P. durangensis* y *P. cooperii*, se encuentran puros o asociados con *P. teocote* y *P. leiophylla* (Márquez y González, 1994). *P. teocote* Schl. et Cham. (Linnaea), cuando está maduro, es un árbol por lo común de 10 a 20 m de altura; de copa redondeada, ramas distribuidas irregularmente y follaje denso y erguido (Martínez, 1948).

Metodología

Se derribaron y midieron 196 árboles de *Pinus teocote*, en actividades simultáneas de extracción. El diámetro se midió a: 1) la base del fuste, 2) a 0,5 m, 3) a 1,3 m, 4) a 1,5 m y 5) a cada metro adicional, 2,5 m, 3,5 m, etc., hasta la punta del fuste principal. También se midió la altura del tocón. La edad de cada árbol se obtuvo de virutas tomadas al diámetro normal. El espesor de la corteza se midió a diferentes secciones de la altura del fuste. Con el procedimiento de medición anterior se generó un subconjunto de datos de diámetro-altura, con el cual se estimó el volumen del fuste por medio de la ecuación de Smalian, ya que este procedimiento no presenta diferencias estadísticamente significativas con las ecuaciones de Huber y Newton (Corral, 1999).

Volumen del tocón

Los diámetros de la base del suelo, Db , de 45 árboles, distribuidos en nueve categorías diamétricas desde 10 hasta 50 cm, se regresaron con los diámetros a la altura del corte para el derribo, d_2 , para estimar el Db de los árboles restantes. La ecuación resultante fue:

$$[1] \quad Db = 0.003443 + 1.112268 * d_2, \quad r^2 = 0.9758, \quad Sx = 0.025819 \text{ cm}$$

Con los dos diámetros se estimaron para el total de árboles en la muestra los volúmenes del tocón por medio de la ecuación de Smalian.

Volumen de las ramas

Por la dificultad de medir el volumen de las ramas para todos los árboles derribados por medio del principio de Arquímedes, el volumen de las ramas de cada uno de 45 árboles seleccionados aleatoriamente se midió por medio del método de inmersión, V_{imm} . Estas ramas, previamente troceadas a dimensiones regulares de 50 cm de longitud y hasta 1 cm de diámetro, se apilaron y se midió un volumen de apilamiento (Largo X Ancho X Profundidad), V_{ap} . Los volúmenes de inmersión (Y) se regresaron contra el volumen de apilamiento (X) y se desarrollaron dos ecuaciones para estimar el volumen de inmersión a partir de la medición del volumen de apilamiento. El volumen de apilamiento del resto de los árboles no incluidos en esta submuestra se realizó en forma similar a la descrita anteriormente. Debido a la presencia de dos tendencias claramente definidas, se desarrollaron dos ecuaciones:

$$[2] \text{ Para } V < 0.030 \text{ m}^3; \quad V_{imm} = -0.00107 + 0.385885 * V_{ap} \quad r^2 = 0.7202 \quad Sx = 0.001072 \text{ m}^3$$

$$[3] \text{ Para } V > 0.031 \text{ m}^3; \quad V_{imm} = -0.01654 + 0.554929 * V_{ap} \quad r^2 = 0.9250 \quad Sx = 0.038306 \text{ m}^3$$

Estas ecuaciones definen a través de las pendientes (0.385 y 0.55) los coeficientes de apilamiento. La resta de 1-la pendiente resulta en el coeficiente de espaciado entre ramas en la pila. Es decir, cuando la pendiente es igual a 1.0, los volúmenes de apilamiento e inmersión son iguales y el espaciado es igual a 0. Los coeficientes cambian con las dimensiones de la pila y por consiguiente con las dimensiones de las ramas. Para ramas más pequeñas, el coeficiente de apilamiento es menor porque existe mayor cantidad de espacios vacíos entre ramas. Por el contrario, en ramas grandes, existen generalmente espacios de mayores dimensiones pero en menor cantidad y volumen.

Volumen del fuste sin corteza

El volumen de la corteza se estimó de restar el volumen del fuste sin corteza del

volumen del fuste con corteza. El volumen del fuste sin corteza se obtuvo de la resta del espesor de la corteza a los diámetros con corteza a diferentes secciones de la altura del fuste. Se desarrolló una ecuación para estimar el espesor de la corteza, $G.C.$, cuando estos datos se extraviaron o no se midieron en algunas secciones del fuste. La estimación de la corteza por esta metodología ha sido reportada por Bergel (1969, 1974) y ponderados con el diámetro a 1.30 m, D , con el empleo de la altura relativa del fuste, hi , por medio de la siguiente ecuación:

$$[4] \quad G.C. = D^* \exp^{(-3.58632 - 0.64518 \cdot \ln(hi))} \quad r^2 = 0.7803, \quad S_x = 0.55582$$

Procedimiento estadístico.

Los datos de componentes de volumen de fuste sin corteza, volumen de corteza, volumen de ramas, volumen de tocón y volumen total, además de los datos de diámetro normal (D) y altura total (H) de un conjunto de 196 árboles se utilizaron en el ajuste de las ecuaciones de volumen descritas anteriormente. Se ajustaron dos tipos de modelos: a) una sola variable y b) la ecuación comprensible múltiple desarrollada paso a paso hacia adelante. En a) se utilizó la variable combinada de Spurr (1952) $V_i = b_0 + b_1 D^2 H$ por ser una de las ecuaciones que presentaron los mejores estadísticos de bondad de ajuste. En b) las mejores ecuaciones de volumen se seleccionaron por procedimientos paso a paso hacia adelante. En b) se emplearon las variables D , D^2 , H , $D^2 H$, DH^2 y $D^2 HF$. Donde F es el clásico factor de forma (BF/BC) donde BF es el volumen del fuste y BC es el volumen de un cilindro con el área transversal estimada a 1.3 m. Estas variables conjuntas generan ecuaciones de volumen conocidos y que son populares dentro de la literatura científica (Clutter *et al.*, 1983; Husch *et al.*, 1983; Wenger, 1984; Spurr y Barnes, 1987; Bailey, 1994; Prodan, 1997). Los coeficientes de cada uno de los dos tipos de modelos se estimaron de cuatro formas diferentes: 1) regresión lineal convencional sin ponderar, 2) regresión lineal ponderada, 3) en regresión lineal generalizada y 4) regresión lineal generalizada ponderada. La ponderación se realizó para modelar la estructura del error. La regresión lineal generalizada ha sido ampliamente recomendada para variables endógenas, como el volumen y la biomasa, y se puede consultar en reportes de Cunia y Briggs (1984); Cunia y Briggs (1985); Parresol (1999) y Parresol (2001).

La selección de la mejor técnica para estimar los coeficientes estadísticos resultó de la observación de: a) los estadísticos de ajuste y b) de los valores t de los parámetros y su significancia estadística. Los estadísticos de bondad de ajuste que se consideraron fueron: 1) el coeficiente de determinación r^2 , 2) el error estándar S_x , 3) el coeficiente de variación CV , 4) el error relativo absoluto en porcentaje $S(\%)$, y 5) el por ciento del error Pe . Todos los coeficientes son adimensionales con la excepción del S_x , cuyas unidades son m^3 . Las ecuaciones de los parámetros se describen a continuación.

$$[5] \quad r^2 = 1 - (RSS/TSS) \quad RSS = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad TSS = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \quad \bar{Y} = \left[\sum_{i=1}^n Y_i \right] / n$$

$$[6] \quad Sx = \sqrt{RSS/(n-p)}$$

$$[7] \quad CV = (Sx/\bar{Y}) \times 100$$

$$[8] \quad S(\%) = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i| / \bar{Y}_i$$

$$[9] \quad Pe = \left[\frac{(196)^2}{\chi^2_{(n-p)}} \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{\hat{Y}_i}{Y_i} - 1 \right\}^2 \right]^{1/2} \quad \chi^2_{(v)} = 0.853 + v + 1.645(2v-1)^{1/2}$$

donde:

RSS = suma de cuadrados del error

TSS = suma de cuadrados total

Y_i, \hat{Y}_i, \bar{Y} = valor i , valor estimado i y valor promedio del volumen

n = número de observaciones

p = número de parámetros estadísticos de la ecuación, incluyendo la intercepta.

Parresol (1999) recomienda el uso del error estándar de los parámetros en la comparación de procedimientos de ajuste de parámetros. Se usaron los valores de t de los coeficientes o parámetros estadísticos porque los valores cambian con el método de ajuste de parámetros. Los valores de t de los parámetros resultan de el cociente del estimador entre su error estándar. La significancia estadística del valor de t obedece al cálculo de la probabilidad. El valor de t se consideró en lugar del error estándar de los coeficientes por que estos cambiaron de valor con la técnica de estimación. Estos estadísticos fueron contrastados entre los cuatro diferentes procedimientos de estimación de parámetros para cada uno de los dos tipos de regresiones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características de los árboles muestreados

Los estadísticos de las variables dasométricas de los árboles observados se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Estadísticos de las variables dasométricas de los 196 árboles de la especie *Pinus teocote*.

Parámetro Estadístico	Variables Dasométricas			Volumen Promedio (m ³)				
	D	H	Edad	Fuste sc	Ramas	Corteza	Tocón	Total
Promedio	0.271	16.500	83.000	0.638	0.126	0.037	0.016	0.817
Desviación Estándar	0.113	4.470	35.000	0.629	0.184	0.019	0.018	0.813
Intervalo Confianza	0.016	0.631	4.938	0.089	0.026	0.003	0.003	0.115

Sc = Sin corteza, Intervalos de confianza con $\alpha = 0.5$ y $v = n-1$ grados de libertad.

Los árboles muestreados representan una muestra de los árboles derribados durante 1995. La mayoría de estos presentan una edad superior al turno técnico para la especie, la cual se aproxima a los 75 años (Corral, 1999). El volumen del fuste domina el volumen total del árbol, con un 78%, mientras que las ramas, la corteza y el tocón explican el 15, 5 y 2%, respectivamente.

Los parámetros de la ecuación generalizada de Spurr y los estadísticos de bondad de ajuste se presentan en el Cuadro 2.

Los parámetros de las ecuaciones de la variable combinada de Spurr cambian muy poco con los diferentes métodos de la estimación de coeficientes estadísticos (cuadrados mínimos convencionales, cuadrados mínimos ponderados y regresión lineal generalizada sin y con ponderaciones). Los estadísticos de r^2 , S_x y CV indicaron que las ecuaciones sin ponderaciones presentaron en general los mejores ajustes. Sin embargo, cuando se observa el estadístico Pe , los modelos desarrollados en regresión lineal generalizada ponderada se nota la reducción en el error en la estimación de cada uno de los componentes de volumen y en especial el de las ramas. Los modelos desarrollados en regresión lineal generalizada ponderada también mostraron una mejoría en tres de los cinco componentes cuando se utiliza el estadístico $S(\%)$.

Los parámetros y las mejores ecuaciones resultantes del procedimiento de paso a paso hacia adelante y los estadísticos de bondad de ajuste se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 2. Los parámetros de la ecuación generalizada de Spurr (1952) y los estadísticos de bondad de ajuste para estimar componentes de volumen de 196 árboles de *P. leocote* de Durango, México.

Ecuación sin ponderar	Estadísticos de bondad de ajuste				
	r^2	Sx	CV	S(%)	Pe
$Vfsc = 0.000518 + 0.38621D^2H$	0.97	0.10	0.16	10.27	26.75
$Vtoc = 0.000347 + 0.00965D^2H$	0.76	0.01	0.54	32.16	98.59
$Vram = -0.01764 + 0.08694D^2H$	0.58	0.12	0.95	49.90	8390.88
$Vcor = 0.01864 + 0.010860D^2H$	0.85	0.01	0.20	13.29	41.30
$Vtot = 0.001870 + 0.493660D^2H$	0.95	0.17	0.21	13.12	33.00
Ecuación ponderada					
$Vfsc = 0.00830 + 0.38379D^2H$	0.97	0.10	0.16	11.63	31.35
$Vtoc = 0.00151 + 0.00928D^2H$	0.76	0.01	0.54	32.43	127.18
$Vram = 0.01252 + 0.07247D^2H$	0.56	0.12	0.97	70.23	13643.76
$Vcor = 0.01890 + 0.0001987D^2H$	0.81	0.03	0.70	93.30	85.16
$Vtot = 0.04679 + 0.4796D^2H$	0.95	0.18	0.22	18.92	51.82
Ecuación lineal generalizada, SUR					
$Vfsc = 0.000519 + 0.38621D^2H$	0.97	0.10	0.16	10.27	26.75
$Vtoc = 0.000347 + 0.009654D^2H$	0.76	0.01	0.54	32.16	98.66
$Vram = -0.01764 + 0.086938D^2H$	0.58	0.12	0.95	49.91	8390.59
$Vcor = 0.01864 + 0.010862D^2H$	0.85	0.01	0.20	13.29	41.31
$Vtot = 0.001869 + 0.493664D^2H$	0.95	0.17	0.21	13.12	33.00
Ecuación lineal generalizada ponderada, SURP					
$Vfsc = -0.00195 + 0.3838D^2H$	0.97	0.10	0.16	10.03	25.26
$Vtoc = 0.000753 + 0.009156D^2H$	0.76	0.01	0.54	32.10	100.98
$Vram = -0.00493 + 0.057109D^2H$	0.47	0.13	1.06	75.31	7043.41
$Vcor = 0.016676 + 0.011755D^2H$	0.84	0.01	0.21	13.02	36.02
$Vtot = 0.010543 + 0.46186D^2H$	0.95	0.19	0.23	13.84	31.61

$Vfsc$ = Volumen del fuste sin corteza, $Vtoc$ = Volumen del tocón, $Vram$ = Volumen de las ramas, $Vcor$ = Volumen de la corteza; $Vtot$ = Volumen total.

Cuadro 3. Las mejores ecuaciones y los estadísticos de bondad de ajuste para estimar componentes de volumen para 196 árboles de *P. teocote* de Durango, México.

Ecuación sin ponderar	Estadísticos de bondad de ajuste				
	r^2	Sx	CV	S(%)	Pe
Vfsc=-0.0544+0.3426D+0.3633D ² H	0.97	0.10	0.16	11.16	26.49
Vtoc=0.00804-0.0905D+0.38066D ²	0.80	0.01	0.49	30.18	84.47
Vram=-0.06101+2.9869D ² -0.00075DH ²	0.67	0.11	0.84	21.10	8902.46
Vcort=0.000047+0.1104D+0.000071DH ²	0.88	0.01	0.18	9.16	28.87
Vtot=-0.1073+0.3625D+0.3633D ² H +2.9869 D ² -0.000679 DH ²	0.96	0.16	0.20	21.94	39.22
Ecuación ponderada					
Vfsc=-0.021434+0.11858D+0.37967D ² H	0.97	0.10	0.16	10.08	25.06
Vtoc=0.00501-0.06419D+0.33225D ²	0.80	0.01	0.49	29.54	83.80
Vram=-0.03879+2.3349D ² -0.00047DH ²	0.65	0.11	0.86	31.28	9540.09
Vcort=0.000461+0.1049D+0.000083DH ²	0.88	0.01	0.18	9.28	28.56
Vtot=-0.05475 + 0.15929D + 0.37967D ² H + 2.3349D ² -0.000387 DH ²	0.96	0.16	0.20	13.47	31.87
Ecuación lineal generalizada, SUR					
Vfsc=-0.05815+0.36587D+0.3617D ² H	0.97	0.10	0.16	11.37	26.80
Vtoc=0.00779-0.0885D+0.37741D ²	0.80	0.01	0.49	30.08	84.16
Vram=-0.06105+2.9883D ² -0.00076DH ²	0.67	0.11	0.84	13.34	8876.92
Vcort=0.000012+0.11057D+0.000071DH ²	0.88	0.01	0.18	9.17	28.84
Vtot= - 0.11 + 0.3879D + 0.3617D ² H + 3.3657D ² - 0.00069DH ²	0.96	0.16	0.20	23.27	39.79
Ecuación lineal generalizada ponderada, SURP					
Vfsc=-0.03674+0.24391D+0.3669D ² H	0.97	0.10	0.16	10.37	25.49
Vtoc=0.0019-0.0125D+0.22289D ²	0.76	0.01	0.54	36.26	88.14
Vram=-0.03930+2.2334D ² -0.00041DH ²	0.64	0.11	0.87	42.99	9051.02
Vcort=0.001130+0.09977D+0.000091DH ²	0.88	0.01	0.18	9.23	28.63
Vtot= - 0.075+ 0.3436D + 0.3669D ² H + 2.4563D ² - 0.00032DH ²	0.96	0.16	0.20	14.06	33.04

Vfsc = Volumen del fuste sin corteza, Vto. = Volumen del tocón, Vram = Volumen de las ramas, Vcor = Volumen de la corteza; Vto. = Volumen total.

La ecuación resultante para la estimación del fuste sin corteza fue desarrollada por Meyer (Valdez, 2000), las ecuaciones para estimar el tocón, ramas, corteza y volumen rollo total árbol se han denominado comúnmente como la ecuación comprensible (Prodan, 1997).

Los parámetros de las ecuaciones cambian notoriamente entre procedimientos de estimación. En general, los parámetros de la ecuación desarrollada mediante regresión lineal generalizada, SUR, sin ponderar resultaron en valores intermedios en comparación con los valores resultantes de los métodos convencionales con y sin ponderar. Los coeficientes de la regresión SUR ponderada se desviaron más notoriamente cuando contrastados con los otros procedimientos.

A pesar de que los coeficientes estadísticos se desviaron notoriamente entre las técnicas utilizadas, los estadísticos de bondad de ajuste r^2 , S_x , CV, $S(\%)$ y P_e no cambiaron significativamente entre los cuatro procedimientos de ajuste de coeficientes estadísticos.

Los valores de t de los coeficientes estadísticos y su significancia probabilística se presentan en el Cuadro 4.

El procedimiento de regresión lineal generalizada ponderada, SURP, resultó en los coeficientes estadísticos más confiables sobre todo cuando se trata de la ecuación para el cálculo del volumen total para la ecuación de Spurr y la ecuación comprensible. Las ecuaciones aditivas para el cálculo del volumen rollo total árbol poseen todos los coeficientes estadísticamente significativos. En contraste, la ecuación aditiva convencional resultó sólo en un coeficiente de 5 estadísticamente significativo para la ecuación comprensible. Para la ecuación de Spurr, el procedimiento SURP también mejora la precisión en los estimadores de los coeficientes estadísticos. La ecuación SUR sin ponderar también resulta con mejores coeficientes estadísticos en la ecuación aditiva en contraste con los coeficientes desarrollados por los procedimientos convencionales pues sólo un coeficiente de 5 resultó no ser estadísticamente significativo. Los procedimientos SUR incrementan la precisión de los parámetros al utilizar simultáneamente el número de árboles por el número de compartimentos en la estimación de la varianza total.

El proceso de ponderación incrementa la confiabilidad en la estimación de parámetros en contraste con el procedimiento convencional. Para la ecuación comprensible, nueve de diez coeficientes resultaron ser estadísticamente significativos en contraste con los procedimientos no ponderados, los cuales presentaron sólo cuatro de diez parámetros estadísticamente significativos. Para la ecuación de la variable combinada sólo dos de cuatro y cuatro de cuatro coeficientes resultaron ser estadísticamente significativos en procedimientos sin y con ponderaciones (Cuadro 4). Los procedimientos de ponderación mejoran

Cuadro 4. Valores de *t* de los coeficientes estadísticos resultantes de cuatro formas de estimación de parámetros.

Componente	Una		Mejor Modelo				
	<i>a</i>	d^2h	<i>a</i>	<i>D</i>	d^2h	d^2	Dh^2
Ecuación sin Ponderar							
Vfsc	0.05	83.92	1.52	1.61	24.2		
Vtoc	0.38	24.55	1.88	2.82		7.15	
Vram	1.43	16.20	4.96			11.6	3.50
Vcort	24.5	32.86	0.03	12.0			5.59
Vtot	0.10	62.72	0.81	0.49	2.48	0.23	1.02
Ecuación Ponderada							
Vfsc	3.22	73.50	1.82	1.28	33.2		
Vtoc	2.46	23.08	3.53	4.60		10.8	
Vram	5.47	11.52	9.80			10.6	2.54
Vcort	32.5	35.06	0.44	13.9	6.58		
Vtot	2.24	59.31	4.82	5.41	0.01	5.86	2.72
Ecuación Lineal Generalizada, SUR							
Vfsc	0.05	83.92	1.66	1.76	24.8		
Vtoc	0.38	24.55	1.84	2.78		7.15	
Vram	1.43	16.20	4.97			11.7	3.53
Vcort	24.5	32.86	0.01	12.3			5.70
Vtot	0.10	62.72	2.85	1.79	24.8	12.9	3.17
Ecuación Lineal Generalizada Ponderada, SURP							
Vfsc	0.92	75.09	3.37	2.77	36.6		
Vtoc	3.80	23.30	0.23	1.59		12.2	
Vram	4.99	16.02	11.2			11.7	2.53
Vcort	35.6	36.35	1.10	13.7	7.53		
Vtot	3.86	67.98	6.27	3.82	36.6	12.9	1.95

a = intercepta, d^2h = pendiente de d^2h , *D* = pendiente de *D*, d^2 = pendiente de d^2 , dh^2 = pendiente de dh^2 .

la precisión en la estimación de parámetros por la eliminación del problema de heteroscedasticidad a que están sujetos los datos de variables dasométricas de los árboles (Bailey, 1994).

La regresión lineal generalizada ponderada claramente es el método seleccionado para la estimación de parámetros estadísticos de ecuaciones aditivas. Esto ha sido observado por Parresol (1999, 2001) para diferentes bosques de Estados Unidos. Esta metodología resulta en una menor varianza, como fue observado por los mayores valores de t y sus niveles de significancia. La técnica posee otras ventajas adicionales: considera la dependencia estadística entre componentes de volumen y la suma de las proyecciones de los componentes siempre suman el total (Cunia y Briggs, 1984; Parresol, 1999).

La ecuación lineal generalizada ponderada resultó ser la mejor para la estimación de componentes de volumen de *P. teocote*. El conjunto de ecuaciones son las siguientes:

$$V_{fsc} = -0.03674 + 0.24391D + 0.3669D^2H$$

$$V_{toc} = 0.0019 - 0.0125D + 0.22289D^2$$

$$V_{ram} = -0.0393 + 2.2334D^2 - 0.00041DH^2$$

$$V_{cort} = 0.00113 + 0.09977D + 0.000091DH^2$$

$$V_{tot} = -0.075 + 0.3436D + 0.3669D^2H + 2.4563D^2 - 0.00032DH^2$$

Se puede apreciar que la ecuación para estimar el volumen rollo total árbol incluye parámetros estadísticos que resultan de la suma de los coeficientes para cada uno de los parámetros. Por ejemplo, redondeando la intercepta de la ecuación de $V_{tot} = -0.075 = -0.03674 + 0.0019 - 0.0393 + 0.00113$. Estas ecuaciones fueron graficadas utilizando exclusivamente el parámetro de la variable combinada (D^2H) y el volumen de cada componente para observar las tendencias en la Figura 1.

CONCLUSIONES

Se presentan ecuaciones comprensibles para estimar componentes de volumen, tocón, corteza, fuste sin corteza, ramas y rollo total árbol, desarrolladas en regresión lineal generalizada ponderada. Aunque se estimaron ecuaciones aditivas por procedimientos aditivos convencionales y sin ponderar, los parámetros estimados en regresión lineal generalizada con ponderaciones mostraron mayor precisión y por consiguiente menor varianza. Además todos los coeficientes de las ecuaciones aditivas para estimar volumen rollo total árbol fueron estadísticamente significativos en contraste con los procedimientos de

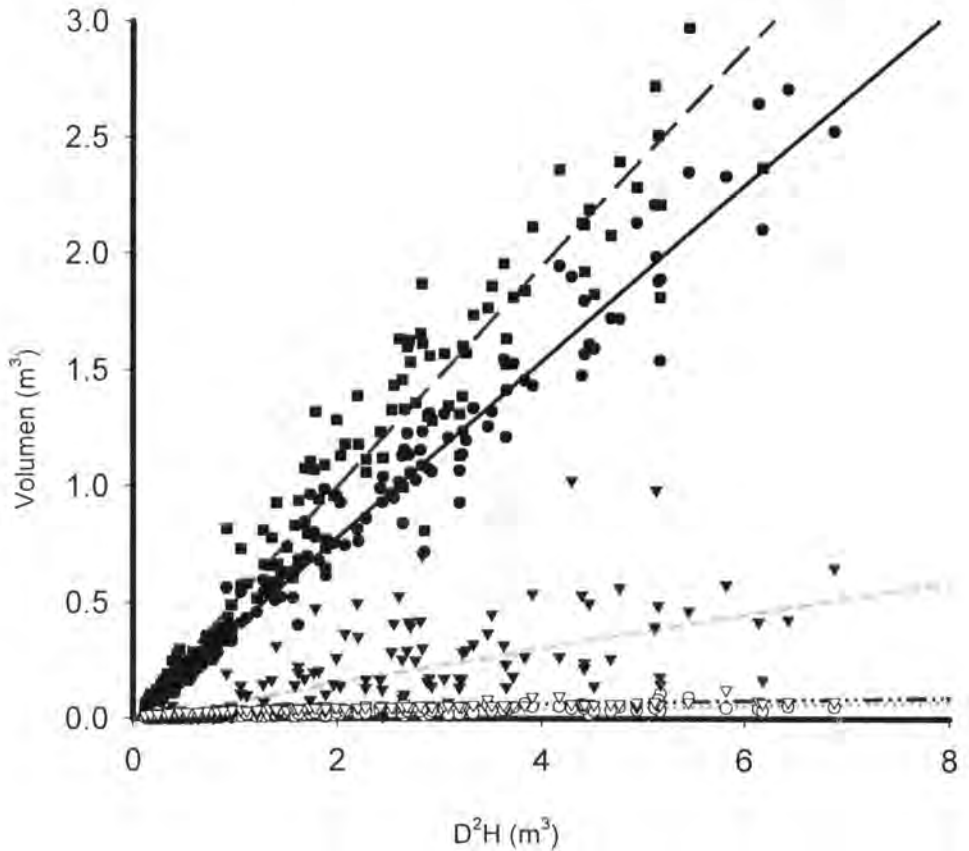


Figura 1. Las relaciones entre los volúmenes de cada uno de los componentes y la variable combinada para las ecuaciones desarrolladas en regresión lineal generalizada para *P. teocote* de Durango, México.

regresión lineal convencional y regresión lineal generalizada sin ponderar en la ecuación de Spur y comprensible. La modelación de la estructura del error como factor de ponderación robustece los estimadores de los coeficientes estadísticos.

RECONOCIMIENTOS

Los autores de este reporte de investigación hacen patente su agradecimiento al personal técnico de la UCODEFO No 4 de Durango, México. Este reporte es parte de la tesis de Maestría en Ciencias del autor principal y forma parte de los proyectos de investigación 6230 financiados por el fondo CONACYT-CONAFOR.

LITERATURA CITADA

- Bailey, R. L. 1994. A compatible volume-taper model based on the Schumacher y Hall generalized constant form factor volume equation. *Forest Science* 40:303-313.
- Brown, S. 1997. Los bosques y el cambio climático: el papel de los terrenos forestales como sumideros de carbono. *In: Actas del XI Congreso Mundial Forestal: Recursos Forestales y Árboles*. Vol 1. Antalya, Turkia 13-22 October of 1997. pp. 107-118
- Cao, Q. V., Burkhart, H. E., and Max, T.A. 1980. Evaluation of two methods for cubic volume prediction of Loblolly Pine to any merchantability limit. *For. Sci.* 26:71-80.
- Clutter, J. L. 1980. Development of taper functions from variable-top merchantable volume equations. *For. Sci.* 26:117-120.
- Clutter, J. L., J. C. Forston, L. V. Pienaar, G. H. Brister, and R.L. Bailey. 1983. *Timber management: A quantitative approach*. Wiley, New York. 333 p.
- Corral, S. 1999. *Tecnologías matemáticas para el desarrollo de modelos de crecimiento de bosques mixtos e irregulares de Durango, México*. Tesis Profesional de Maestría en Ciencias Forestales, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, N. L., México. 140 p.
- Cunia, T. and R. D. Briggs. 1984. Forcing additivity of biomass tables – some empirical results. *Canadian Journal of Forest Research* 14:376-384.
- Cunia, T. and R. D. Briggs. 1985. Forcing additivity of biomass tables – use of the generalized least-square method. *Canadian Journal of Forest Research* 15:23-28.
- Demaerschalk, J. P. 1972. Converting volume equations to compatible taper functions. *For. Sci.* 18:241-245.
- FAO. 1997. *Sitaci3n de los Bosques del Mundo*. Roma, Italia. 6 p.
- FAO. 2002. *Sitaci3n de los Bosques del Mundo*. Roma, Italia. 6 p.
- Honer, T. G. 1964. The use of height and squared diameter ratios for the estimation of cubic foot volume. *For. Chron.* 40:324-331.
- Houghton, R. A. 1991. Tropical deforestation and carbon dioxide. *Climate Change* 19:99-118.
- Husch, B. C., C. Miller and T. Beers. 1983. *Forest Mensuration*. 3rd Edition. John Wiley and Sons. New York, USA. 402 p.
- Márquez, L. M. A. y González, E. S., 1993. Composici3n, estructura y manejo de la vegetaci3n de la submicrocuenca del Tecolote, San Dimas, Dgo. I Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales, resumen de ponencias. 29 p.
- Márquez, L. M. A., Soto, R., J. y Contreras, A., J. C., 1994. Tablas de volumen para árboles del género *Pinus* en el Ejido Vencedores, San Dimas, Dgo. II Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales, Resumen de ponencias. 8 p.

- Martinez, M. 1948. Los pinos mexicanos. 2a ed. Editorial Botas. México. 361 p.
- Mohren, F. and Klein Goldewijk 1990. CO₂ Fix Model. Institute of Forestry and Nature Research. Wageningen, Netherlands. 58 p.
- Parresol, B. 1999. Assessing tree and stand biomass: a review with examples and critical comparisons. For. Sci. 45:573-593.
- Parresol, B. 2001. Additivity of nonlinear biomass equations. Can. J. For. Res. 31:865-878.
- Prodan, M.R. 1997. Mensura Forestal. Boletín Técnico. IICA-BMZ/GTZ. San José Costa Rica. 586 p.
- Programa de Manejo Integral Forestal Ejido Vencedores San Dimas, Dgo., UCODEFO N° 4 La Victoria-Miravalles. 140 p.
- Schroeder, P., S. Brown, J. Mo, R. Birdsey and C. Cieszewski. 1997. Biomass estimation for temperate broadleaf forest of the United States using inventory data. For. Sci. 43:424-434.
- Spurr, S. H. 1952. Forest Inventory. John Wiley and Sons, New York, USA. 472 p.
- Spurr, S. H. y S. Barnes. 1987. Forest Ecology. John Wiley and Sons. New York, USA. 450 p.
- Ter-Mikaelian, M. T. and Korzukhin, M. D. 1997. Biomass equations for sixty five North American tree species. Forest Ecology and Management 97:1-24.
- Valdez, L. R. 2000. Ecuaciones para estimar volumen comercial y total en rodales aclareados de *Pinus patula* en Puebla, México. Agrociencia 34(6):747-758.
- Woods, K. D., A. H., Feiveson and D. B., Botkin. 1991. Statistical analysis for biomass density and leaf-area 'index estimation. Canadian Journal of Forest Research 21:974-989.

NOTA TÉCNICA

CELULOSA BLANQUEADA ECF y TCF DE CARTÓN KRAFT RECICLADO

Noé Aguilar Rivera¹

RESUMEN

En nuestro país, el uso indiscriminado de los recursos forestales, aunado al crecimiento poblacional e industrial y a la contaminación ambiental, han provocado serios conflictos de desabasto de madera para la industria de pulpa y papel; por tal motivo, el reciclado de papel se ve como una alternativa a este problema. En el presente estudio se analizó la posibilidad de mejorar las propiedades mecánicas y ópticas del cartón desperdiciado mediante una deslignificación alcalina a través del proceso químico a la sosa. Dicho tratamiento permitió eliminar lignina residual e incrementó la flexibilidad y la capacidad de las fibras para enlazarse, lo que contribuyó a mejorar las propiedades mecánicas de las pulpas celulósicas. La pulpa obtenida se sometió a una secuencia libre de cloro (ECF) y a otra libre de compuestos clorados (TCF); asimismo, se evaluaron sus características mecánicas de resistencia a la tensión, explosión, doblez y rasgado, según las normas internacionales de la Asociación Americana de Técnicos de las Industrias de Pulpa y Papel (TAPPI). Se concluyó que con estos resultados hubo mejoras en las características anteriores, lo que justifica una etapa de deslignificación y convierte a esta técnica en una opción como fuente de fibras celulósicas blanqueadas para fabricar diversos tipos de papel y cartón.

Palabras clave: Blanqueo ECF y TCF, cartón Kraft, deslignificación, propiedades papeleras, reciclado, sosa.

ABSTRACT

The unregulated use of forest resources, the population and industrial growth and the problems associated to the environmental pollution, promote the reduction of

Fecha de recibido: 02 de octubre de 2000.

Fecha de aceptación: 09 de agosto de 2004.

¹ Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Correo-e: naguilar@uv.mx

wood production for pulp and paper manufacture and other wood products. Paper recycling has been seen as the solution for the lack of forest products for pulp and paper production. This study analyzes the possibility to improve the mechanical and optical properties of old corrugated container (OCC) pulps, through a stage of alkaline delignification by the soda chemical process. This treatment eliminates residual lignin and increases the flexibility and retention of water of the fibers, makes their bonding better and contributes to improve the mechanical properties of the fiber material. The pulp obtained by this process is carried later to a subsequent elementary chlorine free bleaching (ECF) and totally chlorine free bleaching (TCF). The OCC pulp obtained through these treatments was evaluated according to the international test of TAPPI (mechanical resistance properties to the tensile, mullen, doubling and tear). Results showed that the OCC properties were improved, which justify the use of the delignification stage and support this process to produce an important source of bleached fibers for the manufacturing of various types of paper and linerboard.

Key words: ECF and TCF bleaching, OCC linerboard, delignification, paper making characteristics, paper recycling, soda.

INTRODUCCIÓN

México cuenta con una vasta riqueza forestal que ha sido alterada de manera desordenada y continua debido al atraso tecnológico, desde el manejo del recurso forestal hasta su aprovechamiento en bienes y productos para la sociedad. El nulo desarrollo del abastecimiento forestal, al considerarlo como una actividad simple, ha ocasionado serios problemas y grandes pérdidas para las industrias derivadas del bosque, como las de pulpa, papel y cartón. Para éstas, la madera constituye la principal materia prima como una estructura fibrosa que contiene celulosa, lignina y hemicelulosas.

Los procesos de obtención de fibras más utilizados se basan en tratamientos mecánicos y químicos, que resultan en productos de diferentes características; las plantas para elaboración de pulpa son complejas e intensivas en capital; además, requieren sofisticados controles operacionales y mano de obra especializada. En general, la fabricación de papel requiere de mezclas de fibras de diferentes características y aditivos, de acuerdo con el producto final. La escasez de materia prima en los países industrializados y las presiones ambientales de las últimas décadas han motivado el uso de un creciente porcentaje de fibra reciclada en la fabricación de papel y, a medida que aumenta la conciencia ecológica de los consumidores, se observa cierta preferencia por productos que después de su uso, y/o disposición, ofrecen una mejor alternativa para el medio ambiente (Lamas, 1995). La industria de pulpa y papel en particular ha sido, históricamente, el foco de severas críticas debido a su impacto ambiental,

por lo que el papel desperdicio es una fuente de fibra interesante por los beneficios, tanto ecológicos como económicos, que representa el reciclado de dicho material (Avijit, 1995).

La situación actual en la industria mexicana de celulosa y papel requiere solucionar el problema de abasto de materias primas fibrosas y de los elevados costos de importación. En este contexto, el reciclado de diversos tipos de papel y cartón se ve como la alternativa importante para el presente y futuro abasto de materiales fibrosos, ya que tan sólo en nuestro país, desde 1999, 80% de las pulpas celulósicas provienen de las fibras secundarias (CNICP, 2003), por lo que las actuales tecnologías de reciclado de papel y cartón deben minimizar el daño que sufren las fibras durante los procesos de pulpeo y conversión.

Por lo anterior, aunado a la constante incertidumbre económica en los mercados, el desbalance en la oferta y la demanda de fibras secundarias propicia altas y bajas en los precios internacionales. Este panorama se ve incierto debido a la dependencia de la industria nacional frente al abasto de los mercados internacionales de fibras y productos de papel y cartón. Durante los años 2000 y 2002 la balanza comercial del sector fibras secundarias en México mostró disminuciones en las toneladas exportadas e importadas (Cuadro 1) (INEGI, 2003).

Cuadro 1. Balanza comercial del sector fibras (toneladas) secundarias.

Concepto	2000	2002	Diferencia
Exportación de fibras secundarias	127 323.7	125 628.2	-1695.6
Importación de fibras secundarias	1 386 166.6	1 358 571.4	-27 595.2

Por las razones expuestas, las fibras secundarias son consideradas como la alternativa más significativa en el futuro abasto de materias primas fibrosas para el desarrollo de la industria de celulosa y papel en el mundo, como sustitutos parciales o totales, rentables y competitivos, de pulpas químicas o de alto rendimiento. En la última década se han realizado muchos esfuerzos para la reutilización del papel desperdicio, para lo que se desarrollaron dos grandes líneas de uso y manejo:

1. Reciclado del papel desperdicio de fibras largas y sin blanquear para la obtención de papel inicial con características similares.

2. Utilización del papel desperdicio impreso blanco –integrado en su mayoría por fibra corta- para obtener papeles blancos aplicando acciones de destintado, de manera análoga.

En la actualidad, la industria de pulpa y papel aprovecha varias fuentes de papel recuperado, para producirlo con desempeño equivalente a las pulpas vírgenes en tipos como periódico y cartones corrugados; sin embargo, sigue sin reciclar fibras hasta la calidad que exigen los grados de impresión. El proceso de fabricación de cartón corrugado refina y fibrila las fibras, pero el de secado revierte esos efectos. La acción de un tratamiento químico adecuado puede restablecer, hasta cierto punto, el grado de hinchamiento y fibrilación (Headley, 1990).

Al tratar de contrarrestar la baja calidad de las fibras secundarias, se debe considerar que éstas difieren de las vírgenes porque, en la mayor parte de los casos, el material recuperado constituye una mezcla de diversos tipos de fibras y otros productos utilizados en las etapas de conversión, y las secundarias han soportado varias veces tratamientos mecánicos, de secado y de envejecimiento. De esta forma, su reciclado implica reacondicionar el material para que se parezca al original, es decir, a la fibra virgen. Algunos cambios ocurridos en el proceso de conversión de la fibra en papel son irreversibles; por esto, es imposible un completo reacondicionamiento del material fibroso (Jackson, 1994); los tratamientos con álcali o álcali y oxígeno proporcionan mejoras en las resistencias de diversos grados de papel; además, este proceso alcalino y un cierto grado de deslignificación pueden mejorar, en conjunto, las propiedades de las fibras secundarias, como la capacidad de hinchamiento, limpieza y eliminación de residuos (De Ruvo y Farnstrand, 1986; Headley, 1990).

Este trabajo pretende contribuir a corregir las bajas resistencias mecánicas a la explosión, tensión, doblez y rasgado de la pulpa de cartón desperdicio que contiene fibras largas en su composición, mediante la aplicación de una etapa de deslignificación alcalina, que permita eliminar la lignina, incrementando así tanto la flexibilidad y la capacidad de las fibras para formar enlaces interfibrilares como las propiedades de resistencia mecánica que se ven afectadas por el uso final y los actuales métodos de repulpeo y reciclado. Además, al eliminar la lignina residual de la pulpa de cartón y blanquearla mediante secuencias libres de compuestos clorados, se le da un mayor valor agregado y se abre la posibilidad de fabricar diversos productos de pulpa y papel a partir de cartón desperdicio.

Preparación y manejo de cartón desperdicio

El cartón desperdicio se recolectó en un centro de acopio de material reciclable; se eligió una corriente mezclada de cartón desperdicio compuesta de papel de sacos Kraft, y cartones americano y nacional, con el fin de contar, de manera representativa y homogénea, con el material que se encuentra en los basureros

y vertederos. Los materiales humedecidos se desfibraron a una consistencia de 10%, se determinó la humedad de la pulpa por el método gravimétrico de pérdida de peso y, posteriormente, se cuantificaron: rendimiento, número de Kappa o grado de deslignificación (TAPPI T 236 cm-85), cenizas en pulpa y el grado de refinación o molienda utilizando el método de Shopper Riegler (SCAN-M3:65) (Sanjuán, 1997) y el Canadian Standard Frenes (TAPPI T 227 om-94) (TAPPI, 2000).

Clasificación de fibras de cartón desperdicio

La clasificación de fibras de la pulpa de la mezcla (papel de sacos Kraft, cartones americano y nacional) se realizó de acuerdo con el método TAPPI T233-cm 82, que cuantifica la relación en peso de la longitud de las fibras de la pulpa. La determinación se hizo por duplicado en un clasificador tipo Clark.

Pulpeo a la sosa de cartón desperdicio

La lignina se eliminó mediante el proceso denominado a la sosa, que emplea como reactivo deslignificante una solución de hidróxido de sodio (NaOH). Este proceso se eligió debido a que la pulpa de cartón desperdicio posee características semejantes a las fibras de desechos agroindustriales procedentes de plantas anuales, como el bagazo de caña, es decir, con bajo contenido de lignina y una estructura abierta. Los tratamientos que se utilizaron fueron:

- 0 a 20% de carga de reactivos como NaOH con base en el peso seco de la pulpa (300 gr base seca)
- Hidromódulo o relación de baño 9:1
- Temperatura máxima de 170°C
- Tiempo a temperatura máxima de 0 a 90 minutos
- Máxima presión de trabajo de 7 Kg/cm².

Las cocciones se llevaron a cabo en un reactor presurizado de acero inoxidable de cuatro litros de capacidad, sobre la base de un diseño factorial para evaluar como variable respuesta la tasa o nivel (%) de deslignificación del material. Finalizado el tiempo de cocción para cada experimento, se transfirió la pulpa denominada "cartón-sosa" a un tamiz; cada pulpa resultante se lavó con agua cruda para separar el licor negro residual en su totalidad; a continuación se desfibró a una consistencia de 10% para eliminar los nodos o el material grueso; se tomaron muestras y se determinaron sus propiedades: humedad por pérdida de peso (%), rendimiento (%) y grado de deslignificación de acuerdo con la técnica TAPPI T 236 cm-85 y lignina Klason residual (T 222 om-88).

Blanqueo de pulpa de cartón-sosa

Las pulpas químicas sin blanquear obtenidas de la etapa anterior fueron demasiado oscuras para incorporarse en la elaboración de papeles blancos de calidad; y, debido al uso cada vez más restringido de compuestos clorados en el blanqueo de pulpas celulósicas y a la contaminación que estas secuencias provocan en el medio ambiente, fue necesario buscar alternativas como el blanqueo con oxígeno, peróxido u ozono, bioblanqueo, etc. Para el caso particular de la pulpa deslignificada de cartón desperdicio se emplearon las secuencias de blanqueo ODP (oxígeno, dióxido de cloro y peróxido) denominada secuencia ECF (libre de cloro elemental) y PEpP (peróxido, extracción alcalina oxidativa y peróxido) conocida como secuencia TCF (totalmente libre de compuestos clorados).

Propiedades de resistencia mecánica

Para caracterizar la calidad, capacidad de procesamiento y adaptabilidad de las pulpas celulósicas para varios usos finales, Sanjuán (1997) menciona que se utiliza una gran cantidad de métodos estandarizados de prueba en Europa y Norteamérica –entre otros, ISO, SCAN, TAPPI– para evaluar propiedades físicas de los productos de pulpa y papel como:

- * Propiedades físicas y de resistencia (tensión, explosión, rasgado y doblez)
- * Propiedades de superficie (lisura)
- * Propiedades ópticas (blancura, opacidad, brillo y color)
- * Permeabilidad a fluidos (agua, aceite y gases como aire)
- * Drenabilidad.

En el Cuadro 2 se muestran las técnicas de prueba para determinar las propiedades de las pulpas de cartón desperdicio, en todos los casos el peso base promedio de las hojas de pulpa fue de 60 g/m².

Propiedades de la materia prima

Las propiedades de la pulpa de cartón desperdicio se resumen en los cuadros 3 y 4.

En esta etapa del trabajo se comparó la pulpa de cartón desperdicio con la pulpa Kraft de madera blanda para evaluar la relación o porcentaje de sus fibras largas. La de cartón desperdicio (55.5%) justificó mejorar sus propiedades mediante una selectiva deslignificación y un posterior blanqueo, ya que puede convertirse en un sustituto ideal para las mezclas fibrosas de los diversos tipos de papel en los que se usa la pulpa Kraft de maderas blandas como fuente principal de fibra larga. En este sentido, el trabajo de Contreras *et al.* (1996)

Cuadro 2. Técnicas TAPPI utilizadas en la determinación de propiedades físicas de las pulpas.

Análisis	Técnica
Formación de hojas para pruebas físicas	T - 205 om - 88
Resistencia a la explosión (Índice de explosión)	T - 403 om - 91
Resistencia al rasgado (Índice de rasgado)	T - 414 om - 88
Resistencia a la tensión (longitud de ruptura)	T- 494 om - 88
Blancura	T - 218 om - 91
Resistencia al dobléz	T - 423
Grado de refinación (°S.R.)	SCAN-M3:65

Cuadro 3. Propiedades de pulpa de cartón desperdicio.

Propiedad evaluada	Valor
Rendimiento en repulpeo	84.8 %
Número de Kappa	93
Lignina Klason	13.95 %
Cenizas en pulpa	2.9 %
Grado de refinación	13 °S.R.
Grado de refinación	745 mL CSF

Cuadro 4. Clasificación de fibras de pulpa de cartón desperdicio y celulosa Kraft virgen.

Tamaño de malla (hilos/pul ²)	Mezcla (% retenido)	Kraft (% retenido)
30	55.5	81.1
50	17.7	6.6
100	10.2	5.4
200	4.0	0.9
>200	12.5	5.9

menciona que es necesario impulsar el desarrollo de tecnologías amigables con el medio ambiente, con el fin de incrementar el ciclo de vida de los productos reciclados como el papel.

Pulpeo a la sosa de cartón desperdicio

Las condiciones de operación que se aplicaron y los resultados de la tasa o nivel de deslignificación de pulpa de cartón desperdicio se muestran en el Cuadro 5.

A medida que la carga de álcali se incrementó, fue posible notar una disminución en el contenido de lignina, manteniendo constante el tiempo de deslignificación en 30 min a temperatura máxima (170°C); con una carga de 13% de NaOH se logró un mínimo en el contenido de lignina; es decir, una caída en el número de Kappa de 58 unidades, para que después la tasa de deslignificación permaneciera en un nivel menor a mayores cargas de álcali. Lo mismo sucedió con el rendimiento, por lo que se realizó una serie de corridas en las que sólo se modificó el tiempo de cocción para determinar la máxima deslignificación (Cuadro 6).

La tasa de deslignificación llegó a su nivel máximo a 30 min de reacción del material a temperatura de 170°C, para mantenerse constante e, incluso, se apreció un aumento en el contenido de lignina residual (número de Kappa más elevado) y en el rendimiento, debido a la reprecipitación de la lignina sobre las fibras. Esto concuerda con los trabajos realizados por Gustafson (1996) y

Cuadro 5. Deslignificación alcalina de pulpa de cartón desperdicio. Hidromódulo 9/1. Tiempo a temperatura máxima (170°C): 30 min.

NaOH (%)	Núm. de Kappa	Rendimiento (%)	Lignina Klason residual (%)	Deslignificación (%)
0	93	100	13.95	0
3	64	91.8	9.6	31.4
5	58.5	87.4	8.8	37.3
7.5	52.8	82.2	7.9	43.4
10	45.5	80.4	6.8	51.2
13	34.8	74.2	5.2	62.7
15	31.6	73.7	4.8	66.1
17.5	29.2	70.8	4.4	68.7
20	27.1	68.1	4.1	71.0

Jackson (1994), quienes concluyeron que incrementar la carga de reactivos o prolongar los tiempos de deslignificación no resultaría en una deslignificación

posterior considerable, debido a la baja selectividad del reactivo de cocción (NaOH) en este punto de la reacción, por lo que la pulpa proveniente de dicha cocción con número de Kappa de 35 (nivel de deslignificación del 62.7%) debió llevarse a una etapa de blanqueo y a la posterior evaluación de sus propiedades de resistencia mecánica.

Blanqueo de pulpa de cartón-sosa

Para el blanqueo se emplearon las condiciones de reacción que se describen en el Cuadro 7.

Las pulpas blanqueadas mediante las secuencias ODP y PEpP presentaron las propiedades ópticas (TAPPI T218 om-91) que se detallan en el Cuadro 8.

Cuadro 6. Deslignificación alcalina de pulpa de cartón desperdicio. Hidromódulo 9/1. Temperatura máxima (170°C), 13% de NaOH.

Tiempo (min)	Núm. De Kappa	Rendimiento (%)	Lignina Klason residual (%)	Deslignificación (%)
0	93	100	14	0
5	76	84	11.4	18.6
15	62	81	9.3	33.5
30	35	74	5.2	62.7
45	37	74	5.5	60.3
60	40	76	5.6	60
75	42	77	5.8	60
90	53	79	7.9	43.6

La pulpa cartón-sosa sometida a un blanqueo ECF o TCF presentó propiedades de blancura aceptables, lo cual la convierte en una interesante opción reciclada de fibra larga que puede emplearse como sustituto parcial o total de pulpa virgen obtenida a partir de maderas blandas.

Propiedades de resistencia mecánica

A las pulpas blanqueadas y sin blanquear se les dio tratamiento mecánico de refinación en un molino Jokro y posteriormente se determinaron sus propiedades de resistencia mecánica de acuerdo con las normas TAPPI (TAPPI, 2000), las cuales se tabularon a un grado de refinación de 40°S.R. ó 300 mL C.S.F. para las pulpas sin blanquear y de 32°S.R. ó 400 mL C.S.F., en pulpas blanqueadas (Cuadro 9).

Al someter el cartón desperdicio a una etapa inicial de deslignificación alcalina por el proceso químico a la sosa, se incrementaron las propiedades mecánicas de resistencias al doblez, explosión, rasgado y tensión en relación con el material original, lo cual resultará benéfico cuando la pulpa celulósica, tanto

Cuadro 7. Condiciones de blanqueo para pulpa cartón-sosa.

Condiciones de blanqueo	Etapas de blanqueo						
	O	D	P	Q	P	Ep	P
Consistencia %	10	10	10	3	10	10	10
Temperatura °C	90	70	80	20	120	95	80
Tiempo de retención min	60	180	180	60	30	60	90
Núm. Kappa inicial	35	16	7	35	35	12	6
pH final	9.5	6	11	5	10	12	10
NaOH % en pulpa	3	-	3	-	3	2	2
H ₂ O ₂ % en pulpa	-	-	5	-	2	0.5	1.5
EDTA % en pulpa	-	-	-	1	-	-	-
MgSO ₄ % en pulpa	0.5	-	0.5	-	1	0.5	0.5
Na ₂ SiO ₃ % en pulpa	-	-	1.5	-	-	0.5	1
O ₂ Kg/cm ²	4	-	-	-	-	-	-
ClO ₂ % en pulpa	-	2.4	-	-	-	-	-

O = Oxígeno, D = Dióxido de cloro, P = Peróxido, Q = Etapa de quelación, Ep = Extracción alcalina oxidativa.

Cuadro 8. Propiedades ópticas de pulpas carta blanqueadas.

Secuencia de blanqueo	Blancura (%)	Blancura revertida (%)
ODP	80.1	78.8
PEpP	72	70.5

Cuadro 9. Propiedades de resistencia mecánica (normas TAPPI) de pulpas cartón-sosa.

Tipo de pulpa	Longitud de ruptura (metros)	Índice de explosión (kpam ² /g)	Índice de rasgado (mnm ² /g)	Resistencia al doblez (número de dobleces)
Cartón desperdicio original	6658	5.17	13.4	587
Cartón-sosa sin blanquear	8172	6.10	16.5	816
Cartón-sosa blanqueada ODP	6528	5.56	11.6	554
Cartón-sosa blanqueada PEpP	5653	4.20	9.87	497

blanqueada como sin blanquear, se incorpore a las mezclas papeleras, convirtiéndose así en un producto novedoso, útil y amigable con el medio ambiente, al darle valor agregado a la gran cantidad de cartón desperdicio que existe como basura en las ciudades y rellenos sanitarios.

CONCLUSIONES

La carga de reactivo de 13% de NaOH aplicado a la pulpa de cartón desperdicio permitió deslignificarla hasta un nivel máximo de 62.7% (número de Kappa 35). Esto mejoró la flexibilidad y la capacidad de unión interfibrilar, al eliminar la lignina residual presente en la pulpa e hizo posible restaurar gran parte de las propiedades originales de la pulpa de cartón desperdicio.

Con el tratamiento químico de deslignificación se lograron incrementar los valores de las propiedades de resistencia mecánica a la tensión (expresada como longitud de ruptura), explosión (índice de explosión o mullen), doblez y rasgado (índice de rasgado) de la pulpa original de cartón repulpeado.

Las secuencias de blanqueo permitieron obtener pulpa celulósica reciclada de fibra larga con blancuras de 80% para la secuencia ODP y 72% para la PEpP sin afectar al medio ambiente.

La pulpa obtenida podrá ser blanqueada mediante otras secuencias libres de cloro elemental (ECF) o totalmente libre de compuestos clorados (TCF) con propiedades aceptables de resistencia mecánica y un menor impacto ambiental.

Las pulpas blanqueadas pueden utilizarse de forma individual o con las de fibra corta (pulpa destintada o bagazo de caña) en la fabricación de papeles para impresión de calidad y empaques para contener alimentos, en virtud de que las condiciones tanto térmicas como químicas empleadas en este tratamiento la dejan aséptica.

El método propuesto en este estudio hace posible tener una fuente constante de fibra celulósica secundaria con mejores propiedades físicas que las obtenidas mediante los actuales sistemas de reciclado de papel y cartón.

AGRADECIMIENTOS

Se hace un reconocimiento especial a todo el personal del Departamento de Madera, Celulosa y Papel "Ing. Karl Augustin Grellmann" de la Universidad de Guadalajara y en especial al doctor Rubén Sanjuán Dueñas por su apoyo decisivo en la realización de este estudio.

REFERENCIAS

- Avijit Dey, S. D. 1995. The current state of paper recycling. A global review IPPTA. 7(4):1-12.
- Cámara Nacional de las Industrias de Celulosa y Papel (CNICP). 2003. <http://www.cnicp.org.mx>.
- Conteras H. O., J. H. Anzaldo y J. R. Vargas. 1996. ¿Qué más se puede obtener del cartón viejo OCC?. Revista ACOTEPAC (30):35-41.
- De Ruvo, A. and P. A. Farnstrand. 1986. Upgrading of pulp from corrugated containers by oxygen delignification. Tappi Journal. 69(6):100-103.
- Gustafson, R. R. 1996. Manufacture of bleached pulp from recycled OCC linerboard. University of Washington. Pulping Conference TAPPI Press 885-894.
- Headley, E. 1990. Alkali soaking ups quality, yield of OCC used in boxboard furnishes. Pulp & Paper. 64(9):138-139.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2003. <http://www.inegi.gob.mx>.
- Jackson, M. and L. Ingemar. 1994. Croon bleached fiber from OCC. Tappi Journal 77(9):153-159.
- Lamas R., R. 1995. Reciclado: oportunidades y riesgos. ATCP. XXX (1):35-46.
- Nazhad M., M. and L. Paszner. 1994. Fundamentals of strength loss in recycled paper. Tappi Journal. 77(9):171-179.

- Sanjuán D., R. 1997. Obtención de pulpas y propiedades de las fibras para papel. Ágata Editores, México. pp. 235-243, 248-254.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industries. (TAPPI). 2000. Test Methods 2000-2001. Atlanta, GA. U.S.A. 257 p.