

CIENCIA FORESTAL

en México

ISSN 1405-3586

REV. CIEN. FOR. EN MÉX. VOL. 30 NÚM. 97 100 p. MÉXICO, D. F. ENE-JUN 2005

inifap

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS
COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y VINCULACIÓN

CONTENIDO

Pág.

EDITORIAL	3
SIMULACIÓN ESPACIAL DE DISPERSIÓN DEL FUEGO EN FUNCIÓN DE LA CARGA DE COMBUSTIBLE Y PENDIENTE José Germán Flores Garnica, David Arturo Moreno González y Juan de Dios Benavides Solorio	7
VARIACIÓN MORFOLÓGICA E ÍNDICE DE CALIDAD EN PLANTAS DE <i>Pinus cembroides</i> var. <i>cembroides</i> Zucc. José González Avalos, Edmundo García Moya, Víctor Manuel Cetina Alcalá, J. Jesús Vargas Hernández, Antonio Trinidad Santos y Angélica Romero Manzanares	29
FORRAJEJO DEL GANADO CAPRINO EN EL VALLE DE ZAPOTITLÁN DE LAS SALINAS, PUEBLA, MÉXICO Rodolfo Clemente Reséndiz-Melgar, Jazmin Díaz Melgoza y Julio Alberto Lemos-Espinal	45
EFFECTO DE PODAS EN PLANTACIONES DE AILE (<i>Alnus acuminata</i> ssp. <i>glabrata</i> (Fern.) Furlow) EN NUEVO SAN JUAN PARANGARICUTIRO, MICHOACÁN J. Jesús García Magaña, H. Jesús Muñoz Flores, Trinidad Sáenz Reyes y J. Jesús García Sánchez	63
INCIDENCIA DE INFESTACIÓN DE <i>Arceuthobium globosum grandicaule</i> (Hawksw. & Wiens) EN <i>Pinus hartwegii</i> Lindl. Reyna Hernández-Benitez, Zenón Cano-Santana e Iván Castellanos-Vargas	79
ACTIVIDADES DE PROMOCIÓN DE LA REVISTA <i>CIENCIA FORESTAL EN MÉXICO</i>	87
INFORMACIÓN DE LA REUNIÓN NACIONAL DE INVESTIGACIÓN FORESTAL DEL INIFAP	89
CONSEJO ARBITRAL	93
CONSEJO EDITORIAL	97

SIMULACIÓN ESPACIAL DE DISPERSIÓN DEL FUEGO EN FUNCIÓN DE LA CARGA DE COMBUSTIBLE Y PENDIENTE

José Germán Flores Garnica¹, David Arturo Moreno González¹
y Juan de Dios Benavides Solorio¹

RESUMEN

La distribución espacial de los combustibles forestales tiende a ser discontinua y variable. Asumir una homogeneidad podría subestimar su influencia en el comportamiento del fuego. La intención de usar modelos de combustibles no es viable cuando las quemas prescritas se aplican en áreas de pequeñas dimensiones (5-20 ha), como sucede en México. Como alternativa se elaboran mapas temáticos desde la perspectiva "raster", aunque en el país no se cuenta con un modelo espacial que considere esta fuente de información. Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue desarrollar un modelo para simular los cambios espaciales de la dispersión del fuego, debidos a la variación de la carga de combustibles de una hora de retardo y la pendiente en un área con bosque de pino-encino dentro de la Sierra Madre Occidental, al noroeste de Chihuahua. El modelo generado describe el patrón espacial de la propagación del fuego desde un tiempo inicial hasta un periodo dado, cambios que están en función del tiempo y la velocidad de dispersión simulada determinísticamente. La perspectiva "raster" facilita el proceso de programación, ayudando a entender el por qué de la propagación del fuego en cierta dirección. Sin embargo, la precisión está altamente relacionada con el tamaño y forma de las celdas. No obstante, el modelo obtenido tiene como principal limitante no considerar todos los argumentos requeridos en la simulación del comportamiento del fuego. En futuros trabajos, se sugiere integrar otros tipos de combustibles (10 ó 100h de retardo y vivos) y su contenido de humedad.

Palabras clave: Bosque de pino-encino, carga de combustibles forestales, comportamiento del fuego, modelado espacial, perspectiva "raster", quemas controladas.

Fecha de recepción: 2 de mayo de 2005.

Fecha de aceptación: 9 de enero de 2006.

¹ Campo Experimental Centro–Altos de Jalisco, Centro de Investigación Regional Pacifico Centro, INIFAP. Correo-e: flores.german@inifap.gob.mx

ABSTRACT

The spatial distribution of forest fuels is rather discontinuous and highly variable. The assumption of fuel homogeneity could underestimate the influence of fuel distribution on fire behavior. Therefore, the use of the fuel-model concept is not allowed when the surface of a forest fire is small (5-20 ha), which is the situation of most of prescribed fires in Mexico. As an alternative, thematic maps were designed following the raster approach, even though there is not a spatial model that works with this source of information in Mexico. Thus, the objective of this study was to develop a spatial model in order to simulate spatial changes in fire rate of spread due to variations in one hour fuel loadings and slope. The study area is located within a coniferous-oak forest of the Sierra Madre Occidental, at the northwest of Chihuahua State, Mexico. Fire rate of spread is simulated deterministically. The model describes fire rate of spread changes, from a initial time to a given elapsed time, which is based on the rate of spread at a certain period. This also helps to have a better understanding of the reasons involved the fire spread following a particular direction. The spatial precision of this kind of models is highly related to the cell size and shape. Moreover, the main limitation of the model is that it does not consider all the required arguments for a fire behavior simulation. Therefore, in future studies, it is suggested to integrate other parameters, such as other fuel types (10h, 100h of lag time and live fuels), and humidity of fuels.

Key words: Pine-oak forest, forest fuel loading, forest fire behavior, spatial model, raster approach, prescribed fires.

INTRODUCCIÓN

La ocurrencia de incendios no sólo altera la planificación del manejo forestal, sino que su combate implica inversión de tiempo y recursos; no obstante, se acepta que el fuego puede mejorar el potencial productivo del bosque. Por ejemplo, favorece la regeneración al disminuir la capa de hojarasca y reducir la competencia herbácea, o simplemente por aumentar la fertilidad del suelo (Martínez *et al.*, 1990).

En este sentido es posible incluir el uso del fuego en el manejo forestal mediante quemas controladas, las que se aplican con objetivos claros y en condiciones ambientales conocidas, también denominadas quemas prescritas (QP). Así se podría organizar un calendario de quemas prescritas (CQP) tanto para disminuir el riesgo de un incendio, como para mejorar a los ecosistemas forestales.

El fuego, como herramienta silvícola, ha sido utilizado en países con vegetación y topografía similares a las de México (Aguirre, 1978; Hudson y Salazar, 1981);

sin embargo, en este último, la práctica de quemas controladas ha sido restringida (González-Cabán y Sandberg, 1989) y poco documentada. La razón principal es que el conocimiento sobre el comportamiento del fuego en los bosques mexicanos para diferentes períodos y ambientes es escaso (Flores y Benavides, 1993), pero representa un requisito indispensable para aplicar un CQP.

Una alternativa de solución para subsanar la falta de información es simular el comportamiento del fuego antes de proceder a la quema en el campo. Para ello pueden usarse algunos de los sistemas que actualmente existen, tales como: FARSITE (Finney, 1996), BURN (Veach *et al.*, 1994) y EMBYR (Hargrove, 1994) que se basan en un grupo de 13 patrones de dispersión, definidos por el tipo y frecuencia de combustibles que contienen (Rothermel, 1983), a partir de los cuales las áreas forestales se ordenan en una serie de grandes polígonos de tamaño variable, dependiendo de la homogeneidad de las superficies evaluadas y de acuerdo al criterio de los expertos. Esto implica que cualquier estimación del comportamiento del fuego, dentro de cada uno de ellos es homogénea, a excepción de las variaciones en la topografía, dirección y velocidad del viento.

Dado que en México las quemas prescritas se practican en áreas reducidas, los modelos de simulación deben considerar cambios en la distribución espacial de los combustibles dentro de superficies de 5 a 20 ha; por lo tanto, los modelos señalados tienen limitantes para su aplicación. Además, se carece de la clasificación de bosques por modelos de combustibles, por lo que es necesario desarrollarlos; para ello se deben tener mapas con la ubicación de los combustibles que reflejen su variación espacial en distancias cortas, por ejemplo de 100 m.

Requerimientos y productos al estimar el comportamiento del fuego

Los requerimientos de un modelo que estime el comportamiento del fuego en un incendio forestal (Figura 1) (Campbell *et al.*, 1996), pueden agruparse en cuatro primarios (Omi, 1997; Veach *et al.*, 1994):

- 1) El complejo de combustibles determina cómo se afecta la propagación del fuego bajo diferentes condiciones de vegetación. En general, se utiliza la clasificación de combustibles por el tiempo de retardo o el necesario para que la humedad interna del combustible se equilibre con la del medio ambiente. De esta forma se tienen combustibles de 1, 10, 100 y 1000 h, sus grosores varían de 0 a 0.60, 0.61 a 2.50, 2.51 a 7.5 y mayores de 7.5 cm, respectivamente.
- 2) La humedad de combustibles tiene un fuerte impacto en la intensidad del fuego y su ritmo de dispersión.
- 3) La dirección y velocidad del viento constituyen la influencia más variable sobre el comportamiento del fuego.

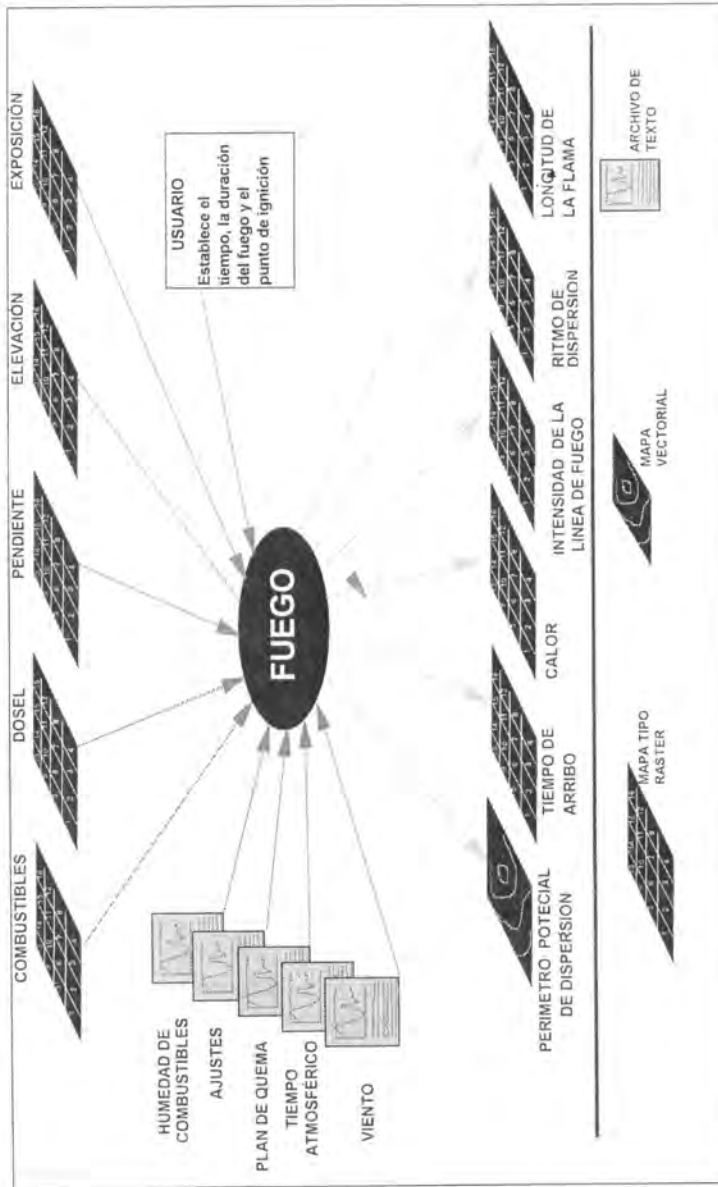


Figura 1. Diagrama de requerimientos y resultados en un proceso de simulación del comportamiento del fuego, basado en Campbell *et al.* (1996).

- 4) La pendiente del terreno permite la propagación del incendio más rápido cuando el fuego se mueve de la parte baja hacia arriba de una ladera, en comparación con un terreno plano donde el avance está supeditado al viento.

Un modelo de simulación sobre el comportamiento espacial del fuego genera los siguientes productos (Campbell *et al.*, 1996):

- 1) Velocidad de dispersión (m/minuto) a la cual el frente del incendio avanza;
- 2) Calor por unidad de área (kJ/m^2), que indica la cantidad de calor liberada por unidad de superficie durante cierto tiempo en un área dada del frente de la flama;
- 3) Intensidad de la línea de fuego (kW/m), que corresponde a la cantidad de calor generada en un segundo por unidad de longitud del frente del fuego;
- 4) Longitud de flama (m), que es el promedio de longitud de la flama hacia un punto de proyección;
- 5) Distancia de dispersión (m/tiempo), que señala el probable movimiento de avance del incendio en un periodo específico;
- 6) Mapa de distancia (m), que muestra el progreso del frente del fuego;
- 7) Área (ha), que consiste en la estimación de la superficie que abarca el incendio;
- 8) Componente de ignición (%), que define la probabilidad de que una brasa cause una ignición que pueda evolucionar en una nueva conflagración;
- 9) Intensidad de reacción ($\text{KJ/m}^2/\text{seg}$), que es el calor liberado por unidad de superficie y tiempo.

Velocidad y área de propagación del fuego

La velocidad de propagación de un incendio resulta de la combinación de los factores descritos. No obstante, en el caso de una quema controlada la situación se simplifica, ya que se elige el día en el que se realizará y, con ello, se pueden predecir las condiciones meteorológicas, así como el terreno donde ocurrirá.

Rothermel (1983) propuso una ecuación que toma en cuenta dichos elementos. Con base en esta perspectiva se formuló el siguiente juego de ecuaciones que permiten, para el caso de las quemadas controladas, estimar el área incendiada:

$$ROS = - 5.321429 + (0.454762 * S) + (0.560714 * F) \dots \dots \dots (1)$$

$$FSA = \sum_{t=0}^{t=x} \sum_{c=1} 1 / (ROS / CS) \dots \dots \dots (2)$$

Sustituyendo (1) en (2):

$$FSA = \sum_{t=0}^{t=x} \sum_{c=1} 1 / (- 5.321429 + (0.454762 * S) + (0.560714 * F) / CS) \dots \dots \dots (3)$$

Donde:

- ROS = Velocidad de propagación calculada (m/h)
- S = Pendiente (%)
- F = Carga de combustibles de 1h (ton/ha)
- FSA = Área de propagación del fuego en un periodo dado (ha/h)
- CS = Longitud de la celda (m)
- t = Tiempo
- x = Periodo de tiempo dado (h)
- c = Número de ciclos o tiempo en horas que tarda el fuego en quemar un pixel, en relación al tamaño del pixel y la velocidad de propagación del fuego (c = 1 cuando c < 1)

El valor de *FSA* es cero cuando *S* y *F* son cero, no obstante que esto implicaría un valor de *ROS* negativo, en cuyo caso se considera como nulo.

Modelos conceptuales de incendios forestales

Los incendios forestales son un fenómeno complejo, pueden iniciarse en un punto en particular y, posteriormente, generar igniciones subsecuentes que producen incendios secundarios, lo que constituye una de las formas más importantes para su propagación, misma que se ha explicado mediante aproximaciones heurísticas del comportamiento del flujo del fuego, que facilitan la estimación de la distancia máxima donde se presentarían tales igniciones secundarias.

Por lo tanto el modelado de incendios forestales requiere de un sistema de información que soporte búsquedas y análisis tanto espaciales, como temporales. Hasta los inicios de la última década del siglo XX el problema fundamental había sido el almacenamiento eficiente de datos, en espacio y tiempo (Yuan, 1994); en la actualidad el aumento de la velocidad y capacidad de los equipos de cómputo

permite desarrollar mejores algoritmos numéricos y, con ello, procedimientos de modelado más precisos.

En general, existen cuatro modelos conceptuales para el diseño de un sistema de información geográfica [SIG] del comportamiento del fuego en los incendios forestales (Figura 2), comprendidos en términos de un razonamiento espacio-temporal (Yuan, 1997).

- 1) Delimitación por ubicación.- que hace énfasis en las unidades espaciales y su localización son predeterminadas, la realidad es descrita mediante unidades espaciales. Varios estudios de predicción de incendios se basan en este modelo, ya que mucha de la información que necesitan está derivada de datos de sensores remotos, donde los "píxeles" son predeterminados. El fuego se aborda desde el punto de vista de la ubicación del incendio (Yuan, 1994), es decir, las unidades espaciales son determinadas antes de la descripción del fuego y de las características ambientales. Se basa en una perspectiva centrada en la ubicación, con el propósito de razonar primero "el dónde", después "el cuándo" y finalmente "el qué".
- 2) Entidad del incendio.- que se usa para describir la dispersión y movimiento del fuego de acuerdo a sus posiciones espaciales e individuales a través del tiempo. En contraste con el sistema anterior se describe la realidad desde la perspectiva de la ocurrencia del incendio. De tal forma que se razona en principio sobre "el qué", luego "el cuándo" y por último "el dónde" (Yuan 1994).
- 3) Delimitación por entidad.- éste difiere del modelo de "delimitación por ubicación" en que las descripciones se hacen con el enfoque de una entidad, tal como un incendio, en lugar de referirlas a una ubicación predeterminada; se presenta la realidad desde la perspectiva de la existencia del incendio.
- 4) Mosaico de incendios.- que utiliza una serie de polígonos, cada uno de los cuales difiere de sus vecinos en términos de un cierto atributo. Su enfoque es parecido al de delimitación por ubicación, pues también considera al fuego desde el punto de vista de la localización del incendio (Yuan, 1994).

De acuerdo con lo anterior, el objetivo de este trabajo es generar un modelo de simulación espacial sobre el comportamiento del fuego en una quema controlada, con base en el cual se podrá determinar el tamaño del área, su forma y la ubicación geográfica de la dispersión del fuego.

Se asume la siguiente hipótesis nula: la distribución espacial de la variación de las cargas de combustibles y de la pendiente no son suficientes para modelar el comportamiento del fuego.

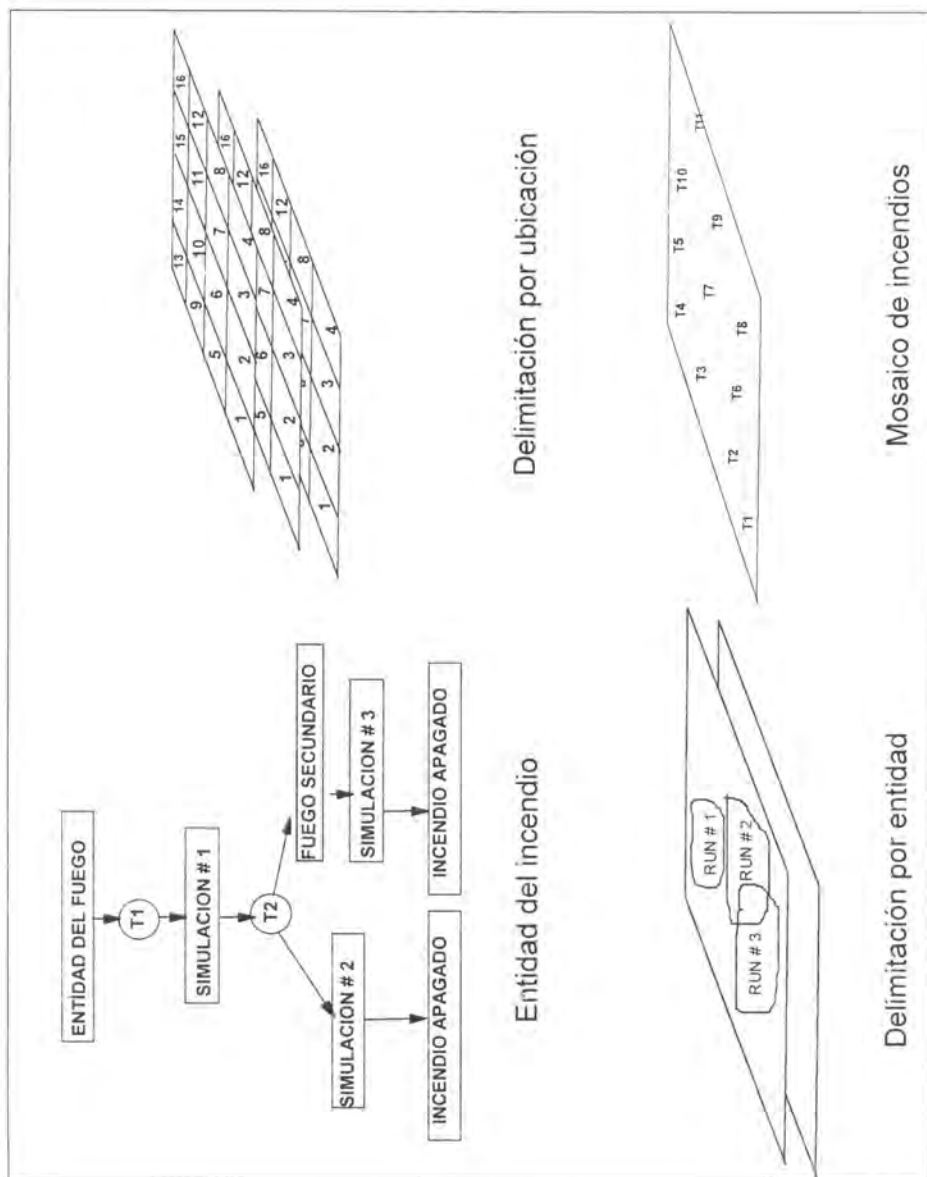


Figura 2. Cuatro de los principales modelos conceptuales sobre el razonamiento espacio-temporal de los incendios forestales, basado en Yuan (1997).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El presente trabajo se llevó a cabo con la información tomada en una superficie arbolada de 1200 ha del ejido El Largo y Anexos, el cual es representativo del Complejo de Ecosistemas del Bosque Apache-Madreano; se localiza en la región de la Mesa del Huracán, al NO del estado de Chihuahua (Figura 3). La topografía es montañosa, con algunas áreas planas que definen pequeños valles dentro de un rango altitudinal que varía de 1400 a 2300 msnm. Las especies arbóreas predominantes son: *Pinus durangensis* Martínez, *P. arizonica* Engelm., *P. engelmannii* Carr. y *Quercus sideroxyla* Humb. et Bonpl. La mezcla de especies produce una carga de combustibles muy particular, especialmente en lo que se refiere a los finos o menores a 0.6 cm, representando un riesgo de incendio elevado durante la época de sequía, que ocurre entre marzo y junio (UCODEFO No 2, 1997).

Toma de datos

Los datos de pendiente y distribución de combustibles, se obtuvieron mediante un inventario específico de 554 sitios de 1000 m² (Flores, 2001), distribuidos al azar en 43 rodales definidos por: especie, densidad y exposición. La ubicación del centro de cada sitio se georreferenció con un sistema global de geoposicionamiento (GPS). Las coordenadas respectivas se corrigieron diferencialmente, para conseguir una precisión nominal menor a 10 m.

Debido a que los materiales inflamables de dimensiones pequeñas tienen más influencia en el comportamiento del fuego (Flores y Benavides, 1996), sólo se consideraron combustibles de una hora de tiempo de retardo [1h]. Estos incluyen hojarasca y ramillas con diámetro menor a 0.6 cm y su evaluación se basó en las técnicas descritas por Brown *et al.* (1982).

Los sitios fueron circulares, dentro de ellos se ubicaron transectos de 2.5 m para estimar las toneladas por hectárea de los combustibles finos, lo cual se complementó con la toma de muestras de hojarasca, que se secaron y pesaron, con esta información se calcularon las toneladas correspondientes por hectárea (Figura 4).

Los valores de combustibles de 1h y sus respectivas coordenadas se usaron para correr interpolaciones simples, con el propósito de definir su distribución espacial (Figura 5).

Para la estimación de la pendiente se utilizó un modelo de elevación digital con resolución de 90 x 90 m.

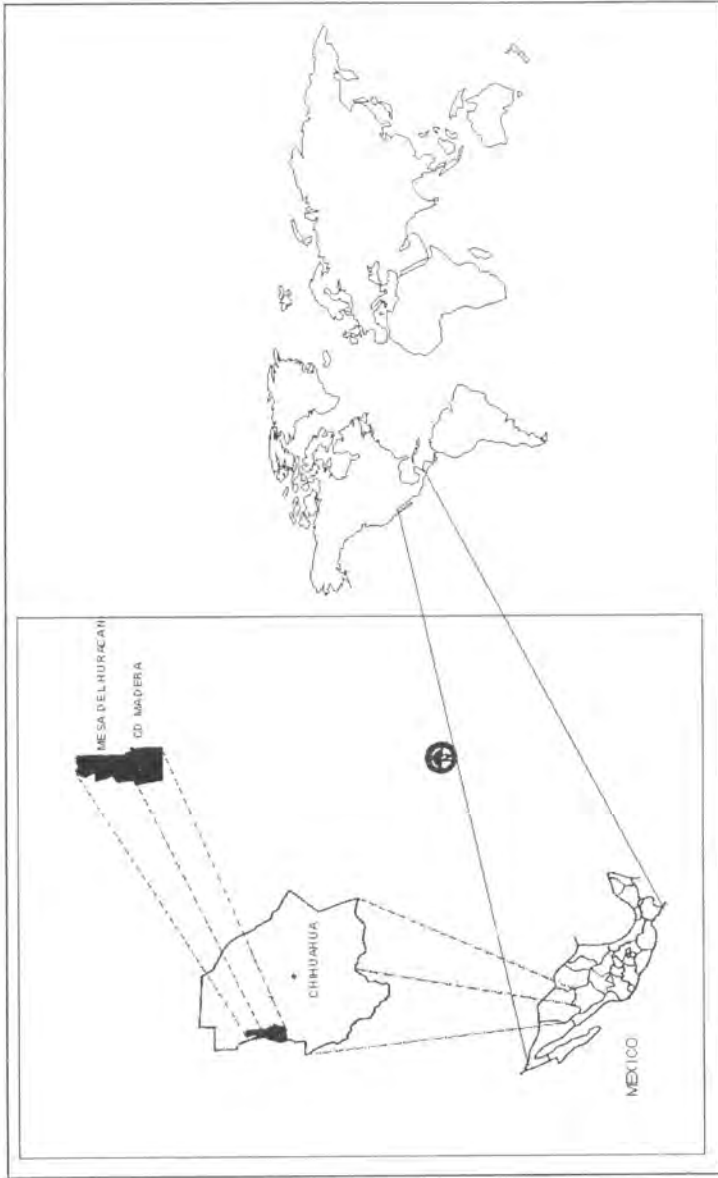


Figura 3. Ubicación de la Mesa del Huracán, al NO del estado de Chihuahua.

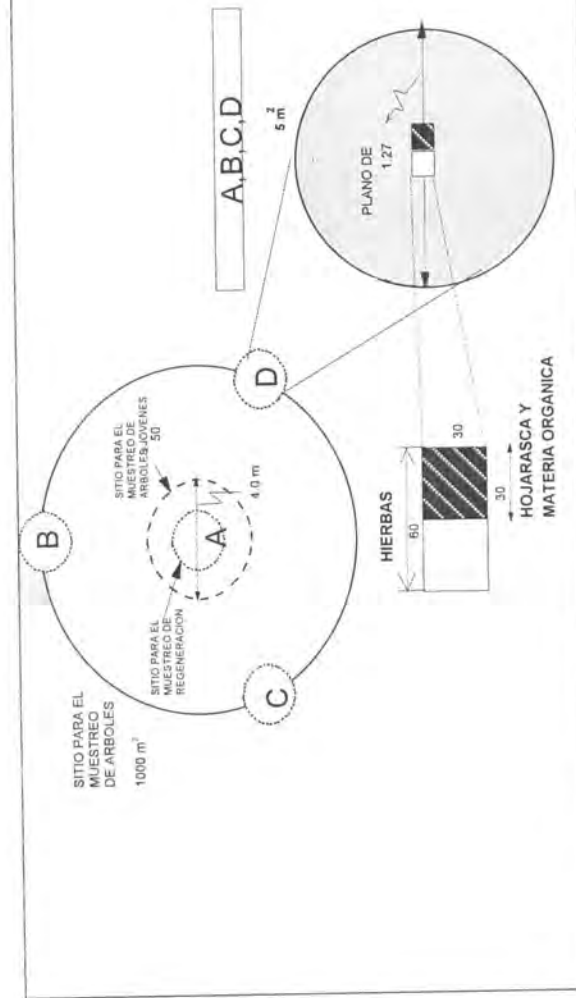


Figura 4. Diseño del sitios de muestreo usado para la evaluación de combustibles forestales, adaptado de Brown et al. (1982).



Figura 5. Distribución espacial de combustibles de una hora, con resolución de 90 x 90 m., en un área de corta del ejido El Largo, Madera, Chihuahua.

Supuestos y consideraciones

- 1) En este estudio, el uso de la simulación se restringe a quemas controladas, considerando que el día que se apliquen será con pleno conocimiento de las condiciones ambientales, sobre terrenos forestales de 5 a 20 ha.
- 2) Como en la simulación se desea determinar el tamaño de la superficie, su forma y la ubicación geográfica de la dispersión del fuego, se requiere disponer de mapas temáticos de pendiente y combustible.
- 3) Los combustibles finos, hojarasca y ramillas con diámetro menor a 0.6 cm, representan un mayor riesgo de incendio, por lo que fueron los únicos que se analizaron.
- 4) La variación espacial de la pendiente y la carga de combustibles sobre áreas pequeñas de 90 x 90 m, conocidas como el pixel o celda en la técnica "raster", permiten determinar la evolución del fuego.
- 5) La simulación se realiza de acuerdo con una estimación de la velocidad de propagación del fuego desde una perspectiva centrada en la ubicación del incendio para describir la realidad.
- 6) Se acepta que las ecuaciones simplificadas de Rothermel (1983) estiman la velocidad de propagación del incendio, a partir de la pendiente del terreno y la disponibilidad de material inflamable.
- 7) Para el cálculo del área de propagación del fuego, el modelo asume un contenido de humedad del 9% en los combustibles y un viento a media flama de 9 km/h con dirección norte.
- 8) La simulación del fuego actúa sobre un patrón espacial, desde un tiempo inicial (t) hasta un periodo dado ($t + t_n$), en función de la velocidad de propagación, con ciclos temporales de una hora.
- 9) Al dividir la longitud de un lado de la celda entre la velocidad de propagación del incendio, los valores de uno o menores indican que se ha quemado toda el área.
- 10) Por tratarse de una quema controlada, el incendio sólo se propagará por contacto de celdas contiguas.
- 11) Se considera la simulación del comportamiento del fuego a partir de un solo punto inicial; es decir, no se incluyen incendios simultáneos.

Desarrollo de la simulación de dispersión espacial del fuego

La predicción del comportamiento del fuego se realizó estimando la velocidad de propagación (Zack y Minnich, 1991) mediante el modelo de "delimitación por ubicación".

El modelo simula el área de propagación del fuego (APF) en forma determinística, basado en la variación espacial de la carga de combustibles de 1h y la pendiente.

Para el cálculo del APF, se asume un contenido de humedad en los combustibles de 9% y un viento a media flama con dirección norte de 9 km/h. Los parámetros de propagación se definieron según lo que señala el National Wildfire Coordinating Group (1994). La relación del viento con la pendiente fue variable, según la topografía del terreno. Cualquier otro factor se consideró constante.

La ecuación 1 determina la velocidad de propagación del fuego a partir de la carga de combustible y la pendiente del terreno, y para estimar los cambios de la propagación del patrón espacial, desde un tiempo inicial (t) hasta un periodo dado ($t + t_n$), en función del tiempo especificado y la velocidad de propagación (ecuaciones 2 y 3).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El modelo desarrollado bajo la perspectiva "raster", celda o pixel, permite trabajar con cambios puntuales tanto en la cantidad de combustibles, como en la pendiente. Aunque, la simulación se desarrolló con el Sistema de Información Geográfica ARC/Info[®] en ambiente UNIX[®], el cómputo para determinar la propagación potencial se hizo con un programa externo.

La base de datos o mapas temáticos se generó en ARC/Info[®], conectada al programa externo, elaborado en lenguaje "C", mediante un programa intermedio basado en Arc Macro Language (AML). La arquitectura general comprende el proceso en tres módulos (Figura 6).

Módulo I: la información espacial para correr el programa en "C" debe estar en un formato ASCII exportable desde ARC/Info[®], compuesto por: a) un encabezado con información acerca de la ubicación geográfica de la base de datos, el número de renglones y columnas, además del tamaño o longitud de la celda, que es cuadrada y; b) una matriz con el valor de toneladas de combustible por hectárea de cada celda; por lo que los mapas temáticos o matrices de pendiente y combustible son convertidos a archivos ASCII, derivados por el comando "asciigrd". Se asume que, previamente, el usuario del modelo ha definido tales mapas temáticos.

Módulo II: aquí se desarrolló la mayoría del algoritmo. El programa en "C" trabaja con los siguientes cinco argumentos: a) archivo ASCII de pendientes (%); b) archivo ASCII de combustibles (ton/ha); c) nombre del archivo ASCII de salida, presenta la dispersión del fuego; d) tiempo deseado de simulación (h) y; e) coordenadas UTM (XY) del punto de inicio.

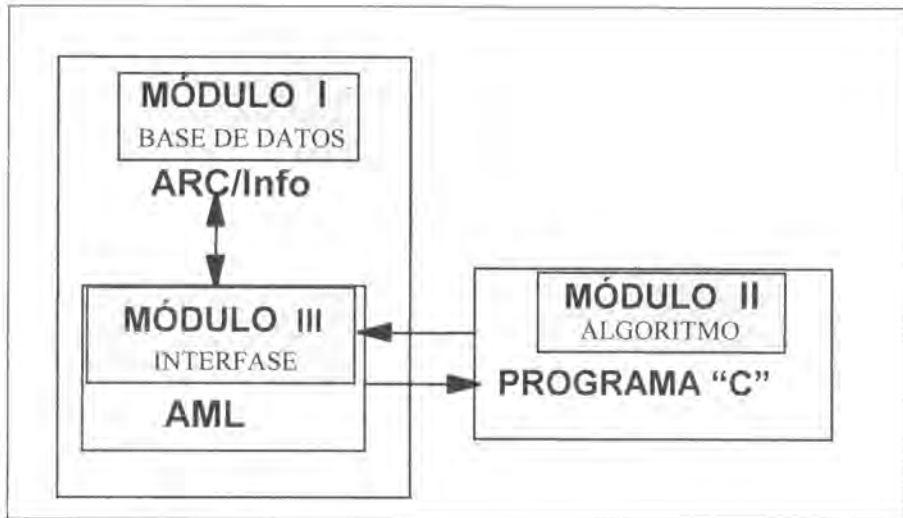


Figura 6. Estructura básica que soporta al algoritmo usado en el desarrollo del modelo de simulación espacial.

Primero, el programa lee los archivos "asciigrid" de pendiente y combustible, después trabaja con los valores de las matrices correspondientes, utilizando el valor del ROS (Ecuación 1), todas las celdas de la matriz de pendiente son procesadas junto con las celdas correspondientes a la de combustible (Figura 7).

Como resultado se obtiene una matriz de la velocidad de propagación, que sirve para generar otros cuadros, entre ellos, la fracción de las celdas que son quemadas en una hora, dividiendo los valores correspondientes de dicha matriz entre el tamaño de celda. Si se quiere conocer cuántas horas o ciclos son necesarios para quemar cada celda en su totalidad, se divide la longitud de uno de sus lados entre el número de metros que se quemarían en una hora, a cierta velocidad de propagación (ecuaciones 2 y 3). El algoritmo considera que los valores que resulten menores a uno se igualarán a la unidad, pues la celda se ha consumido en un solo ciclo y el fuego pasa a la celda contigua.

A partir de la última matriz o cuadro, se genera la descripción del avance del fuego, la celda donde se "inicia" se ubica por medio de sus coordenadas UTM (Figura 8). Después, en el primer ciclo, el algoritmo verifica si las ocho celdas alrededor de la inicial cumplen con las siguientes condiciones: 1) presencia de una celda en una dirección dada; 2) que la celda no sea nula (NODATA, fuera de los límites de la matriz), igual a cero (cuando ya fue "quemada"), ni negativa (no es posible, pero por precaución se especifica esta condición); 3) las celdas con datos mayores a la unidad no han sido consumidas por el fuego, por lo que no se consideran "quemadas"; su valor disminuye una unidad en cada ciclo; 4) cuando

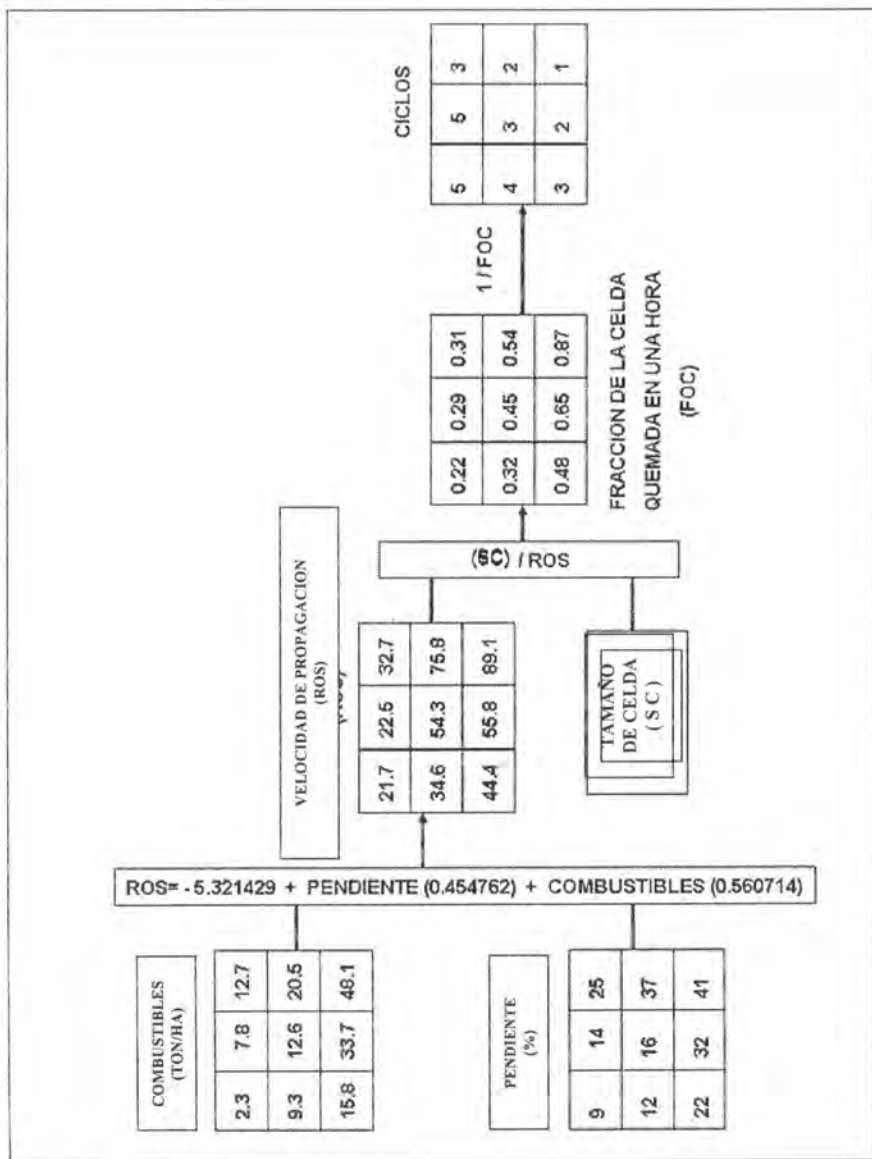


Figura 7. Algoritmo en el que se define el número de ciclos u horas requeridas para quemar completamente una celda.

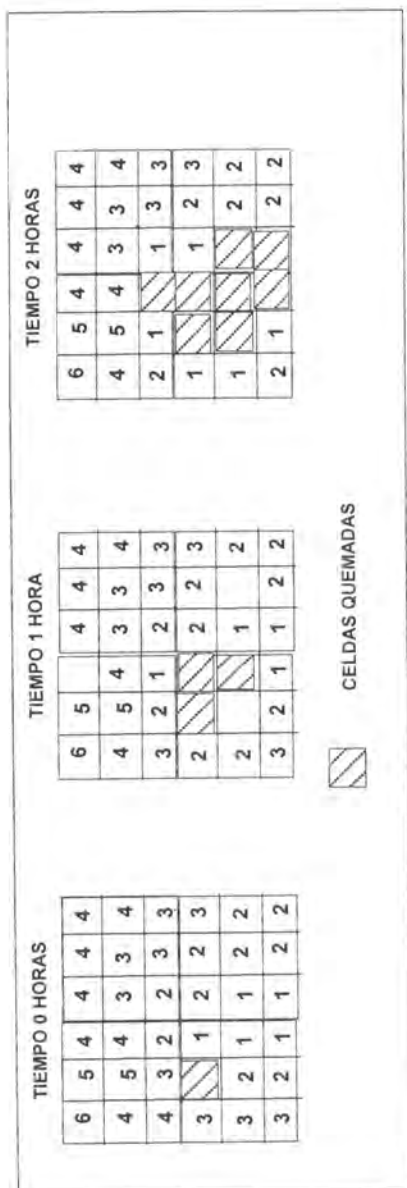


Figura 8. Secuencia del algoritmo para simulación de la propagación del fuego. Los valores de las celdas indican el número de horas requeridas para que una celda dada se quemara completamente.

una celda sea representada por el número uno se marca como "quemada", y se considera como una nueva celda o "chispa", capaz de propagar el fuego a las adyacentes mientras exista al menos una celda colindante válida.

En el siguiente ciclo, las celdas "chispa" continúan el mismo proceso, originando nuevas, hasta que se cumpla el número total de ciclos preestablecidos, es decir, la duración en horas de la quema controlada; este número se define al especificar el tiempo de duración de la simulación.

En el archivo ASCII, las celdas "quemadas" son marcadas con el valor de uno. Finalmente, según su tamaño y número, el programa calcula la cantidad de hectáreas quemadas y su porcentaje en relación al área total.

Módulo III: el programa en AML sirve de interfase entre ARC/Info[®] y el programa en "C" y su función es preparar todos los argumentos requeridos. Primero, solicita al usuario que seleccione la cobertura deseada del área de estudio (desplegada en la pantalla de la computadora); así como sus correspondientes coberturas de pendiente y carga de combustibles. Con la herramienta de "cruz" (hair cross), el usuario apunta en la pantalla la celda donde se desea iniciar la simulación de propagación del fuego. Como resultado se definen las coordenadas UTM de dicho punto inicial. A continuación, el programa pregunta por el periodo en que se desea correr la simulación y el nombre del mapa que contendrá los datos. Con estos argumentos, el programa en AML llama al programa en "C", el cual genera el mapa (archivo ASCII) con los resultados, que es convertido a un archivo propio de ARC/Info (con el comando "asciigrd") y se despliega en la pantalla (Figura 9).

El modelo generado para simular el área de propagación de una quema controlada tiene varias limitaciones. La más importante radica en que no abarca todos los argumentos requeridos, como son: humedad de combustibles, combustibles de 10 h, dirección y velocidad del viento, dirección del fuego hacia arriba o debajo de la pendiente, entre otros. La inclusión de estas condiciones en el algoritmo podría alterar principalmente la forma del área quemada resultante de la simulación.

La perspectiva de celdas (raster) favorece la inclusión de cambios espaciales de los factores que influyen en el comportamiento del fuego a varias escalas. Esa es una de las grandes ventajas del manejo de celdas, al compararla con el uso de polígonos bajo concepción vectorial. La razón principal es que el uso de polígonos considera las características de los factores que influyen en el comportamiento del fuego como homogéneas a lo largo del polígono.

Esto ocurre, por ejemplo, bajo la perspectiva del uso de modelos de combustibles, en donde un área forestal es dividida en varios polígonos, cada uno con características espaciales homogéneas, lo que revela un comportamiento del

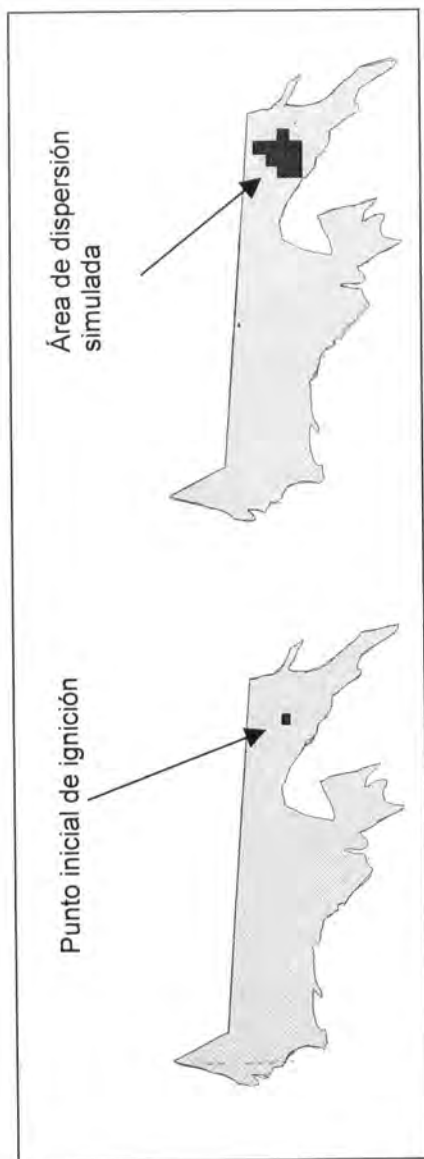


Figura 9. Área de propagación del fuego que resultó después de siete horas de tiempo de simulación, desde un punto inicial de ignición.

fuego único en cada uno de los polígonos. Lo anterior no permite apreciar o incorporar cambios de los factores que inciden en el comportamiento del fuego a escalas mayores.

CONCLUSIONES

Los resultados sugieren rechazar la hipótesis nula, ya que fue posible modelar el comportamiento del fuego en función de la variación espacial de la carga de combustibles (ton/ha) y la pendiente (%).

La perspectiva de celdas o "raster" hace relativamente más fácil el proceso de programación, ayudando a entender el porqué de la propagación del fuego hacia cierta dirección. Sin embargo, la precisión espacial de este tipo de modelado está altamente relacionada con el tamaño de la celda.

Las dimensiones de las celdas utilizadas (90 x 90 m), limitan la interpretación de la propagación del fuego para áreas pequeñas, aunque el método propuesto puede usarse con tamaños menores de celda.

El procedimiento ilustrado plantea bases firmes para el desarrollo de modelos completos, no sólo para simular el área de dispersión, sino también otros factores del comportamiento del fuego como son altura de flama y calor por unidad de área.

REFERENCIAS

- Aguirre B., C. 1978. Efecto del fuego en las propiedades físicas, químicas, biológicas y erosión del suelo. Tesis Profesional. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de México. 287 p.
- Brown J., K., R. D. Oberheu and C. M. Johnston. 1982. Handbook for inventorying surface fuels and biomass in the interior West. USDA, Forest Service. General Technical Report INT-129. 48 p.
- Campbell, J., K. Green, D. Weinstein and M. Finney. 1996. Fire growth modeling in an integrated GIS environment. *In*: Proc. of the Southern Forestry Geographic Information Systems Conference. Athens, GA. pp. 133-142.
- Finney M., A. 1996. FARSITE Fire Area Simulator. User's guide and technical documentation. Systems for Environmental Management. Version 2.0. Missoula, MT. USA. 116 p.
- Flores G., J. G. 2001. Modeling the spatial variability of forest fuel arrays. Ph. D. Dissertation. Dept of Forest Sciences. Colorado State University. Fort Collins, CO, USA. 184 p.
- Flores G., J. G. y J. de D. Benavides S. 1993. Quemadas controladas y su efecto en los nutrimentos del suelo en un rodal de pino. Boletín de Difusión Amatl Vol. VII (1-2): 3-6.

- Flores G., J. G. y J. de D. Benavides S. 1994. Efecto de las quemas prescritas sobre algunas características del suelo en un rodal de pino. *Revista Terra* 12 (4): 393-400.
- Flores G., J. G. y J. de D. Benavides S. 1996. Soil chemical changes due to fire when prescribed burns are applied in a temperate forest of Mexico. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 12 (2):75-81.
- González-Cabán A. and D. V. Sandberg. 1989. Fire management and research needs in Mexico. *Journal of Forestry* 87(8): 20-26.
- Hargrove, W. W. 1994. Using EMBYR, a large scale probabilistic fire model, to recreate the Yellowstone Forest Lake fire. <http://research.esd.ornl.gov/EMBYR/embyr.html> (9 de Septiembre de 2004).
- Hudson J., y M. Salazar. 1981. Las quemas prescritas en los pinares de Honduras. Serie Miscelánea No. 1. Escuela Nacional de Ciencias Forestales. Siguatepeque, Honduras. 58 p.
- Martínez M., A., J. G. Flores G. y J. de D. Benavides S. 1990. Índices de riesgo de incendio en la sierra de Tapalpa, Estado de Jalisco. *Rev. Cien. For. en Méx.* 15 (67): 3-34.
- National Wildfire Coordinating Group. 1994. Intermediate wildland fire behavior. *In: S-290 Course. Student Workbook NFES2378. National Interagency Fire Center. Boise, Idaho. USA. pp. 335-360.*
- Omi, P. N. 1997. Forest fire management. *In: F424 Course. University Text. Colorado State University. Fort Collins, CO. USA. 117 p.*
- Rothermel, R. C. 1983. How to predict the spread and intensity of forest and range fires. USDA, Forest Service. General Technical Report INT-143. 161 p.
- Unidad de Conservación y Desarrollo Forestal (UCODEFO) No 2. 1997. Aplicación del inventario forestal continuo (I.F.C.) en los bosques del ejido "El Largo". UCODEFO No 2. Ciudad Madera, Chihuahua, México. 34 p.
- Veach, M. S., P. D. Coddington and G. C. Fox. 1994. BURN: A simulation of forest fire propagation. <http://citeseer.nj.nec.com/119736.html> (4 de Noviembre de 2004).
- Yuan, M. 1994. Representation of wildfire in Geographical Information Systems. Ph.D. thesis, State University of New York at Buffalo. USA. 247 p.
- Yuan, M. 1997. Knowledge acquisition for building wildfire representation in Geographic Information Systems. *The International Journal of Geographic Information Systems*, 11(8): 723-745.
- Zack, J. A. and R. A. Minnich. 1991. Integration of geographic information systems with a diagnostic wind field model for fire management. *Forest Science*, 37(2): 560-573.

VARIACIÓN MORFOLÓGICA E ÍNDICE DE CALIDAD EN PLANTAS DE *Pinus cembroides* var. *cembroides* Zucc.

José González Avalos¹, Edmundo García Moya²,
Victor Manuel Cetina Alcalá³, J. Jesús Vargas Hernández³,
Antonio Trinidad Santos⁴ y Angélica Romero Manzanares²

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar los atributos morfológicos y calidad de planta en procedencias de *Pinus cembroides* de los estados de Chihuahua, Coahuila, Durango, Zacatecas, Guanajuato y Querétaro. Semillas de cada localidad fueron germinadas bajo condiciones de invernadero en una mezcla de *peat moss*: perlita: vermiculita. Entre procedencias se obtuvieron diferencias significativas en la velocidad de germinación, la de Chihuahua tuvo el valor promedio más alto (11.6 d). Al mes de edad, las plantas de Coahuila presentaron el mayor diámetro (1.69 mm); mientras que las de Chihuahua fueron las de porte superior (3.28 cm). Las plántulas de Querétaro mostraron el máximo diámetro a los ocho y once meses, y a las de Coahuila les correspondió la altura más grande. A los 12 meses se seleccionaron al azar 10 individuos para medirles la biomasa y estimar la calidad, a partir de lo cual surgieron diferencias entre localidades, pero la superioridad dependió del índice de calidad en particular. La procedencia manifestó una ponderación relevante. Las semillas del norte, germinaron rápido, pero tuvieron el menor diámetro al final del estudio; en tanto que las de origen meridional, fueron más lentas en la germinación, aunque de mayor porte. Esta respuesta pareciera ser una adaptación para la supervivencia.

Palabras clave: Biomasa aérea y radical, calidad de planta, germinación, *Pinus cembroides* Zucc., piñón, procedencia.

Fecha de recepción: 12 de julio de 2005.

Fecha de aceptación: 10 de enero de 2005.

¹ Centro de Investigaciones Forestales. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Correo-e: goavjo@yahoo.com

² Programa de Botánica, Colegio de Postgraduados.

³ Programa Forestal, Colegio de Postgraduados.

⁴ Programa de Edafología, Colegio de Postgraduados.

ABSTRACT

The objective of this study was to assess the morphological and seedling quality attributes of provenances of *Pinus cembroides* from the states of Chihuahua, Coahuila, Durango, Zacatecas, Guanajuato and Queretaro. Seeds from each provenance were germinated under greenhouse conditions in a peat moss: perlite: vermiculite mixture. There were significant differences in both, completeness and speed of germination, among provenances. The Chihuahua provenance germinated the earliest (11.60 d). At one month of age, seedlings from Coahuila had the largest diameter (1.69 mm), while the Chihuahua source was the tallest (3.28 cm). At 8 and 11 months, the Queretaro source had the largest diameter, while the Coahuila source was de tallest. At 12 months, 10 seedlings were selected at random for biomass measurements and quality assessment. Again, there were significant differences among provenances, but the superior provenance was dependent on the particular quality index. Of greatest importance was the latitude origin. Seeds from northern provenances have faster germination speeds, but were smaller in diameter et the of the study, while sources from southern latitudes had slower rates of germination, but were larger at the end of the study. This appears to be an adaptive mechanism for survival.

Key words: Shoot and root biomass, seedling quality, germination, *Pinus cembroides*, pinyon, provenance.

INTRODUCCIÓN

Pinus cembroides var. *cembroides* Zucc. tiene una amplia distribución. En Estados Unidos se localiza en Arizona, Nuevo México y Texas; mientras que en México crece en la Sierra Madre Occidental y en la Sierra Madre Oriental. Las poblaciones se desarrollan en Sonora, Chihuahua, Coahuila, Durango, Zacatecas, Nuevo León, Tamaulipas, San Luís Potosí, Aguascalientes, Jalisco, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Veracruz, Tlaxcala y Puebla. En la mayor parte de su distribución *P. cembroides* ocupa una zona de transición entre las áreas secas y los bosques de coníferas. El rango altitudinal abarca entre los (800-)1,500-2,600(-2,800) m. El clima es cálido y seco, con una precipitación promedio anual de 380-650 mm y una estación seca de 7-8 meses (Farjon y Styles, 1997).

Las especies con mayor amplitud geográfica contienen una alta diversidad genética en comparación con las de localización limitada. La variabilidad ambiental presente en el área de distribución de *P. cembroides* var. *cembroides*, es otro factor importante para su diversidad (Wright, 1976). El fenotipo de una población está determinado por su genotipo y el ambiente (Zobel y Talbert, 1994). Los ensayos de procedencias prueban semillas recolectadas de varias poblaciones

naturales y las plántulas se desarrollan bajo condiciones semejantes, a efecto de observar las diferencias asociadas al lugar de origen (Wright, 1976). En estudios con coníferas se ha evidenciado el efecto de la procedencia sobre las características de tamaño, germinación y velocidad de germinación de las semillas; así como su incidencia en la morfología y la fisiología de las plántulas (Chang, 1989; Alba *et al.*, 1998; Martínez *et al.*, 2002; Aldrete *et al.*, 2005).

Los atributos fisiológicos propios de una planta de calidad son: su estado hídrico, nutricional, la concentración de carbohidratos y su sanidad. La altura, diámetro, sistema radical, lignificación de la planta, arquitectura del tallo, yema apical y existencia de micorrizas constituyen las características morfológicas usadas para medirla. Además, se utilizan índices que estiman con mayor precisión la calidad, entre los cuales destacan: la relación tallo/raíz, el cociente altura/diámetro, el índice de vigor y el índice de calidad de Dickson (Dickson *et al.*, 1960; Pawsey, 1972; Lopushinsky, 1976; Duryea, 1984).

En este contexto el presente estudio tuvo como objetivos determinar el efecto de la procedencia en el porcentaje y velocidad de germinación; así como analizar tanto la variación morfológica y la calidad de las plantas con base en atributos morfológicos entre procedencias de *P. cembroides* var. *cembroides*.

La hipótesis planteada fue de que la germinación de las semillas, los atributos morfológicos y la calidad de las plantas de *P. cembroides* var. *cembroides* varían entre procedencias.

MATERIALES Y MÉTODOS

Origen del germoplasma

La semilla de *P. cembroides* var. *cembroides* correspondió a seis procedencias naturales obtenidas a granel (Cuadro 1). Se adquirieron lotes de dos kilogramos por procedencia, cosechada en octubre y noviembre del 2002. Al material se le aplicó un fungicida-insecticida (Metacaptán), para evitar el ataque de plagas y enfermedades y se mantuvieron en refrigeración a una temperatura aproximada de 5°C, hasta el momento de la siembra.

Establecimiento del ensayo

La investigación se realizó en el invernadero del Programa Forestal del Colegio de Posgraduados, Montecillo, Estado de México durante los meses de junio del 2001 a julio del 2002. El sitio tiene una estructura con paredes y techo de cristal, cuenta con ventanas móviles para permitir la ventilación y el piso tiene una cubierta de roca volcánica (tezontle). La temperatura fluctuó entre los 14 y 31°C, las ventanas se mantuvieron abiertas en el día y cerradas por la noche.

Cuadro 1. Rasgos ecológicos de las procedencias de seis lotes de semilla de *P. cembroides* Zucc.

Procedencia	Coordenadas	Altitud (msnm)	Temperatura media anual (°C)	Precipitación media anual (mm)
San José Bachiniva, Chih.	28° 44' 48" N 107° 20' 12" W	2,200	12	450
Santa Rosa, Saltillo, Coah.	24° 38' 18" N 101° 41' 36" W	2,200	14	400
Mezquital, Dgo.	23° 29' 42" N 104° 19' 30" W	2,200	16	700
San Antonio de las Huertas, Zac.	23° 05' 54" N 103° 00' 00" W	2,400	16	500
Tierra Blanca, Gto.	21° 00' 00" N 100° 15' 18" W	2,000	16	600
Cadereyta, Qro.	20° 50' 12" N 99° 41' 36" W	2,200	16	700

Fuente: INEGI, 1981

Las semillas fueron sembradas el 8 de junio del 2001, en contenedores de plástico modelo M 49 (Polietilenos del Sur, Jiutepec, Mor.), con capacidad de 125 ml, los cuales se llenaron con una mezcla de sustrato en una proporción de tres partes de "peat moss", una de agrolita y una de vermiculita (Hummert de México, S. A. de C. V.), al que se le agregó fertilizante osmocote de lenta liberación (18-06-12) en una dosis de 3.5 kg/m³ de sustrato, la profundidad de siembra fue de 2 cm. Los contenedores se colocaron en el interior del invernadero para la germinación de las semillas. El manejo consistió en riegos diarios para que el sustrato se mantuviera a capacidad de campo y, aplicaciones semanales de Captan un g/L de agua, hasta los tres meses de edad de las plantas, para prevenir el ataque de hongos.

El diseño experimental fue completamente al azar, en el cual los tratamientos fueron las procedencias. La unidad experimental se integró con 10 plantas y se usaron 10 repeticiones por tratamiento.

Variables evaluadas

Germinación.- El criterio de a la semilla germinada se basó en la emergencia de los cotiledones hacia la parte exterior de la superficie del sustrato. La variable días para la emergencia a 50% de plántulas se determinó mediante el registro del tiempo que tardó cada una en salir desde el momento de la siembra, el valor considerado fue cuando se tuvo 50% del desarrollo total de las plántulas (López *et al.*, 2000).

Diámetro y altura de las plántulas.- Al mes de edad de las plántulas, con un vernier digital Marca Mitutoyo (Modelo CD-S6) se midió el diámetro en milímetros; lo anterior se repitió a los ocho y once meses. Al mismo tiempo se obtuvo su altura con una regla cuya escala estaba en milímetros.

Índice de calidad de plantas.- Al año se seleccionaron al azar 10 plantas de cada procedencia, a las cuales se les lavó y cortó la raíz y junto con la parte aérea se sometieron a secado hasta peso anhidro, en un horno Grieve Modelo LW-201C (The Grieve Corporation), a una temperatura de 40°C. Después se pesaron en una balanza analítica Sartorius CP 124S (Sartorius AG, Göttingen). Con los datos de peso seco, diámetro y altura se realizaron las siguientes estimaciones:

$$\begin{array}{l} \text{Índice de vigor} \\ \text{(Thompson, 1985)} \end{array} = \text{altura (cm)/diámetro (mm)}$$

$$\begin{array}{l} \text{Relación tallo/raíz} \\ \text{(Thompson, 1985)} \end{array} = \text{peso seco del tallo (g)/peso seco de la raíz (g)}$$

$$\begin{array}{l} \text{Índice de calidad de Dickson} \\ \text{Dickson et al., 1960} \end{array} = \frac{\text{Peso seco aéreo (g)}}{\frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro (mm)}} + \frac{\text{Peso seco aéreo (g)}}{\text{Peso seco radical (g)}}}$$

Análisis estadístico

Mediante el procedimiento GLM de SAS (Freud y Little, 1981) se hizo el análisis de varianza a los datos de germinación, velocidad de germinación e índices de calidad de las plantas. El modelo estadístico utilizado se describe a continuación (1):

$$y_{ij} = \mu + P_i + e_{ij} \quad (1)$$

Donde:

- y_{ij} = valor esperado
- μ = media poblacional
- t_i = efecto de la i -ésima procedencia
- e_{ij} = error experimental

Para el diámetro y la altura se utilizó un análisis de varianza con el procedimiento PROC MIXED del SAS (Freund y Little, 1981) y su opción para medidas repetidas (2):

$$y_{ij} = \mu + P_k + E_i + (PE)_{ik} + U_{ij} + e_{ij} \quad (2)$$

Donde:

- y_{ijk} = valor esperado a la edad k para la j -ésima repetición en la i -ésima procedencia
- μ = media poblacional
- P_k = efecto de la k -ésima procedencia
- E_i = efecto de la i -ésima edad
- EP_{ik} = efecto de la i -ésima edad dentro de la k -ésima procedencia
- U_{ij} = efecto del j -ésima repetición en la i -ésima procedencia
- $e_{i(j)}$ = error experimental

En el caso donde se tuvieron efectos significativos, se llevó a cabo la prueba de comparación de medias de Tukey con $\alpha = 0.05$ para identificar la diferencia entre procedencias.

Las correlaciones entre la latitud (variable independiente) y la germinación, diámetro, altura e índices de calidad de planta (variables dependientes) se hicieron con la finalidad de cuantificar el grado de asociación existente entre la procedencia y el origen geográfico de la semilla y se usó el coeficiente de correlación de Pearson.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Germinación

El análisis de varianza evidenció diferencia estadística significativa ($p < 0.0001$) entre procedencias, con relación a la velocidad de germinación de las semillas. Los resultados de la comparación de medias indican que el menor tiempo promedio lo tuvieron las semillas de Chihuahua, con menos de 12 días y el mayor tiempo promedio fue para las de Guanajuato, con un valor superior a los 14 días (Cuadro 2).

Cuadro 2. Porcentaje promedio de germinación de las semillas de *P. cembroides* var. *cembroides* de seis procedencias.

Procedencias	Germinación (Días para el 50%)
San José Bachiniva, Chihuahua	11.60 d
Santa Rosa, Saltillo, Coahuila	13.17 c
Mezquital, Durango	13.06 c
San Antonio de las Huertas, Zacatecas	13.70 b
Tierra Blanca, Guanajuato	14.06 a
Cadereyta, Querétaro	13.04 c

¹Valores en la columna seguidos por la misma letra son estadísticamente iguales.

La velocidad de germinación de la semilla se relacionó de manera lineal y pendiente negativa (coeficiente de correlación de Pearson = -0.8428 , $p \leq 0.035$) con la latitud (Figura 1). Las procedencias que presentaban distribución boreal registraron un menor tiempo de germinación que aquellas que se disponen hacia el sur. Resultados semejantes citan López *et al.* (2000) y Aldrete *et al.* (2005) para *Pinus greggii* Engelm., cuyas poblaciones estudiadas muestran diferencia en la velocidad de germinación; las más rápidas son de orientación al norte, respecto de las de tipo austral. Tal respuesta, parece ejercer cierta influencia genética, que se pudiera deber a una duración menor de la estación de crecimiento. Juárez *et al.* (2005) consignan una variación entre procedencias en la velocidad de germinación (días para el 50%) de semillas de *Pseudotsuga* spp.; las del norte nacen más rápido que las del centro y sur, lo que podría ser una adaptación a un ambiente con mayores limitaciones.

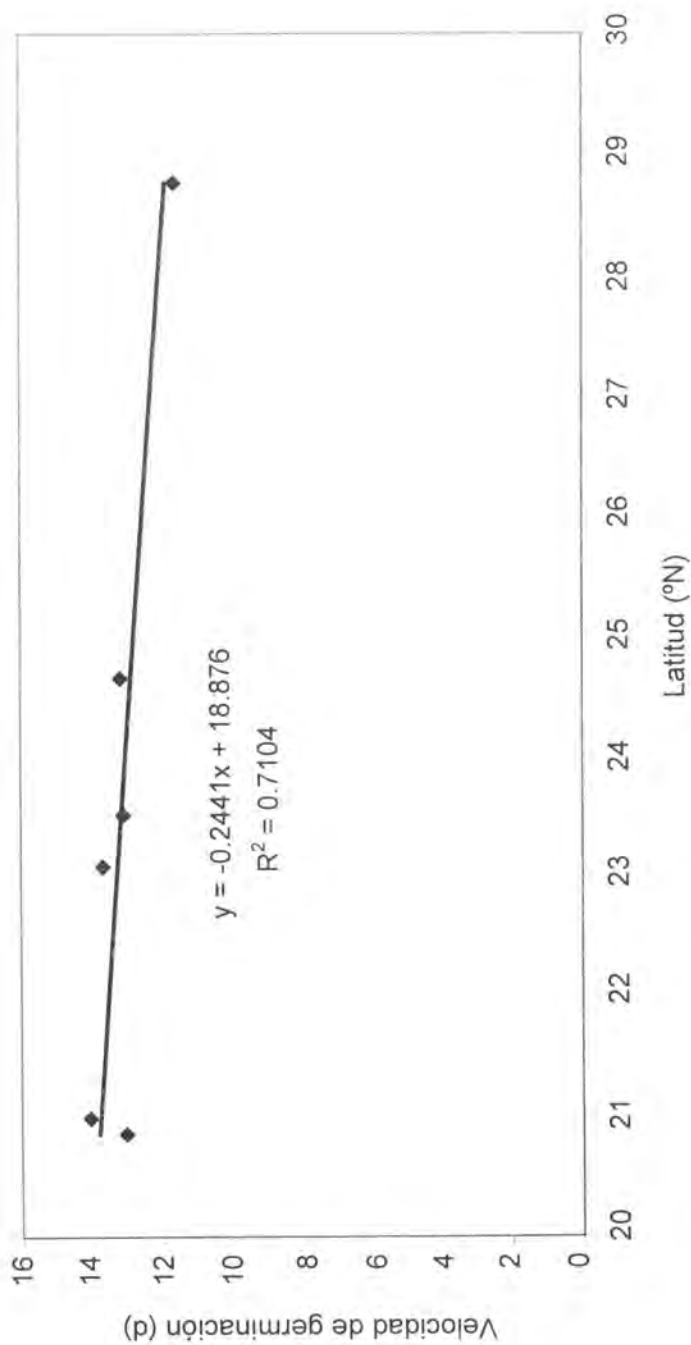


Figura 1. Relación de la velocidad de germinación (días para el 50%) de las semillas de *P. cembroides* y la latitud de su procedencia.

Altura y diámetro

La altura de las plantas exhibió diferencia estadística significativa ($p < 0.0001$) entre poblaciones y fechas de evaluación, pero no para la interacción ($p > 0.05$) (Cuadro 3). Al mes de edad, la procedencia con mayor tamaño fue Chihuahua, que superó los 3 cm a los ocho meses; las plántulas con la mejor altura correspondieron a Coahuila, con un valor promedio por arriba de los 8 cm, misma que conservó a los once meses, pero sin diferencia significativa ($p > 0.05$) entre procedencias.

Cuadro 3. Altura y diámetro al mes, ocho y once meses de edad en plantas de *P. cembroides* de seis procedencias de México.

Procedencia	Altura (cm)			Diámetro (mm)		
	1 mes	8 meses	11 meses	1 mes	8 meses	11 meses
Chihuahua	3.28 a ⁺	7.75 b	8.44 a	1.64 ab	2.67 b	3.03 a
Coahuila	2.78 bc	8.29 a	8.64 a	1.69 a	2.89 a	3.34 a
Durango	2.46 c	7.17 c	7.66 a	1.48 c	2.61 b	3.07 a
Zacatecas	2.58 bc	7.88 ab	8.19 a	1.58 b	2.78 ab	3.26 a
Guanajuato	2.64 bc	7.88 ab	8.08 a	1.60 b	2.97 a	3.44 a
Querétaro	2.81 b	8.00 ab	8.52 a	1.57 b	2.98 a	3.49 a

⁺Valores en la columna seguidos por la misma letra son estadísticamente iguales.

El crecimiento en altura de las plantas se relacionó de manera positiva con la latitud sólo al primer mes de edad; a los ocho y once meses ésta desapareció (Figura 2). Las procedencias del sur tuvieron mayor porte que las del norte, lo que indica una probable adaptación ecológica de las plantas boreales a sitios con una estación de crecimiento breve, debido a un periodo corto de precipitación y, ante tal situación, logran el máximo crecimiento posible en el menor tiempo, para alcanzar su establecimiento. De hecho, al mes de crecimiento, la altura se correlaciona significativamente (correlación de Pearson = -0.8272 , $p \leq 0.042$) con la velocidad de germinación; dicha relación ya no existe a los ocho y once meses. Las plantas que tardan menos tiempo en emerger adquieren una talla destacada en altura al primer mes.

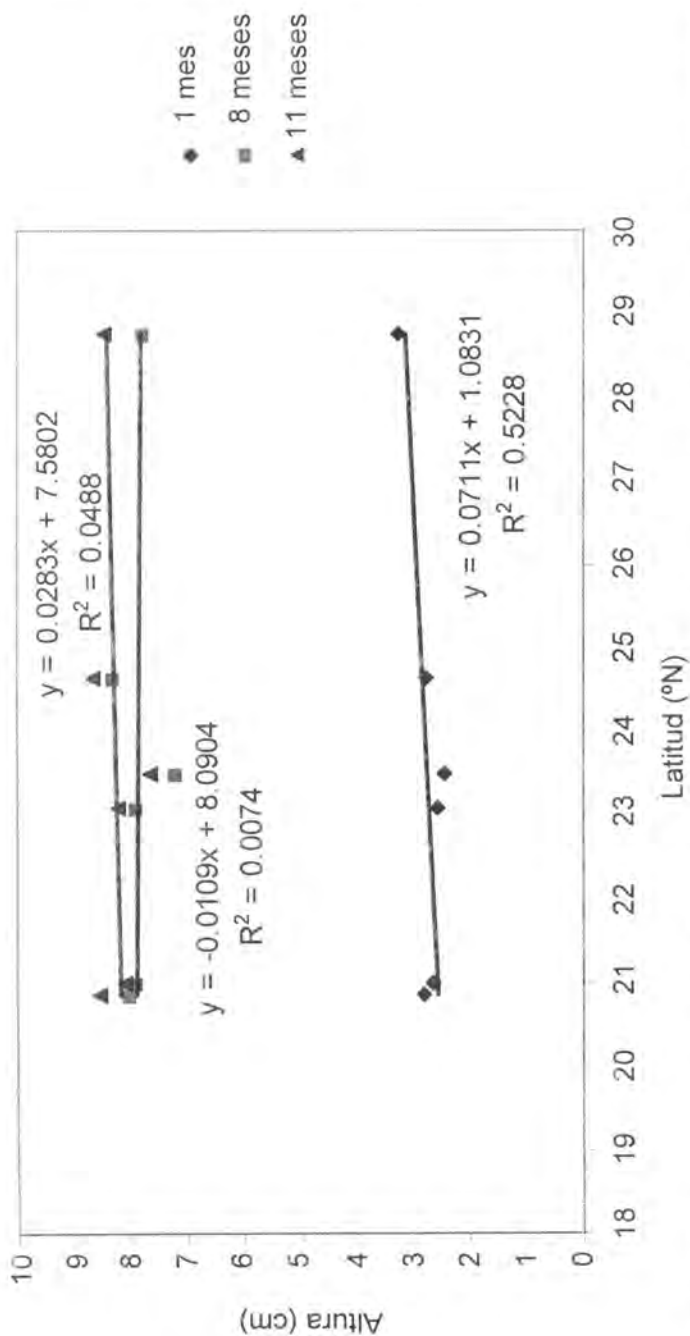


Figura 2. Altura promedio de las plantas de *P. cembroides* al mes, ocho y once meses de edad y su relación con la latitud de la procedencia.

Diferencias en la altura de las plantas de *P. cembroides* var. *cembroides* entre procedencias también son referidas por García y Capó (1989), aunque no las correlacionan a factores ambientales. López *et al.* (2000) consignan una variación similar para la altura de plantas de *P. greggii*, en donde el valor promedio más grande lo presentan las procedencias del sur; en este caso, la precipitación promedio anual, la temperatura y el periodo de crecimiento son superiores a las condiciones prevalecientes en el norte. Por su parte, Joyce y Sinclair (2002), mencionan diferencias entre procedencias en la altura de plantas de *Pinus strobus* L., en las cuales el crecimiento en altura se correlacionó negativamente con la latitud como respuesta a una corta estación de crecimiento en las procedencias del norte, con respecto a las del sur, ocasionada por las bajas temperaturas.

Se determinaron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.0002$) en el diámetro entre procedencias y fechas de evaluación ($p < 0.0001$), pero no para su interacción ($p > 0.05$) (Cuadro 3). Al mes de edad, la procedencia con el diámetro más grande fue Coahuila, con un valor superior al 1.6 mm; a los ocho meses, las plántulas de Coahuila, Querétaro y Guanajuato tuvieron el mayor diámetro promedio, sin diferencia estadística ($p > 0.05$) entre ellas, con un valor cercano a los 3 mm, misma que dejó de verificarse a partir de los once meses.

El diámetro de las plantas se relacionó de manera negativa con la latitud a los ocho meses y aumentó a los once meses (Figura 3). El coeficiente de correlación de Pearson fue de -0.6610 ($p \leq 0.15$) y -0.7949 ($p \leq 0.05$), respectivamente. El mayor diámetro lo presentaron las procedencias del sur. Este se asocia con la capacidad de la planta para tolerar altas temperaturas de la superficie del suelo (Birchler *et al.*, 1998). Cuando se correlaciona el diámetro con la temperatura se obtiene un valor de Pearson de -0.9249 ($p \leq 0.008$), lo que concuerda con lo expresado por dichos autores.

Índices de calidad de planta

La calidad de las plantas varió entre procedencias. El índice de vigor mostró diferencia estadística significativa ($p \leq 0.0071$), al igual que la relación tallo/raíz ($p \leq 0.0424$), y el índice de calidad de Dickson ($p \leq 0.0167$) (Cuadro 4). Los valores de índice de vigor más bajos son los deseables; por lo tanto, las plantas de mayor calidad corresponden a Durango, Guanajuato y Querétaro, sin diferencia estadística entre ellas. La mejor relación tallo/raíz la presentó la procedencia de Chihuahua, con un valor cercano a la unidad, Coahuila fue la que obtuvo el índice de Dickson más alto, por lo que se consideró la de calidad superior.

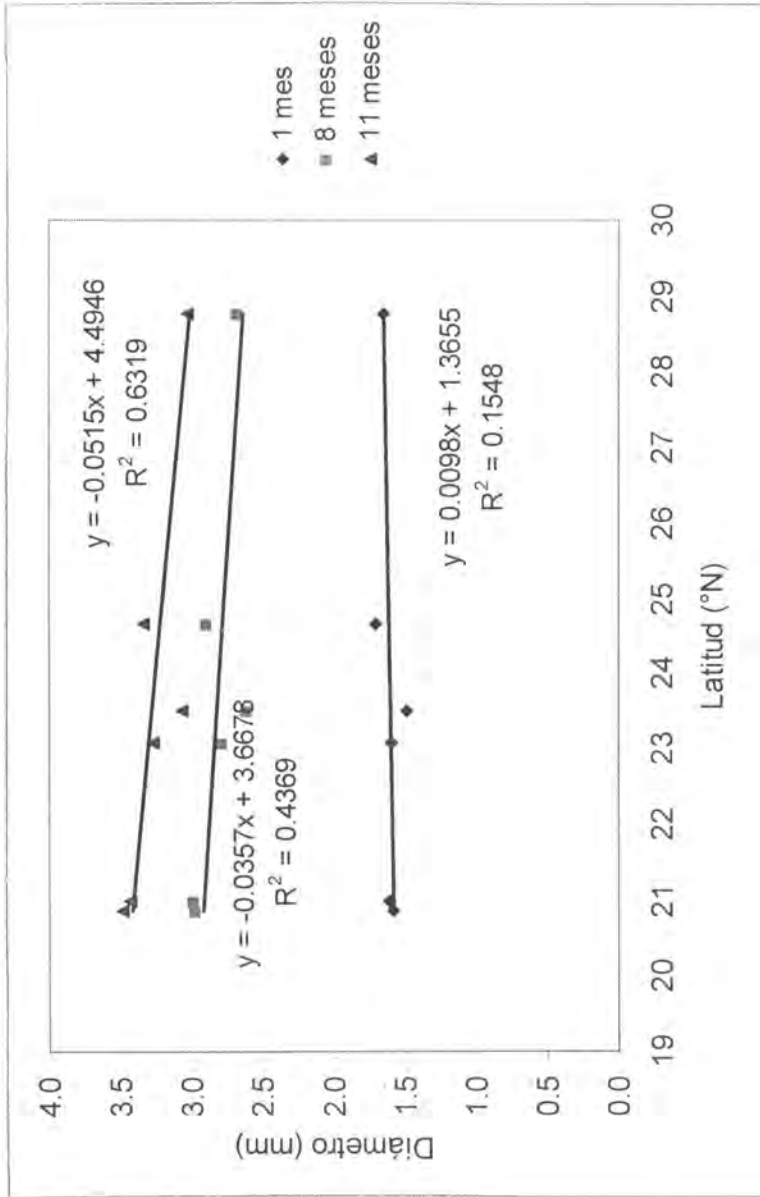


Figura 3. Diámetro de las plantas de *Pinus cembroides* al mes, ocho y once meses de edad y su relación con la latitud.

Cuadro 4 Índices de calidad de planta en *P. cembroides* var. *cembroides* de 12 meses de edad de seis procedencias.

Procedencia	Índice de vigor	Relación tallo/raíz	Índice de calidad de Dickson
Chihuahua	3.02 a ⁺	1.09 b	0.219 ab
Coahuila	2.60 ab	1.15 ab	0.273 a
Durango	2.45 b	1.23 ab	0.197 b
Zacatecas	2.53 ab	1.39 a	0.200 b
Guanajuato	2.40 b	1.19 ab	0.229 ab
Querétaro	2.41 b	1.34 ab	0.249 ab

Valores en la columna seguidos por la misma letra son estadísticamente iguales.

Se manifestó una relación de la calidad de planta y su origen, excepto para el índice de calidad de Dickson (Figura 4); se tuvo una relación significativa (coeficiente de correlación de Pearson = 0.9602, $p \leq 0.0023$), con el índice de vigor. Las procedencias del norte obtuvieron los mayores valores, pero su calidad es menor. Se determinó un coeficiente de correlación de Pearson = -0.6547 ($p \leq 0.15$), entre el cociente tallo/raíz y la latitud. Los registros más altos fueron para las procedencias del sur, pero la mejor calidad de plantas se presentó en las localidades del norte. El índice de la relación tallo/raíz indica la mejor calidad de planta para la supervivencia en sitios donde existe una larga y cálida estación seca (Birchler *et al.*, 1998).

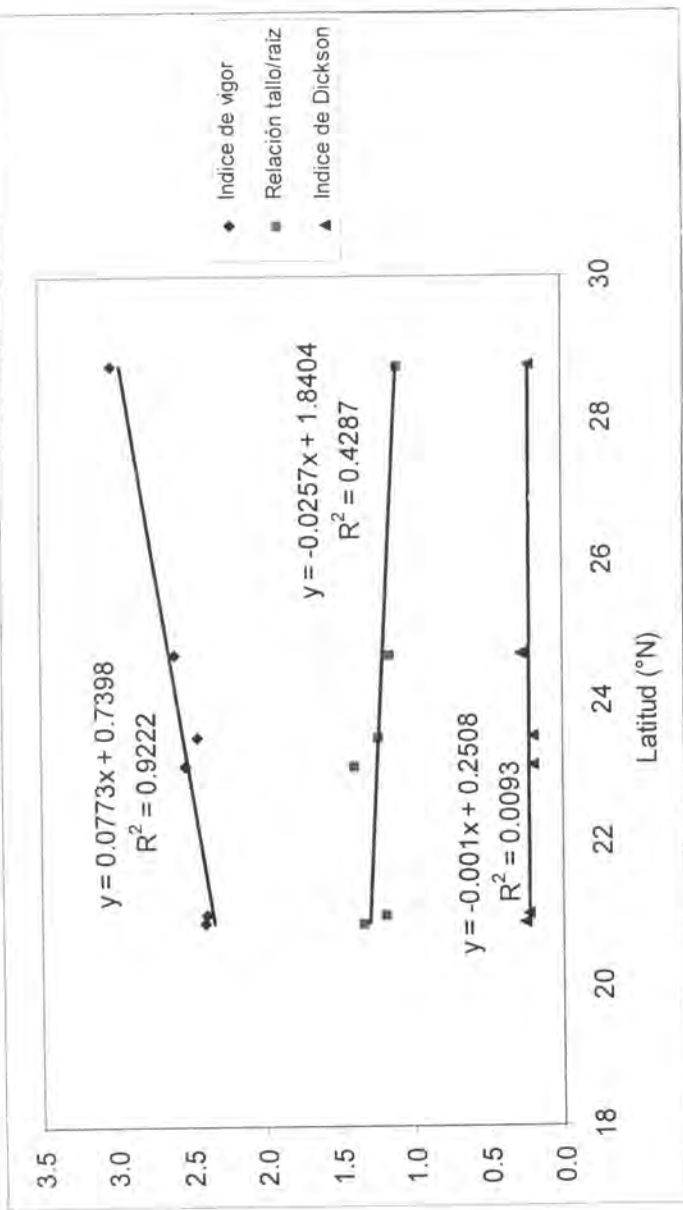


Figura 4. Índices de calidad de planta en *P. cembroides* var. *cembroides* y su relación con la latitud de la procedencia de la semilla.

CONCLUSIONES

La velocidad de germinación de las semillas de *P. cembroides* var. *cembroides* difirió entre procedencias y se relaciona con la latitud.

La altura y diámetro de las plantas de *P. cembroides* var. *cembroides* variaron entre procedencias en los primeros meses de desarrollo; en la evaluación a los once meses tal diferencia desapareció. La altura de las plantas tuvo una relación lineal con la latitud sólo al mes de edad, mientras que el diámetro presentó dicha relación a los ocho y once meses.

La calidad de planta mostró diferencias entre procedencias para el índice de vigor y la relación tallo/raíz fue una relación lineal positiva y negativa, respectivamente, con la latitud.

REFERENCIAS

- Alba L., J., L. Mendizábal H. y A. Aparicio R. 1998. Respuesta de un ensayo de procedencia/progenie de *Pinus greggii* Engelm. en Coatepec, Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 1(1):25-28.
- Aldrete, A., J. G. Mexal y J. López U. 2005. Variación entre procedencias y respuesta a la poda química en plántulas de *Pinus greggii*. *Agrociencia* 39:563-574.
- Birchler, T., R. W. Rose., A. Royo y M. Pardos, 1998. La planta ideal: revisión del concepto, parámetros definitorios e implementación práctica. *Invest. Agr. Sist. Recur. For.* 7(1-2):109-121.
- Chang G., M. 1989. Geographic variation in *Pinus armandii* Franch. *Silvae Genetica* 38(3-4):81-90.
- Dickson, A., A. L. Leaf and J. F. Hosner. 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forestry Chronicle* 36 (1):10-13.
- Duryea, M. L. 1984. Nursery cultural practices: impacts on seedling quality. *In*: Duryea M. L. and T. D. Landis (Eds.): *Forest Nursery Manual: Production of bareroot seedlings*. Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers. Oregon State University, Corvallis, OR, USA. pp. 143-164.
- Farjon, A. and B. T. Styles. 1997. *Flora neotropica*. Monograph 75: *Pinus* (Pinaceae). The New York Botanical Garden, New York, NY, USA. 291 p.
- Freud, R. J. and R. C. Little. 1981. SAS for linear models. A guide to the ANOVA and GLM procedures. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. 231 p.
- García, M., A. y M. A. Capó, A. 1989. Variación morfológica y fisiológica entre especies y procedencias de los pinos piñoneros *Pinus cembroides* Zucc., *Pinus maximartinezii* Rzedowski y de *Pinus ayacahuite* Erhen. en semillas y plántulas durante el primer año de crecimiento. *In*: Flores F. J. D., J. Flores L., E. García M. y R. H. Lira S. (Comps.): *Memorias del III Simposio Nacional sobre Pinos Piñoneros*, Octubre de 1989, Saltillo, Coah. México. pp. 32-47.

- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1981. Atlas nacional del medio físico. Aguascalientes, Ags. México. 224 p.
- Joyce, D. G. and R. W. Sinclair. 2002. Genetic variation in height growth among populations of eastern white pine (*Pinus strobus* L.) in Ontario. *Silvae Genetica* 51 (4):136-142.
- Juárez A., A., J. López U. y J. J. Vargas H. 2005. Variación geográfica en la germinación y crecimiento inicial de plántulas de *Pseudotsuga* spp. en México. *In: Memorias del VII Congreso Mexicano de Recursos Forestales*. 26-28 de octubre del 2005. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, Chih. México. pp. 338-339.
- López U., J., A. J. Mendoza H., J. Jasso M., J. J. Vargas H. y A. Gómez G. 2000. Variación morfológica de plántulas e influencia del pH del agua de riego en doce poblaciones de *Pinus greggii* Engelm. *Madera y Bosques* 6(2):81-94.
- Lopushinsky, W. 1976. Relationship of shoot-root ratio to survival and growth of outplanted Douglas -fir and ponderosa pine seedlings. U.S.D.A. Forest Serv., Pacific NW Forest and Range Exp. Sta., Res. Note PNW-274. Portland, OR. USA. 7 p.
- Martínez T., T., J. J. Vargas H., A. Muñoz O. y J. López U. 2002. Respuesta al déficit hídrico en *Pinus leiophylla*: consumo de agua y crecimiento en plántulas de diferentes poblaciones. *Agrociencia* 36: 365-376.
- Pawsey C., K. 1972. Survival and early development of *Pinus radiata* as influenced by size of planting stock. *Australian Forest Res.* 5 (4):13-24.
- Thompson, B. E. 1985. Seedling morphological evaluation: what you can tell by looking. *In: Duryea, M. L.* 1985. *Proceedings: Evaluated seedlings quality: principles, procedures and predictive ability or major test*. Corvallis, OR. USA. pp. 59-71.
- Wright J., W. 1976. *Introduction to forest genetics*. Academic Press Inc. San Diego, CA. USA. 463 p.
- Zobel, B. y J. Talbert. 1994. *Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales*. LIMUSA. México. 545 p.

FORRAJEО DEL GANADO CAPRINO EN EL VALLE DE ZAPOTITLÁN DE LAS SALINAS, PUEBLA, MÉXICO

Rodolfo Clemente Reséndiz-Melgar¹, Jazmín Díaz Melgoza²
y Julio Alberto Lemos-Espinal²

RESUMEN

En el Valle de Zapotitlán de las Salinas, ubicado dentro de la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán en el estado de Puebla, se evaluó el forrajeo de las cabras a partir de los siguientes datos: distancias y sitios recorridos por día, área de influencia y preferencias en la dieta. Los resultados de observaciones directas indican que las cabras forrajearon 7.81 horas diarias en promedio, con distancias por día de recorrido promedio de 2.6 km \pm 0.5 km de error estándar. El área de influencia de los rebaños se estimó en 30.2 km²; al parecer, los daños por efecto de forrajeo fueron muy localizados debido a las geoformas del paisaje. En cuanto a la dieta, los animales consumieron 73.30% de los vegetales disponibles y 53.10% del tiempo de alimentación lo destinaron a cuatro especies de las 75 registradas. Se concluye que los agostaderos de Zapotitlán de las Salinas son adecuados para la cría de cabras, porque la mayoría de las especies de plantas fueron preferidas en mayor o similar proporción a su abundancia. Como el área de forrajeo estuvo limitada y se manifestaron predilecciones en la dieta, se pueden establecer programas de manejo para mejorar la actividad en el lugar.

Palabras clave: Agostadero, cabras, dieta, distancia recorrida, forrajeo, Tehuacán-Cuicatlán.

ABSTRACT

The foraging activity of the livestock goats of Valle de Zapotitlán de las Salinas, which is located in the Tehuacan-Cuicatlán Biosphere Reserve in the state of Puebla, was assessed during one year from the knowledge of the foraging habits, particularly of the walked distance per day, the area of influence and the

Fecha de recepción: 02 de marzo de 2005.

Fecha de aceptación: 26 de enero de 2006.

¹ Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 76. Correo-e: crmelgar@australia.edu

² Unidad de Biotecnología y Prototipos, FES – Iztacala, UNAM.

preferences in the diet. We found through direct observations that the goats forage an average of 7.81 hours per day, with average walked distances per day of 2.6 ± 0.5 km SE. The area of influence of the goatherds was estimated at 30.2 km^2 . Apparently, the foraging of the goats was not affected by the landforms. The goat browsed on 73.30% of the plant species, and 53.10% of the browsed time was dedicated to four species of the 75 recorded in the study area, for which a list is presented. The rangeland of the research area was evaluated as adequate for the breeding of goats, because most of the plant species were preferred in higher or similar proportion to their abundance. Due to the fact that the foraging area habitat is limited mostly the same throughout the year it is possible to set a management program to improve this activity.

Key words: Rangeland, oats, diet, walking distance, foraging, Tehuacán-Cuicatlán.

INTRODUCCIÓN

Las cabras (*Capra hircus* L.) son el ganado más utilizado en las zonas áridas del país (INEGI, 1998) por su capacidad de alimentarse de distintos tipos de vegetación, de deambular por sitios con relieve accidentado y presentar bajos requerimientos de agua (González, 1977; Lu, 1988). Su producción la llevan a cabo sectores sociales de bajos recursos, principalmente. Varios factores contribuyen a que no mejore esta actividad, como el nulo apoyo técnico, económico y de comercialización, así como la falta de mayor investigación científica. (Hernández, 2000; Hernández *et al.*, 2001).

La caprinocultura puede considerarse sustentable (Galina *et al.*, 1998; Morales *et al.*, 2000) porque no hay competencia con superficies agrícolas, y por su causa no se desforestan áreas para realizarla, contrario a lo que ocurre con otros tipos de ganado como el bovino (Ezcurra y Montaña, 1990). Debido a que la alimentación de las cabras tiene lugar, preferentemente, dentro de zonas forestales y su principal fuente son las plantas nativas, con frecuencia se genera un sobrepastoreo de los agostaderos que deteriora la cobertura vegetal (Ezcurra y Montaña, 1990) y el suelo (Manzano y Návar, 2000).

Para minimizar el impacto en los agostaderos y maximizar la producción de cabras, el conocimiento de los hábitos de forrajeo puede ser de utilidad, ya que se refiere a la serie de respuestas instintivas y de comportamiento, que son de hecho una estrategia del individuo, orientada a obtener la mayor cantidad de energía y nutrientes, con la menor inversión de energía y tiempo posibles (Dziba *et al.*, 2003). El forrajeo implica decisiones que el ganado toma a escala de paisaje, seguido de la elección de sitios y tipos de vegetación (Stuth, 1991). Los animales eligen entre una o más formas de vida (pastos, hierbas y/o ramas);

las preferencias dependen también de características como: la abundancia, la morfología, la fenología y la proporción de agua de las plantas; además de las necesidades alimentarias del herbívoro (Baumont *et al.*, 2000).

El estado de Puebla es el principal productor de carne de caprinos en México (FAO, 2003) y la única reserva de la biósfera con que cuenta la entidad es la de Tehuacán-Cuicatlán, donde se han identificado 308 plantas útiles, de las cuales 706 son consumidas por humanos y animales domésticos (Casas *et al.*, 2001). Ahí se practicaba una producción de cabras en trashumancia, que recorrían cerca de 300 km, desde la costa sur del Pacífico mexicano hasta la ciudad de Tehuacán, principal centro urbano cercano a la Reserva; durante las llamadas "matanzas" se llegaron a sacrificar hasta 80,000 cabras en pocos días. Dicha ciudad pudo haber tenido su auge debido a esta actividad; de igual forma es posible que por ello se afectaron los agostaderos de la zona (González, 1977).

Con base en la importancia de la producción de cabras y de la diversidad florística en la reserva de la biósfera de Tehuacán-Cuicatlán, se planteó como objetivo del presente trabajo, evaluar, durante un año, el forrajeo de las cabras, considerando el tiempo y distancia de recorrido diario, el área de influencia, las geoformas del paisaje más utilizadas y la dieta, en el Valle de Zapotitlán de las Salinas; con lo que se espera aportar elementos que mejoren el manejo de los recursos en la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El Valle de Zapotitlán de las Salinas se localiza en el estado de Puebla en el centro-sur de México (18° 20' norte y 97° 27' oeste), con altitudes de los 1,450 m hasta cerca de los 1,700 m, y ocupa un área de 269 km², aproximadamente (Barrera-Cabrera, 2001). El clima está determinado en gran parte por la Sierra Mazateca que forma una sombra de lluvia que impide el paso de la humedad proveniente del Golfo de México. Es seco con lluvias concentradas de junio a agosto, que se extienden, ocasionalmente, hasta septiembre y con una canícula a mitad del periodo de lluvias. La precipitación media anual es de 380 mm a 450 mm y la temperatura media anual es de 21°C (Valiente, 1991). El tipo de clima de acuerdo con la clasificación de Köppen, modificada por García (1988) corresponde a un BS₀hw (e) g, definido como semiseco – estepario, con lluvias de verano.

La zona de estudio se caracteriza por su elevada heterogeneidad geomórfico-édáfica, donde se distinguen seis geoformas principales: laderas, lomas, piedemonte, aluvión, cimas de cerros y mesas (Barrera-Cabrera, 2001). Destacan los suelos de origen sedimentario, aluvial, calcáreo, y los litosoles. La vegetación

corresponde a un matorral xerófilo, en la que se advierte un alto recambio de especies entre sitios (Osorio *et al.*, 1996; Valiente-Banuet *et al.*, 2000).

Las cabras de la localidad son criollas y pesan entre 25 y 32 kg; los adultos miden alrededor de 60 cm de alto hasta la cruz. El sistema de producción fue de pastoreo extensivo, consistente en que el ganado sale y regresa todos los días a las mismas majadas, que son permanentes y aledañas a las casas de los dueños de los animales y dentro de los poblados. Esto se debe a que la gente prefiere vigilar y tener accesible a sus cabras para evitar robos o pérdidas ocasionados por ataques de perros o coyotes.

Toma de datos

Los datos provienen de los rebaños del poblado de Zapotitlán de las Salinas, que es cabecera municipal y es la población más importante del Valle.

Procedimiento de observación.- Se realizaron varios recorridos previos con las cabras para perfeccionar las técnicas de muestreo, a razón de uno por mes, de febrero de 1999 a enero de 2000, lo que resultó en 12 paseos/rebaño y 26 en total. A partir de éstos se decidió seguir a dos cabras adultas por observador, o sea, cuatro cabras por rebaño. Los registros se hicieron por lapsos de cuatro minutos, porque la movilidad de las cabras dificulta lapsos más largos (particularmente en condiciones de pendiente pronunciada).

Se efectuaron 15 sesiones de cuatro minutos que sumaron 60 minutos/cabra, 120 minutos por evaluador (2 cabras por cada uno) y 240 minutos en total, por recorrido y por rebaño, que corresponden a los tiempos de ambos. Para hacer más eficiente la toma de datos, dichos trabajos de campo fueron grabados; con base en lo anterior, se determinaron las proporciones de tiempo invertido. Un tercer observador se dedicó a tomar únicamente muestras de la flora para aclarar dudas en cuanto a la identificación de especies, los tiempos totales, la descripción de los sitios visitados por los hatos y seguir la ruta de forrajeo con la ayuda de un geoposicionador Garmin 12 XL.

Áreas de las geoformas.- La determinación de las áreas de las geoformas se basaron en el trabajo de Barrera-Cabrera (2001); el cálculo del tiempo requerido para abordar cada una de ellas, se fundamentó en los períodos utilizados en los recorridos, y los puntos geográficos se precisaron con el geoposicionador.

Muestreos de vegetación.- Para conocer la abundancia de especies vegetales en el área se hicieron 20 transectos de 50 m de largo por 2 m de ancho, distribuidos aleatoriamente en la zona de estudio lo que dio como resultado 100 m² por transecto y 2000 m² de superficie total muestreada.

Análisis estadístico

Se incluyeron los datos reunidos de los 36 recorridos (144 horas de observación), a fin de tener un panorama general del forrajeo en el Valle. Así, se analizaron las siguientes variables:

- a) Tiempos de recorrido diarios.- Se consideraron desde que los rebaños salieron de las majadas hasta su regreso a ellas.
- b) Distancias recorridas diarias.- Son las distancias entre la majada y el punto más distante al cual los hatos llegaban en un día.
- c) Área de influencia durante todo el año.- Se obtuvo a partir de la fórmula:

$$\text{Área de influencia} = r^2 \times \pi$$

Donde:

r = distancia de la majada al punto más distante forrajeado durante todo el tiempo que duró el estudio y considerando los tres rebaños analizados

$\pi = 3.141619$.

- d) Influencia de las geoformas sobre el forrajeo de las cabras.- Con el coeficiente de correlación de Pearson (Sokal y Rohlf, 1995), se observó si el tiempo de forrajeo de los rebaños dentro de las geoformas se relacionó con su superficie.
- e) Dieta de las cabras.- El porcentaje de cada especie botánica corresponde al tiempo total invertido en su consumo. Con este valor y la abundancia de cada taxón, se obtuvo la disponibilidad de Stuth (1991), mediante la fórmula:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\% \text{ dieta} - \% \text{ abundancia en el campo}}{\% \text{ dieta} + \% \text{ abundancia en el campo}} \times 10$$

Con el resultado derivado de la misma, se distinguieron tres categorías:

- 1) Preferidas: cuando se presentó un valor superior a 3.5, que indica que las especies son seleccionadas en cantidades mayores a su disponibilidad;
- 2) Proporcionales: si se presentaban valores de -3.5 a $+3.5$, significa que las plantas fueron consumidas en similar proporción a su disponibilidad; y
- 3) Forzadas: se incluyó a las especies con valores inferiores a -3.5 , que corresponden a las que son consumidas en menor proporción a su

disponibilidad; algunas de ellas pueden resultar nocivas para el desempeño y salud de los animales. La abundancia de cada taxón vegetal se obtuvo con el índice de dominancia modificado (Osorio *et al.*, 1996):

$$\text{Porcentaje de abundancia} = \frac{\text{Cobertura} \times \text{frecuencia} \times \text{densidad}}{\sum (\text{cobertura} \times \text{frecuencia} \times \text{densidad})} \times 100$$

La frecuencia equivale al número de transectos en los que apareció cada especie; la densidad es el número de individuos por metro cuadrado, y la cobertura (Osorio *et al.*, 1996) se calculó con base en la siguiente ecuación:

$$\text{Cobertura} = \{[(d_1 + d_2)/4]^2 \pi\}$$

Donde:

d_1 = Primer diámetro de la cobertura de copa

d_2 = Segundo diámetro de la cobertura de copa

π = 3.141619

RESULTADOS

El número de cabras en Zapotitlán de las Salinas al momento del estudio era de 714, distribuidas en 12 rebaños con un promedio de 60 individuos y un intervalo de 45 a 72 cabras. El tiempo promedio de recorrido por día fue de 7.81 horas y la distancia promedio de 2.6 km \pm 0.5 km de error estándar (alrededor de 5 km, si se suman ida y vuelta).

Entre puntos diferentes de forrajeo y durante el tiempo que abarcó el trabajo, la mayor distancia registrada correspondió a 3.1 km; en tanto que el área de influencia total para los tres hatos analizados alcanzó los 30.2 km².

El tiempo de forraje en cada geoforma estuvo relacionado con la superficie que ocupa cada una (coeficiente de correlación de Pearson 0.97). En el Cuadro 1 se presentan los porcentajes de superficie ocupados por las geoformas (Barrera-Cabrera, 2001) y el tiempo total de forrajeo; así como las especies dominantes en cada geoforma de Zapotitlán de las Salinas.

Se identificaron 75 especies botánicas en el área de forraje de las cabras (Cuadro 2), de las cuales 55 fueron utilizadas como alimento por ellas, lo que equivale a 73.30%. A pesar de las numerosas especies incluidas en la dieta, 53.10% del consumo se concentró en cuatro (Figura 1). En función de la

Cuadro 1. Geoformas dominantes en Zapotitlán de las Salinas.

Geoforma	Superficie que ocupa cada geoforma (%)	Tiempo total forrajeado (%)	Especies dominantes de plantas*
Ladera	34.82	34.59	2, 28, 34 y 66
Loma	21.17	24.65	9, 11, 42 y 65
Pie de monte	16.16	20.92	24, 35, 40 y 47
Aluvión	15.41	14.69	14, 21, 30 y 69
Mesa	7.06	1.84	5, 10, 31 y 51
Cimas de Cerros	5.38	3.31	8, 13, 16 y 37

* De acuerdo al Cuadro 2

abundancia 31 plantas se consumieron en mayor proporción que su abundancia (preferidas); 14 en proporción similar a su abundancia (proporcionales); y 10 en menor proporción (forzadas), los 20 taxa restantes no se los comieron (Cuadro 2).

Los arbustos representaron el alimento preferido, con 40.40% del consumo, y sólo dos individuos de *Bursera* no fueron consumidas. El resto de este grupo quedó comprendido en la categoría de proporcionales o preferidas.

Los árboles constituyeron 24.50% del consumo, las cabras los aprovecharon cuando pudieron acceder a las ramas, prefiriendo siempre flores y frutos a las hojas; siete especies de árboles corresponden a las no consumidas o forzadas, destaca *Ipomoea arborescens* G. Don, que de acuerdo a los pastores, es tóxica para el ganado caprino.

Referente a los pastos, 18.20% formaron parte del tipo proporcional o preferido, en el caso de las herbáceas el total fue de 10.40%, sólo *Selaginella lepydophylla* (Hook & Grev.) Spring no se incorporó a la dieta.

Las cabras dedicaron 6.50% del tiempo de forrajeo a las suculentas. La mayoría en condiciones de forzada o no se integraron a su alimentación; dos especies del tipo proporcional y cinco preferidas (Cuadro 2 y Figura 2). Con frecuencia, los pastores cortan en trozos ejemplares de *Ferocactus* y *Echinocactus*. Algunas cactáceas columnares se aprovechan ya dérribadas; *Opuntia* y *Coryphanta* son consumidas regularmente por las cabras sin ayuda de los pastores.

Cuadro 2. Morfotipo/Especies de plantas identificadas en Zapotitlán de las Salinas, Puebla y su categoría de consumo de acuerdo a la disponibilidad de Stuth (1991).

No.	Morfotipo / Especie	Categoría de consumo	Disponibilidad (Stuth, 1991)
Árboles			
1	<i>Acacia constricta</i> Benth.	Proporcional	-1.12
2	<i>Acacia coulteri</i> A. Gray	Proporcional	-1.99
3	<i>Acacia farnesiana</i> (L.) Willd.	Proporcional	2.62
4	<i>Acacia subangulata</i> Rose	No consumida	~
5	<i>Beaucarnea gracilis</i> Lem.	Preferida	5.59
6	<i>Bursera aloexylon</i> Engelm.	No consumida	~
7	<i>Bursera arida</i> Standley	Preferida	8.37
8	<i>Ceiba parvifolia</i> Rose	No consumida	~
9	<i>Cercidium praecox</i> (Ruiz et Pavón) Harms	Preferida	7.25
10	<i>Fouquieria formosa</i> Kunth	No consumida	~
11	<i>Ipomoea arborescens</i> (Humb. et Bonpl.) Don.	Forzada	-9.38
12	<i>Manihotoides</i> sp.	No consumida	~
13	<i>Plumeria rubra</i> L.	Preferida	9.81
14	<i>Prosopis laevigata</i> (Humb et Bonpl. ex Willd) M. C. Johnston	Forzada	-6.40
15	<i>Schinus molle</i> L.	Preferida	4.66
16	<i>Zapoteca formosa</i> (Kunth) H. M. Hern.	Preferida	8.21
17	<i>Ziziphus amolle</i> (Sessé & Moc.) M. C. Johnston	Preferida	9.99
Arbustos			
18	<i>Bursera fagaroides</i> (HBK.) Engl.	No consumida	~

continúa...

continuación Cuadro 2...

No.	Morfotipo / Especie	Categoría de consumo	Disponibilidad (Stuth, 1991)
Arbustos			
19	<i>Bursera morelensis</i> Ramírez	No consumida	-
20	<i>Caesalpinia melanadenia</i> (Rose) Standley	Preferida	6.77
21	<i>Castela tortuosa</i> Liebm.	Preferida	8.11
22	<i>Celtis pallida</i> Torr.	Proporcional	1.95
23	<i>Cordia curassavica</i> (Jacq.) Roemer & Schultes Baker	Preferida	5.15
24	<i>Echinopterys eglandulosa</i> (Adr. Juss.) Small	Preferida	9.48
25	<i>Lippia graveolens</i> HBK.	Proporcional	2.72
26	<i>Mascagnia parvifolia</i> Grises.	Preferida	8.58
27	<i>Mimosa albida</i> Humb. et Bonpl. ex Willd.	Preferida	9.13
28	<i>Mimosa luisana</i> Brandegee	Preferida	5.62
29	<i>Morkillia</i> Rose & J. H. Painter.	Preferida	9.95
Gramíneas			
30	<i>Bothriochloa barbinodis</i> (Lag.) Herter	Proporcional	1.07
31	<i>Bouteloa curtispindula</i> (Michx.) G. Torr.	Preferida	3.88
32	<i>Cathestecum brevifolium</i> Swall.	Preferida	8.09
33	<i>Eragrostis cilianensis</i> (All.) Mosher	Preferida	7.54
34	<i>Sporobolus pyramidatus</i> (Lam.) Hitchc.	Preferida	5.45
35	<i>Zea mays</i> L.	Preferida	3.52
Herbáceas			
36	<i>Cnidoscylus tehuacanensis</i> Breckon	Proporcional	0.58
37	<i>Iresine calea</i> (Ibáñez) Standley	Proporcional	1.85
38	<i>Iresine discolor</i> Greenm.	Proporcional	0.19

continúa...

continuación Cuadro 2...

No.	Morfotipo / Especie	Categoría de consumo	Disponibilidad (Stuth, 1991)
Herbáceas			
39	<i>Lantana camara</i> L.	Preferida	8.37
40	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	Preferida	4.59
41	<i>Ruellia hirsuto-glandulosa</i> (Oerst.) Hemsl.	Preferida	9.21
42	<i>Sanvitalia fruticosa</i> Hemsley	Preferida	5.37
43	<i>Selaginella lepidophylla</i> (Hook. et Grev.) Spring	No consumida	~
44	<i>Solanum</i> sp. L.	Preferida	9.13
45	<i>Talinum Adans.</i>	Proporcional	-1.65
46	<i>Verbesina</i> sp. L.	Proporcional	-2.51
47	<i>Viguiera dentata</i> (Cav.) Spreng.	Proporcional	2.59
48	<i>Zinnia peruviana</i> L.	Preferida	9.85
Suculentas			
49	<i>Agave karwinskii</i> Zucc.	No consumida	~
50	<i>Agave peacockii</i> Croucher	No consumida	~
51	<i>Agave potatorum</i> C. Koch.	Forzada	-8.94
52	<i>Agave</i> sp. L.	Forzada	-8.06
53	<i>Agave</i> sp. L.	Forzada	-9.23
54	<i>Cephalocereus columna-trajani</i> (Karw.) K. Schum.	No consumida	~
55	<i>Coryphanta pallida</i> Britton & Rose	Preferida	5.74
56	<i>Echinocactus platyacanthus</i> Link & Otto	Preferida	8.96
57	<i>Euphorbia antysiphilitica</i> Zucc.	Forzada	-8.86
58	<i>Ferocactus flavovirens</i> (Scheidw.) Britton & Rose	Preferida	5.12

continúa.

continuación Cuadro 2...

No.	Morfotipo / Especie	Categoría de consumo	Disponibilidad (Stuth, 1991)
	Suculentas		
59	<i>Ferocactus latispinus</i> (Haw.) Britton & Rose	No consumida	~
60	<i>Ferocactus robustus</i> (Pfeiff.) Britton & Rose	Preferida	9.92
61	<i>Hechtia podantha</i> Mez.	Forzada	-9.50
62	<i>Mammillaria carnea</i> Zucc. ex Pfeiffer	Proporcional	1.42
63	<i>Mammillaria</i> sp. Haw.	Forzada	-5.67
64	<i>Mitrocereus fulvipes</i> (F.A.C. Weber ex Schumann) Backeberg ex Bravo	No consumida	~
65	<i>Myrtillocactus geometrizans</i> (Mart. ex Pfeiff.) Cons.	Forzada	-9.23
66	<i>Neobuxbamia tetetzo</i> (Coult.) Backeb	Forzada	-3.51
67	<i>Opuntia decumbens</i> Salm-Dyck	No consumida	~
68	<i>Opuntia pilifera</i> F.A.C. Weber	Proporcional	2.50
69	<i>Opuntia puberula</i> Hort. Vindob. ex Pfeiffer	No consumida	~
70	<i>Opuntia pumila</i> Rose	Preferida	8.82
71	<i>Opuntia</i> sp. P. Mill.	No consumida	~
72	<i>Pachycereus hollianus</i> (F.A.C. Weber) Buxb.	No consumida	~
73	<i>Pachycereus marginatus</i> (DC.) Britton & Rose	No consumida	~
74	<i>Stenocereus pruinosus</i> (Otto) F. Buxb.	No consumida	~
75	<i>Stenocereus stellatus</i> (Pfeiffer) Riccob.	No consumida	~

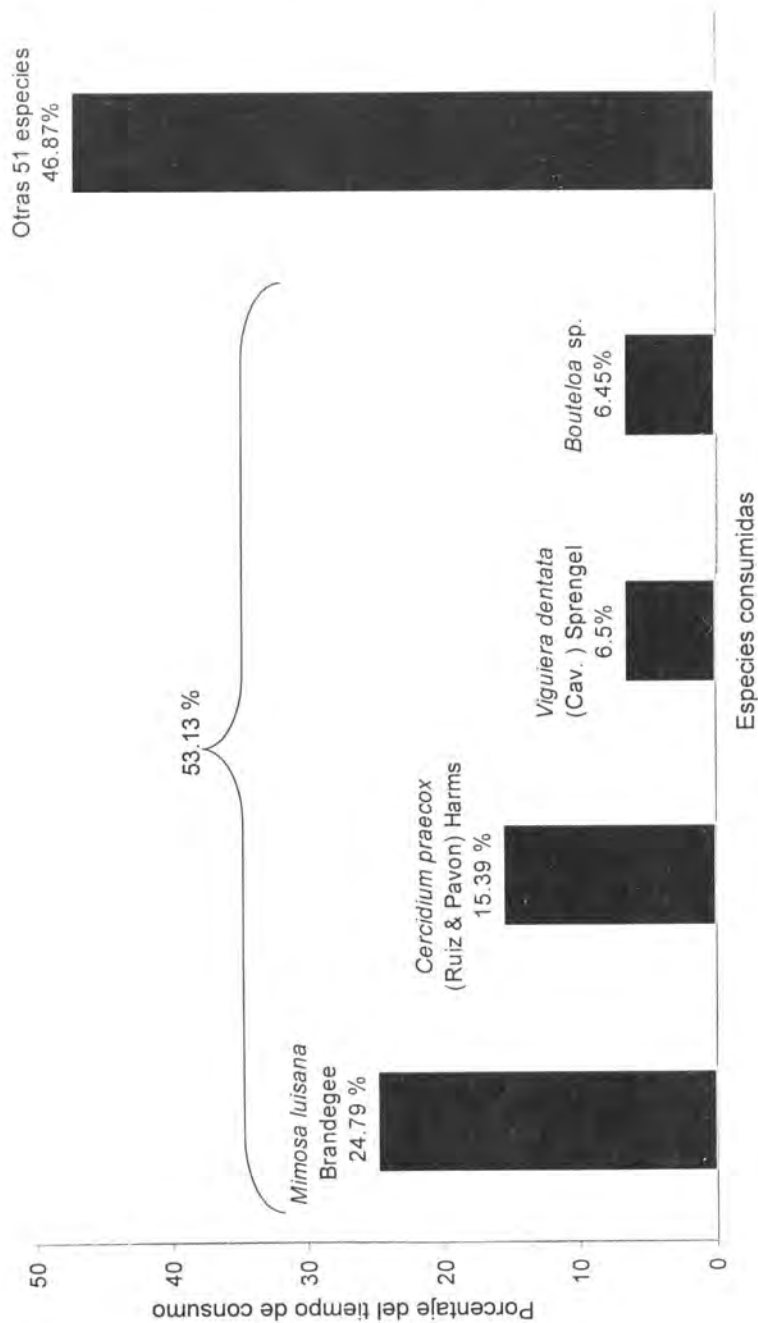


Figura 1. Principales especies consumidas de acuerdo al tiempo de consumo en el forrajeo por las cabras analizadas en Zapotitlán de las Salinas.

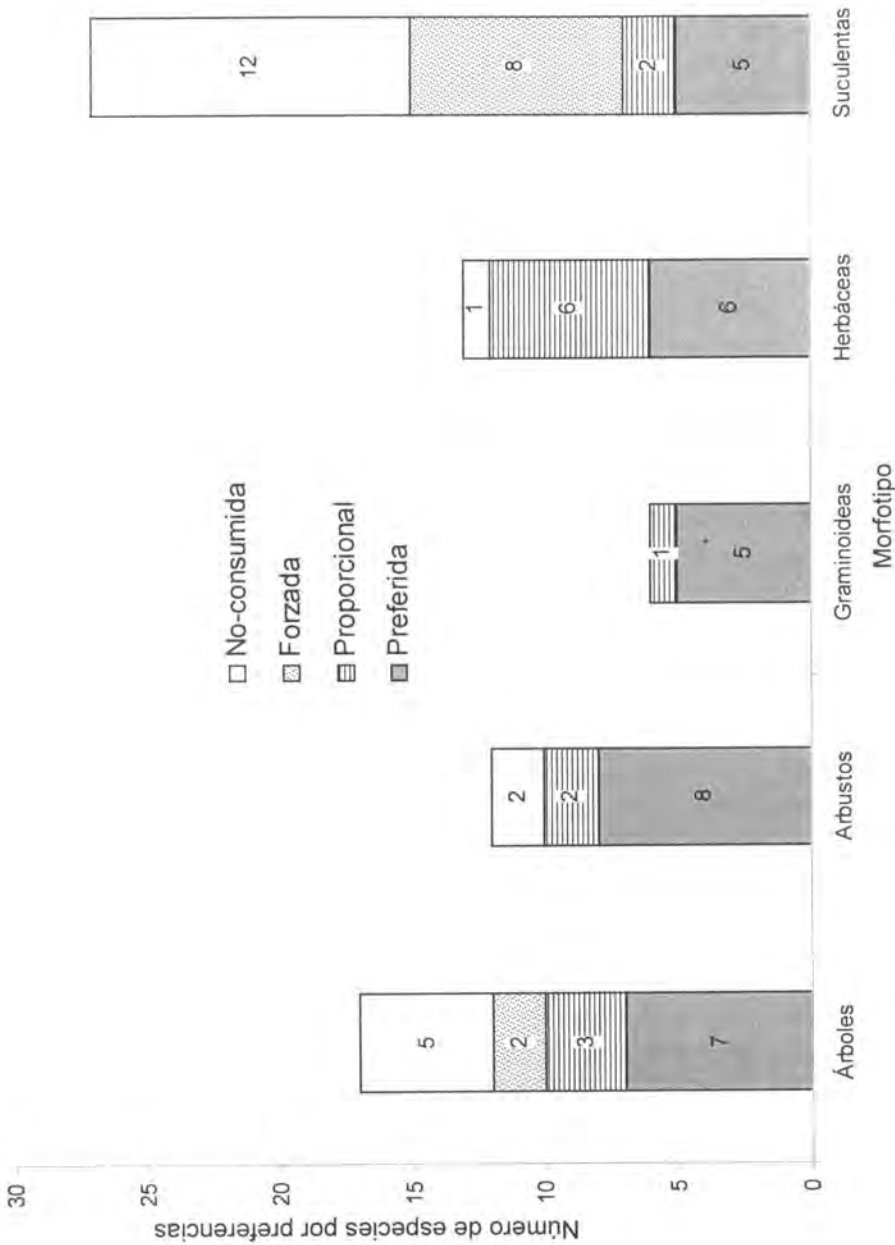


Figura 2. Número de especies consumidas por las cabras analizadas en Zapotitlán de las Salinas de acuerdo a los morfotipos y a las categorías de consumo de Stuth (1991): preferidas (en gris), proporcionales (blanco con rayas horizontales), forzadas (blanco punteado), y no consumidas en (blanco).

DISCUSIÓN

Las cabras, como cualquier otro herbívoro, buscan realizar un forrajeo óptimo (Dziba *et al.*, 2003) que, a su vez, revela la conducta, el sitio, la cantidad y las especies de plantas que van a consumir (Stuth, 1991). Arbiza (1986) menciona que a mayor tiempo de recorridos diarios de las cabras, la producción mejora; en el presente estudio el tiempo fue de 7.81 h, lo cual es menor a lo citado por Hernández *et al.* (2001) que indican 8.6 h en zonas de la Mixteca Poblana. El hecho de que las cabras tengan que regresar a diario a sus majadas, limita la distancia recorrida de alrededor de 5.2 km promedio, por día (ida y vuelta) y por lo tanto el área de influencia sobre los agostaderos. Así, el mayor porcentaje de la superficie estuvo libre de forrajeo, porque la superficie disponible para las cabras es cercana a los 100 km², de acuerdo a los límites de los bienes comunales, pero solamente 30.20% (30.2 km²) son utilizados.

La delimitación de las áreas de influencia de las cabras contribuiría a ordenar la caprinocultura y sería una estrategia para convencer a los pastores del establecimiento de rutas de forrajeo que permitan el rebrote de las plantas (Arbiza, 1986), con lo que los agostaderos podrían ser más productivos y el impacto sobre el paisaje sería menor.

Hernández *et al.* (2001) señalan recorridos diarios similares a los del presente estudio. En España se han documentado 4.2 km por día (Lachica *et al.*, 1999) y 9.9 km (Lachica *et al.*, 1997). Sistemas similares de producción se usan en el Mediterráneo, y se consideran la opción ecológica, social y económica más apropiada, en la actualidad (Lachica y Aguilera, 2003).

Dado que el tiempo de forrajeo se relacionó con el tamaño de las propias geoformas, es probable que el terreno no influya en las decisiones del forrajeo, lo cual ya se ha mencionado en otros trabajos (Gründwaldt *et al.*, 1994), por lo que las cabras en Zapotitlán de las Salinas pueden alimentarse en cualquier superficie, siendo probable que la estrategia y decisiones de forrajeo respondan en mayor medida de las condiciones de la vegetación.

Describir a las cabras como ramoneadoras es un error porque, dependiendo de las condiciones de los agostaderos, adaptan su dieta (Lu, 1988), ya que en algunos casos prefieren los arbustos (Ramírez *et al.*, 1993; Bartolomé *et al.*, 1998), pero en otros, los pastos son su principal alimento (Fajemisin *et al.*, 1996; Sánchez-Rodríguez *et al.*, 1993). La flexibilidad de las cabras en sus preferencias por morfotipos de vegetación hace que se les llame consumidoras mixtas (Lu, 1988).

Como se describió anteriormente, los arbustos fueron los predilectos para las cabras, pero las herbáceas y los pastos también fueron importantes. En la literatura sobre la composición botánica de su dieta (Mellado *et al.*, 1991; Ramírez *et al.*,

1993; Perevolotsky *et al.*, 1998) destaca la diversidad de la misma, lo que contrasta con el hecho de que sean selectivas, porque en la mayoría de los trabajos, como en el presente estudio, pocas especies conforman más de 50% del consumo.

El forrajeo de las cabras indica que las plantas seleccionadas representan las mejores alternativas nutricionales y energéticas disponibles, lo que habría que confirmarse con estudios bromatológicos de las especies más consumidas que corresponden a la categoría de preferida y proporcional, que al restringirse a pocas taxa, conviene evaluar si esta selección afecta la supervivencia de las que presentan mayor presión de forrajeo.

Una alternativa para aminorar el daño sobre determinado número de taxa vegetales es aumentando su número mediante la siembra de las preferidas (Guevara *et al.*, 2003). En México existen programas gubernamentales que en los últimos años han apoyado a la actividad forestal, los cuales pudieran orientarse para la propagación de las especies mencionadas. Así, al aumentar la disponibilidad de alimento en las zonas del área de influencia es posible incrementar el tamaño de los hatos, o bien buscar orientar la actividad productiva hacia el doble propósito, ya que en la actualidad la caprinocultura esta destinada exclusivamente a producir cabras para carne. Finalmente, los resultados de este estudio sugieren que los agostaderos de Zapotitlán de las Salinas son adecuados para la cría de cabras.

A nivel nacional, la caprinocultura va en deterioro, por el envejecimiento de los productores o cabreros, por el deterioro genético del pie de cría y por la disminución en la demanda (FAO, 2003). En la zona de trabajo, el pago diario por pastor varió de 60 a 80 pesos (M.N.), y debido a los bajos precios de venta de los animales de alrededor de 800 pesos, el productor tendría que vender cerca de 30 cabras al año o una cabra cada 14 días, para mantener el sueldo de un pastor. La tendencia actual es que a la población le interesa más el trabajo en las maquiladoras cercanas de Tehuacán, Puebla o bien emigrar a otros sitios que producir cabras. No obstante, la caprinocultura sigue siendo económicamente importante en el lugar y en la zona de la reserva de Tehuacán-Cuicatlán, la cual es posible desarrollar si recibe mayores incentivos económicos y para la organización de la producción, donde investigaciones como la aquí referida fundamentarían la toma de decisiones relacionadas con el manejo de las cabras.

CONCLUSIONES

El estudio del forrajeo de las cabras permitió observar que el probable daño que generan sobre el paisaje de Zapotitlán de las Salinas, estuvo muy localizado. El consumo se orientó a pocas especies vegetales y las condiciones de los agostaderos son adecuadas para la cría de cabras. La actividad puede mejorarse

con un programa de manejo, en el que se establezcan rutas de recorridos y se aumente la capacidad de carga de los agostaderos con la plantación de arbustos preferidos. El conocimiento del forrajeo de las cabras es una herramienta que se puede aprovechar para minimizar los impactos sobre la vegetación nativa y mejorar la producción caprina.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a la comunidad de Zapotitlán de las Salinas, Puebla y el apoyo brindado por la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la UNAM a través del proyecto PAPIIT-IN208398.

REFERENCIAS

- Arbiza, A. S. I. 1986. Producción de caprinos. AGT Editor, S. A. México, D. F. 695 p.
- Barrera-Cabrera, C. 2001. Descripción y regionalización fisiográfica del Valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla, México. Tesis Profesional. Escuela Nacional de Estudios Superiores de Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. 93 p.
- Bartolomé J., J. Franch, J. Plaixats and N. Seligman G. 1998. Diet selection by sheep and goats on Mediterranean heath-woodland range. *Journal of Range Management*. 51 (4):383-391.
- Baumont R., S. Prache, M. Meuret and P. Morand-Fehr. 2000. How forage characteristics influence behaviour and intake in small ruminants; a review. *Livestock Production Science*. 64 (1):15-28.
- Casas, A., A. Valiente-Banuet, J. L. Viveros, J. Caballero, L. Cortés, P. Dávila, R. Lira and I. Rodríguez. 2001. Plant resources of the Tehuacan-Cuicatlan Valley, Mexico. *Economic Botany*. 55 (1):129-166.
- Dziba L. E., P. F. Scogings, I. J. Gordon and J. G. Raats, 2003. Effects of season and breed on browse species intake rates and diet selection by goats in the False Thornveld of the Eastern Cape, South Africa. *Small Ruminant Research*. 47(1):17-30.
- Ezcurra E. y C. Montaña. 1990. Los recursos naturales renovables en el norte árido de México *In*: Leff, E. (Comp.): Medio ambiente y desarrollo. Editorial Porrúa, S. A. México, D. F. pp. 257-296.
- Fajemisin B., D. Ganskopp, R. Cruz and M. Vavra. 1996. Potential for woody plant control by Spanish goats in the sagebrush steppe. *Small Ruminant Research*. 20 (2):99-107.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2003. Livestock sector report Mexico. http://www.fao.org/ag/againfo/resources/en/publications/sector_reports/lsr_MEX.pdf (27 de septiembre de 2005).
- Galina M. A., D. C. Puga, A. Hernández and G. F. Haenlein. 1998. Biodiverse and biosustainable production system with goats in Mexico: importance of a forage bank. *Small Ruminant Research*. 27(1):19-23.

- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª. Edición. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 211 p.
- González C. A. 1977. El ganado caprino en México. Distribución, utilización e importancia económica. Instituto Mexicano de Recursos Renovables, A. C. México, D. F. 178 p.
- Gründwalt E., G., A. Pedrani and A. Vich. 1994. Goat grazing in arid piedmont of Argentina. *Small Ruminant Research*. 13 (3):211-216.
- Guevarat J., C., J. Silva-Colomer, O. Estevez and J. Paez. 2003. Simulation of the economic feasibility of fodder shrub plantations as a supplement for goat production in the north-eastern plain of Mendoza, Argentina. *Journal of Arid Environment*. 53 (1): 85-98.
- Hernández J., S. 2000. La caprinocultura en el marco de la ganadería poblana (México): contribución de la especie caprina y sistemas de producción. *Arch. Zootec*. 49:341-352.
- Hernández J. S., E. Rodero, M. Herrera, J. Delgado, C. Barba y A. Sierra. 2001. La caprinocultura en la Mixteca Poblana (México): Descripción e identificación de factores limitantes. *Arch. Zootec*. 50:231-239.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1998. La ganadería familiar en México. Colegio de Postgraduados. México. 92 p.
- Lachica, M. R., F. Barroso and C. Prieto. 1997. Seasonal variation of locomotion and energy expenditure in goats under range grazing conditions. *Journal of Range Management*. 50 (3):234-238.
- Lachica, M., R. Somlo, F. Barroso, J. Boza and C. Prieto. 1999. Goats locomotion energy expenditure under range grazing conditions: Seasonal variation. *Journal of Range Management*. 52 (5):431-435.
- Lachica, M. and J. C. Aguilera. 2003. Estimation of energy needs in the free-ranging goat with particular reference to the assessment of its energy expenditure by the ¹³C-bicarbonate method. *Small Ruminant Research*. 49(3):303-318.
- Lu, C. D. 1988. Grazing behavior and diet selection of goats. *Small Ruminant Research*. 1(3): 205-216.
- Manzano M., G. and J. Nívar. 2000. Processes of desertification by goats overgrazing in the Tamaulipan thornscrub (matorral) in north-eastern Mexico. *Journal of Arid Environments*, 44 (1):1-17.
- Mellado M., R. Foote, A. Rodríguez and P. Zarate. 1991. Botanical composition and nutrient content of diets selected by goats grazing on desert grassland in northern Mexico. *Small Ruminant Research*. 6 (1-2):141-150.
- Morales A. R., M. Galina, S. Jiménez, G. Haenlein. 2000. Improvement of biosustainability of a goat feeding system with key supplementation. *Small Ruminant Research*. 35 (2):97-105.

- Osorio B. O., A. Valiente-Banuet, P. Dávila y R. Medina. 1996. Tipos de vegetación y diversidad en el Valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla, México. *Bol. Soc. Bot. México*. 59:35-58.
- Perevolotsky, A., S. Landau, D. Kababia and E. Ungar. 1998. Diet selection in dairy goats grazing woody Mediterranean rangeland. *Applied Animal Behaviour Science*. 57 (1-2): 117-131.
- Ramírez R. G., E. Ríos and J. Garza. 1993. Nutritional profile and intake forage grazed by Spanish goats in a semi-arid land. *Journal of Applied Animal Research*. 3:113-122.
- Sánchez-Rodríguez M., A. Gomez-Castro, E. Peinado-Lucena, M. Mata-Moreno and V. Domenech-García. 1993. Seasonal variation in the selective behaviour of dairy goats on the Sierra area of Spain. *Journal of Animal and Feed Sciences* 2: 43-50.
- Sokal R., R. and F. Rohlf J. 1995. *Biometry*. 3rd Edition. Freeman, New York, NY. 887 p.
- Stuth, J. W. 1991. Foraging behavior. *In: Heitschmidt R., K. and J. W. Stuth. (Comps.): Grazing management: an ecological perspective*. Timber Press, Inc. Portland, OR. pp. 65-83.
- Valiente B., L. 1991. Patrones de precipitación en el valle semiárido de Tehuacán, Puebla, México. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. 61 p.
- Valiente-Banuet A, A. Casas, A. Alcántara, P. Dávila, N. Flores-Hernández, M. Arizmendi, J. Villaseñor, y J. Ortega. 2000. La vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. *Bol. Soc. Bot. México*. 67:24-74.

EFECTO DE PODAS EN PLANTACIONES DE AILE (*Alnus acuminata* ssp. *glabrata* (Fern.) Furlow) EN NUEVO SAN JUAN PARANGARICUTIRO, MICHOCÁN

J. Jesús García Magaña¹, H. Jesús Muñoz Flores¹,
Trinidad Sáenz Reyes¹ y J. Jesús García Sánchez¹

RESUMEN

En la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Mich., la industria forestal se basa, principalmente, en el aprovechamiento del bosque de pino; sin embargo, existen otras especies con potencial productivo como el aile (*Alnus acuminata* ssp. *glabrata*), cuya madera es utilizada en la elaboración de muebles y molduras. Comuneros dedicados a dicha actividad han manifestado su interés por el uso de esta especie para plantaciones forestales, pero desconocen las labores silvoculturales necesarias, dentro de las cuales las podas son importantes. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de cuatro intensidades de poda (0, 30, 40 y 50%) con respecto a la altura total del árbol en una plantación de aile de 2 años 8 meses, en una localidad cuya altitud es de 2,590 m. La plantación se estableció en julio de 1995, sobre una superficie de 2 ha, con un espaciamiento de 3 x 3 m entre las plantas, lo que dio un total de 1111 ejemplares. Después de 4 años de haber aplicado las podas, no se encontraron diferencias significativas en el crecimiento en altura y diámetro fustal. Se concluye que la aplicación de las podas hasta en 50% de la altura total a 3 años de edad no afecta de manera negativa al crecimiento de los árboles, pero sí se observó una ligera disminución en el diámetro.

Palabras clave: Aile, altura, crecimiento en diámetro, plantaciones forestales, podas, silvicultura.

Fecha de recepción: 02 de mayo de 2005.

Fecha de aceptación: 25 de enero de 2006.

¹ Campo Experimental Uruapan, Centro de Investigación Regional Pacífico Centro, INIFAP.
Correo-e: muñoz.jesus@inifap.gob.mx

ABSTRACT

In the Nuevo San Juan Parangaricutiro indigenous community at the state of Michoacan, industry is based on pine forests; however, there are other potential productive species, such as alder that provide wood used for furniture and frames. The inhabitants of this town dedicated to these activities, have expressed their interest to use this species for tree plantations, but do not know the necessary silvicultural practices, one of which is pruning. The purpose of this study was to assess the effect of four pruning intensities (0, 30, 40 and 50 per cent) in regard to total tree height over a 2.8 year old alder plantation, in a 2590 m high location. This plantation was established in July of 1995 in a 2 ha area, with a 3 by 3 m spacing between plants, that made up a total number of a 1111 trees/ha. After a four year period of having applied pruning, there were not significant differences in height and diameter growth. It can be concluded that pruning at 50% tree height in three-year old examples do not affect in a negative sense in diameter and in height, but a diametric slight reduction was observed.

Keywords: Alder, height, diameter growth, forest plantations, prunings, silviculture.

INTRODUCCIÓN

La comunidad indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Mich. ha sobresalido por su cadena productiva forestal, desde el manejo de los bosques hasta la comercialización de productos terminados. El tipo de vegetación en el área es el bosque templado, donde predominan las especies de *Pinus pseudostrobus* Lindl., *P. montezumae* Lamb., *P. leiophylla* Schl. et Cham., *P. michoacana* Martínez, *P. douglasiana* Martínez, *P. teocote* Schl. et Cham., *P. lawsonii* Roehl, *Quercus rugosa* Née, *Q. candicans* Née, *Q. laurina* Humb. et Bonpl., *Q. obtusata* Humb. et Bonpl., *Clethra mexicana* A. DC, *Arbutus xalapensis* HBK., *Alnus jorullensis* HBK. y *A. acuminata* spp. *glabrata* (Fern.) Furlow, entre otras. Cuenta con existencias totales maderables de 1,798,508.000 m³ volumen total árbol (VTA) y un volumen anual autorizado para aprovechamiento de 75,910 m³ VTA; de éste, 3.40% corresponde al aile.

El aile (*Alnus* spp.) es utilizado con éxito en la elaboración de muebles y molduras, los cuales han tenido mayor demanda en el mercado local, que los fabricados con madera de pino. En bosque natural y condiciones controladas presenta crecimiento más rápido que el mostrado por otras especies nativas; por estas razones se han establecido plantaciones forestales y se investigan las labores silviculturales que los taxa del género demandan. Una de ellas es la poda que permite obtener buena madera y por lo tanto, trozas de mayor valor.

Debido a lo anterior, se planteó el objetivo de evaluar el efecto de cuatro intensidades de poda (0, 30, 40 y 50%) con respecto a la altura total del árbol,

sobre el crecimiento en diámetro y altura en plantaciones de *A. acuminata* ssp. *glabrata*, en Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán.

Fujimuri (1975) menciona varias ventajas que ofrecen las podas: control de la distribución de la luz solar, tamaño del árbol individual o del rodal, y sobre todo, la producción de madera de buena calidad; en Estados Unidos, Hawley y Smith (1972) y Daniel *et al.* (1982) las reconocen como parte importante del manejo forestal intensivo.

Patiño *et al.* (1993) indican que el propósito más frecuente de la poda inducida es la producción de madera limpia o exenta de nudos en rotación más corta que la obtenida con la poda natural. La primera se aplica para prevenir la formación de nudos sueltos, y de esa manera, estimular la presencia de nudos firmes, aunque no necesariamente limpia. Es probable que este esfuerzo no ofrezca recompensas económicas, pero el periodo de espera es menor. Sin embargo, cualquier disminución de la superficie foliar, reduce la tasa de crecimiento de los árboles, tanto en altura como en diámetro. El crecimiento en altura causado por la poda de ramas verdes es pequeño, pero su efecto acumulativo puede ser bastante grande, al punto de inducir que los árboles podados sean suprimidos por los no podados; las reducciones de crecimiento en diámetro, ocasionadas por la poda, son de magnitudes mayores.

Los mismos autores citan experiencias generadas en muchos países de clima templado-frío, en los que se consigna que una poda en la copa viva de las coníferas del orden de 25 a 30% no propicia una baja significativa del crecimiento en altura y diámetro de los árboles. La poda se aplica sólo en aquellos individuos que no presenten una buena poda natural y que producen madera de reconocido valor para aserrío o chapa, la cual, de preferencia tiene que estar libre de nudos. Debe evitarse en especies susceptibles al ataque de hongos e insectos, o sobre las que se retrase significativamente su crecimiento, o provoque su muerte.

Las podas son más eficientes en sitios con alto índice de calidad y en poblaciones susceptibles a los aclareos. Son necesarias para promover la producción de madera limpia al garantizar la rápida cicatrización de los cortes y la permanente dominancia de los árboles podados. Sin embargo, en el caso de que en una plantación se hayan suprimido algunos ejemplares por efecto del viento, fuego, plagas, enfermedades u otros agentes perjudiciales, no es recomendable podar para prevenir pérdidas mayores. Cuando el destino de la madera es para aserrío o chapa, este tratamiento sólo se aplica en individuos con un rápido incremento diámetro, o bien que con los aclareos, mantienen crecimiento acelerado. Esto significa que las podas deben realizarse en ejemplares jóvenes, pues entre menos edad tenga el árbol, la parte con más defectos por nudos es menor y la oportunidad de crecer más para producir madera limpia, es mayor (Patiño *et al.*, 1993).

El Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal en Costa Rica (2005) al describir las podas destaca que mientras persistan las ramas en el tronco de un árbol, la madera va a tener nudos, mismos que constituyen uno de los defectos más comunes, lo que ocurre en detrimento de la calidad y el valor de dicho producto; además, enfatiza que la poda se debe hacer sólo hasta la mitad de la altura total del árbol, porque si se eliminan demasiadas ramas vivas, se disminuye el crecimiento.

En plantaciones de *Pinus patula* Schl. et Cham. con podas muy intensas (75% de la copa), Luckhnoff (1949) y Adlard (1964) notaron una pequeña, pero significativa, reducción en el crecimiento en altura durante el primer año después del tratamiento, e incrementos no significativamente diferentes, en el siguiente. Concluyeron que la intensidad de poda influye sobre el incremento anual.

Cozzo (1976) menciona que en especies de rápido crecimiento entre 4 y 5 años miden de 5 a 7 m de altura y que, por su densidad (2000 árboles/ha) pueden cerrar el "vuelo" en 2 y 4 años en sitios de calidad I, la primera poda se realiza cuando el diámetro promedio es de 8 a 10 cm a 1.30 m del suelo.

Karani (1978) combinó poda con aclareos en plantaciones de *Pinus patula* en Uganda; de ello resultó que los árboles dominantes podados a diferentes intensidades pasaron a formar parte de los codominantes en densidades de plantación de 150 a 200 árboles/ha. La eliminación de las ramas vivas hasta 25% de la altura total no mostró ningún efecto significativo en el crecimiento en diámetro en densidades de 150, 250, 750 árboles/ha; pero en la densidad de 1,500 árboles/ha, se presentó una fuerte disminución. La poda a 50% de la altura total, disminuyó el incremento del diámetro en todas las densidades, con 75% de corte se provocó una depresión en el incremento en diámetro más fuerte. El autor concluyó que es indispensable la combinación de podas con aclareos para favorecer el desarrollo de los individuos selectos, de tal manera que la pérdida de área foliar se compense con el decremento en la competencia.

En África del sur, Galloway (1987) trabajó con plantaciones de la especie citada, con intensidades de copa de 35%; de ello determinó que no existe un efecto significativo en el diámetro. En contraste, con 50% se advierte una influencia importante, y con 75% la respuesta fue muy negativa. Recomendó podar hasta 40% de la copa viva para no afectar el crecimiento vertical.

García y Toledo (1989) llevaron a cabo un estudio en plantaciones de *P. pseudostrobus* y *P. michoacana*, establecidos a una densidad de 2,500 árboles/ha. en el Campo Experimental Forestal "Barranca de Cupatitzio" del INIFAP, que estaba ubicado en las cercanías de Uruapan, Mich., por medio del cual observaron que la poda de ramas al 50% de intensidad respecto a la altura total del árbol de 9 y 10 años de edad, no redujo el crecimiento en diámetro y altura.

Romo (1991) refiere que en algunos países de África, el rango recomendable de poda en *Pinus patula*, es de 25 a 40% de la copa viva del arbolado.

Villarreal (1994) destaca que cuando el producto esperado en *P. patula* va a ser la madera aserrada, la poda de las ramas laterales debe ser una operación importante, en virtud de que éstas son persistentes, su poda natural es muy lenta y sólo funciona en densidades altas. Las podas deben hacerse en las primeras etapas de la plantación, cortando aproximadamente 40% del follaje, para obtener plantas de buena conformación y calidad, además se reduce el riesgo de incendios.

García y Toledo (1994) mencionan que de acuerdo con estudios con álamo (*Populus* spp.), es conveniente cortar en diferentes fases: el tercio inferior del fuste entre los 4 y 5 años; la mitad, de los 6 a los 8 años; y de los 8 a los 10 años, las dos terceras partes. En especies entre 5 y 6 años de edad que tengan una altura total de 5 a 7 m y una densidad de 2,500 árboles/ha, la primera poda puede realizarse cuando el diámetro normal con corteza sea de 8 a 10 cm.

Dominguez *et al.* (1997) evaluaron el efecto de cuatro intensidades de poda a diferentes alturas sobre el crecimiento en altura y diámetro en una plantación de *P. patula*, de 7 años de edad. Concluyen que durante el primer año, en la altura se presentó una disminución en el ritmo de crecimiento, directamente proporcional a su intensidad, pero a los 7 años resultó que los tratamientos de 4.00 y 3.30 m promovieron un mayor incremento en altura y un decremento en diámetro. Los autores recomiendan podar plantaciones de *P. patula* de 7 a 8 años de edad, con 8.50 m de altura y 12.0 cm de diámetro, a una altura mínima de 2.50 m y máxima de 4.00 m en combinación con un aclareo.

Toro (2004) afirmó que la severidad de la poda puede provocar diversas respuestas de los árboles, tales como un incremento en diámetro o un decremento considerable, o bien una tasa de crecimiento similar a la que tienen los árboles no podados. La estructura de la copa, en especial la cantidad de follaje, el índice de área foliar, la longevidad de las acículas, la eficiencia fotosintética del follaje, reaccionan en forma diferente, según sea la calidad del sitio. Además, una poda a destiempo es un gasto innecesario, disminuye el crecimiento y afecta la calidad de la madera.

La Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM) en la República de Panamá (2005) menciona que en melina (*Gmelina arborea* Roxb), cuando el objetivo es madera para aserrío, tarimas y cajas de embalajes, con turnos de la plantación de 15 a 20 años, además de los raleos, se realizan podas; la primera se debe aplicar cuando los árboles tengan entre 3 y 4 m de altura en los mejores ejemplares, la segunda se aplica inmediatamente después del primer raleo y se trabajan todos los individuos presentes.

Para el laurel (*Cordia alliodora* (Ruiz et Pavon) O. Ken) que se destina a madera para aserrío en turnos de 18 a 20 años, el manejo que se lleva a cabo incluye podar los árboles de mayor potencial hasta 3.5 ó 7 m, para producir una o dos trozas libres de nudos, a pesar de que la especie presenta auto poda. El corte inicial se aplica a 3.50 m de alto después del primer raleo, cuando los árboles alcanzan de 8 a 10 m de altura, y para producir dos trozas, se hace a 5 m (ANAM, 2005).

En el caso del ciprés (*Cupressus lusitanica* Mill.) con el mismo propósito, se deben ejecutar podas por el gran número de ramas que tiene. Se recomienda cortar con frecuencia, iniciando a una altura de 5 a 6 m, y termina a la mitad de la altura del árbol; la segunda poda se realiza después del primer raleo, al momento de seleccionar los árboles para el aprovechamiento final. Esta actividad se lleva a cabo cuando el diámetro normal es de 8 a 10 cm y la poda se hace hasta los dos tercios de la altura total (ANAM, 2005).

Para el pino caribe (*Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf.) con igual fin, en turnos de 15 años, se ha indicado la conveniencia de podar cuatro veces durante el turno de la plantación; la primera al cuarto año, hasta 25% de la altura total del árbol. Al sexto año, se efectúa la segunda a 50% de la altura total y en el año décimo se despejará como mínimo 9 m del tronco hacia arriba, con un corte final al año 14 (ANAM, 2005).

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización geográfica de la plantación y condiciones ambientales

La plantación se localiza en el paraje denominado "La Joya del Muerto", en una superficie de 2 ha, de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Mich. La topografía del terreno es ligeramente ondulada, con una pendiente media de 10%, exposición noreste y una altitud sobre el nivel del mar de 2,590 m. Las coordenadas geográficas son: 19° 23' 53" de latitud norte y 102° 15' 12" de longitud oeste, con respecto al meridiano de Greenwich.

El clima es C(m)(w), que corresponde a templado húmedo, con abundantes lluvias en verano y lluvia invernal menor de 5%; una precipitación anual de 1244 mm, temperatura máxima de 22.72°C, mínima de 6.97°C y media de 14.93°C; humedad relativa anual de 60%, con un período libre de heladas de 190 días (Anguiano *et al.*, 2003).

El suelo se deriva de cenizas volcánicas intemperizadas cuya presencia se debe a erupciones volcánicas (Plioceno-Cuaternario), siendo el más reciente el Parícutin que estuvo en actividad de 1943 a 1951. El tipo de suelo es andosol,

rico en materia orgánica, pero muy ácido y pobre en nutrientes. La textura dominante es migajón arcilloso, por lo que tienen permeabilidad media y drenaje moderado (Delgado, 1992).

La vegetación arbórea aledaña a la plantación está compuesta principalmente por: *Pinus pseudostrobus*, *P. montezumae*, *Alnus acuminata* ssp. *glabrata*, *A. jorullensis*, *Clethra mexicana*, *Arbutus xalapensis*, *Quercus obtusata* y *Q. rugosa*.

Establecimiento de la plantación

La planta se propagó en el vivero "El Durazno" ubicado en el km 16 de la carretera de Nuevo San Juan Parangaricutiro-Tancitaro. A la edad de 4 meses tenía 40 cm de altura en promedio, con un grosor del tallo de 3 a 5 mm y buen vigor. La plantación se estableció en julio de 1995, en una superficie de 2 ha. Para el trazo se usó el método de "marco real" con una densidad de 1111 plantas por hectárea, con un espaciamiento de 3 x 3 m, entre plantas e hileras. Se empleó el método de cepa común, con dimensiones de 30 x 30 x 30 cm.

Aplicación de los tratamientos y análisis de datos

Las podas se aplicaron cuando los árboles tenían 2 años y 8 meses de plantados, una altura promedio de 5.72 m y un diámetro normal promedio de 8.7 cm. Los tratamientos consistieron en las intensidades de podas: a) testigo 0%, b) 30%, c) 40% y d) 50%, con respecto a la altura total del árbol. Se seleccionaron los mejores 100 árboles de la plantación para los cuatro tratamientos ensayados, 25 árboles por cada intensidad y se asignaron aleatoriamente, por lo que las unidades experimentales quedaron distribuidas en todo el terreno.

La primera medición de los diámetros y las alturas se hizo al momento de podar y posteriormente cada año hasta los 4.3 años de aplicados los tratamientos, es decir, a la edad de 6.9 años de la plantación. Las variables evaluadas fueron el incremento periódico en diámetro (IPd) y en altura (IPh). Se hizo un análisis de varianza con un diseño experimental completamente al azar. Además, se obtuvo y comparó en forma directa el valor del incremento medio anual en diámetro (IMAD) y en altura (IMAA) entre los tratamientos probados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al evaluar el efecto de cuatro intensidades de poda mediante el análisis del incremento periódico en altura y en diámetro se obtuvieron los siguientes resultados.

Incremento en altura

La altura inicial de los cuatro tratamientos al momento de la poda (Cuadro 1) fue analizada para detectar algún posible efecto sobre el crecimiento posterior a las podas que fuese debido al tamaño inicial de las plantas; los resultados no mostraron diferencias significativas a un nivel de 5% ($p = 0.375$) y un coeficiente de variación de 14.85%. Lo anterior permite asumir que el crecimiento subsiguiente está relacionado con el efecto de la poda y no existen diferencias en el tamaño inicial de las plantas.

Cuadro 1. Altura inicial, final e incrementos periódico y medio anual en altura para las cuatro intensidades de poda en *Alnus acuminata* ssp. *glabrata*.

Tratamiento (Intensidad de poda)	Altura inicial (m)	Altura final (m)	Incremento periódico (4.3 años)	IPAA (m/año)	IMAA (m/año) (6.9 años)
a) Testigo	5.96	17.02	11.06	2.57	2.49
b) 30%	5.58	16.50	10.92	2.54	2.39
c) 40%	5.74	16.74	11.00	2.56	2.43
d) 50%	5.62	16.91	11.29	2.62	2.45

Las alturas iniciales al momento de llevar a cabo los tratamientos son bastante similares, ya que los valores corresponden al menor con 5.58 m y al mayor a 5.96 m, que representa una diferencia mínima de 38 cm. Respecto a las alturas finales, la diferencia entre el valor más bajo (16.50 m) y el máximo (17.02 m) fue de sólo 52 cm que no resultó significativamente diferente entre los tratamientos (Figura 1).

Estos resultados concuerdan con los de Jiménez *et al.* (1986), citado por Patiño *et al.* (1993), quienes concluyen que las diferentes intensidades de poda aplicadas en melina (0, 20, 40 y 60%), no afectaron el crecimiento de los árboles respecto a las variables altura, diámetro y supervivencia. A lo mismo llegaron Domínguez *et al.* (1997) con *Pinus patula*, sobre el que se probaron cuatro intensidades de poda a diferentes alturas: 2.50, 3.30, 4.00 m, y un testigo. Al año, no hubo efectos significativos sobre la altura y el diámetro. Sin embargo, a los 15

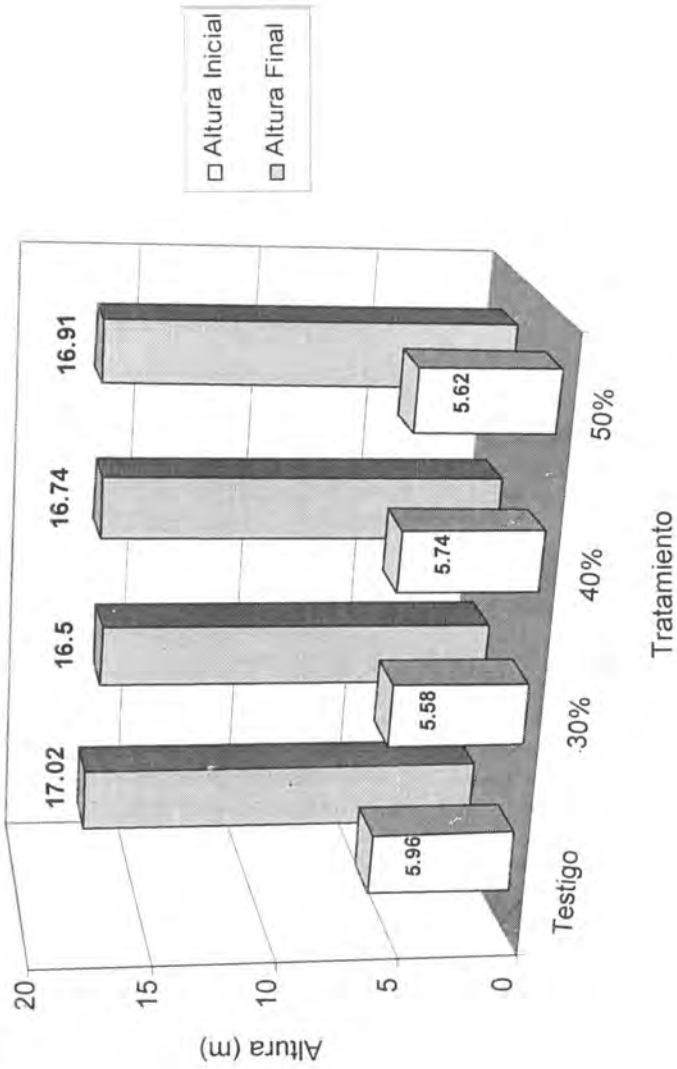


Figura 1. Altura inicial al momento de podar y final posterior a la aplicación de cuatro intensidades de poda en una plantación de aile (m.c.) en Nuevo San Juan Parangaricutiro, Mich.

años de edad de la plantación, se observó que los tratamientos de 4.00 y 3.30 m promovieron un mayor aumento en altura.

El valor del incremento periódico en altura a los 4.3 años ($IP_{4.3}$) obtenido al final de la etapa de evaluación, al igual que las alturas iniciales, no mostraron diferencias significativas entre tratamientos a un nivel de 5% ($p = 0.881$) y un coeficiente de variación de 15.48%. En este estudio no se tuvo evidencia significativa de que el aile presente una reducción del crecimiento en los valores del incremento periódico (IP) y en consecuencia en el incremento periódico en altura (IPAA) por efecto de la poda de hasta un 50% de la altura total del árbol.

Romo (1991) recomienda un intervalo de corte en *P. patula* del 25-40% de la copa viva del arbolado, pero si la poda natural ya se ha iniciado, la altura debe ser mayor al 50%; Galloway (1987) señala que al eliminar 35% no disminuye el crecimiento, pero al 75%, si se reduce drásticamente, por lo que es conveniente cortar sólo 40% de la copa viva para no afectar el crecimiento en altura de la especie.

García y Toledo (1989) trabajaron con *P. pseudostrobus* a intensidades de 0, 25, 33 y 50%; el incremento más alto tanto en diámetro como en altura lo registraron con el último tratamiento. La poda se realizó cuando la plantación tenía 9 años de edad, un espaciamiento inicial de 2 x 2 m y las copas ya estaban cerradas; tuvo el efecto de un aclareo y no afectó a las ramas bajas ya que por estar sombreadas, su eficiencia fotosintética estaba reducida y, consecuentemente, no hubo repercusiones negativas sobre el crecimiento.

En el caso del aile, se pudo cuando aún no existía competencia entre los árboles, lo que permitió evaluar el impacto de las intensidades en cada árbol. Por lo anterior, la información individual obtenida permite aseverar que las que se aplicaron en el presente trabajo no mostraron efectos negativos, en relación al crecimiento en altura después de los tratamientos.

A la edad de 6.9 años, el IMAA del aile fue de 2.39 a 2.49 m/año, el cual no sugiere diferencias importantes entre sí, ocasionadas por el efecto de la poda. Estas cifras denotan un buen ritmo de crecimiento en altura, ya que supera los mayores valores registrados para plantaciones establecidas en la "Sierra Purépecha", Michoacán, que son de 1.11 m/año en *P. patula*, 1.07 m/año en *P. pseudostrobus*, 1.04 m/año en *P. douglasiana* y *P. greggii* Engelm y 1.02 m/año para *P. herrerae* Martínez (García, 1996).

Incremento en diámetro

Los valores de los diámetros iniciales se sometieron a un análisis de varianza para probar la hipótesis de que no hay diferencias significativas entre ellos, lo cual resultó cierto ($p = 0.849$) y un coeficiente de variación de 19.44%; con dichos

resultados se puede suponer que el subsiguiente crecimiento en diámetro está relacionado con el impacto de las intensidades de poda. Al analizar los valores del incremento periódico en diámetro, a los 4.3 años (IPd_{4.3}), el ANVA no indicó diferencias significativas a un nivel de 5% ($p = 0.062$) y un coeficiente de variación de 17.29%; ésto refleja que la falta de diferencias estadísticamente significativas en el incremento periódico en diámetro (IPAD) por efecto de la poda, aunque se nota una ligera relación negativa, ésto es, a mayor intensidad de poda, menor crecimiento (Cuadro 2).

Cuadro 2. Diámetro inicial, final e incrementos periódico y medio anual en diámetro para las cuatro intensidades de poda en *Alnus acuminata* ssp. *glabrata*.

Tratamiento (Intensidad de poda)	Diámetro inicial (cm)	Diámetro final (cm)	Incremento periódico (4.3 años)	IPAA (cm/año)	IMAA (cm/año) (6.9 años)
a) Testigo	8.9	30.5	21.6	5.0	4.4
b) 30%	8.8	31.2	22.3	5.2	4.5
c) 40%	8.5	28.7	20.2	4.7	4.2
d) 50%	8.6	27.5	18.9	4.4	4.0

En la Figura 2 se observa una ligera disminución del crecimiento en diámetro respecto al tratamiento a) (testigo), comparado con los tratamientos c) y d) que corresponde a 1.8 y 3.0 cm, respectivamente; sólo el tratamiento b) presentó una ganancia en diámetro de 1.0 cm, en relación al testigo. Esta ligera tendencia de la disminución del crecimiento en diámetro, posiblemente se debió a la influencia de la densidad de plantación que fue de 1,111 árboles/ha, ya que de acuerdo a lo citado por Karani (1978) con una intensidad de poda de 25% de la altura total del árbol y en densidades bajas (150, 250 y 750 árboles/ha), no se muestra ningún efecto negativo en su aplicación; sin embargo, en densidades mayores (1,500 árboles/ha) se presentó un fuerte decremento del crecimiento en el diámetro de *P. patula*.

Los resultados del IMAD del aile a la edad de 6.9 años en el que los valores fluctúan de 4.0 a 4.5 cm/año, son superiores con respecto al crecimiento de especies de pino utilizadas en plantaciones en la "Sierra Purépecha", donde

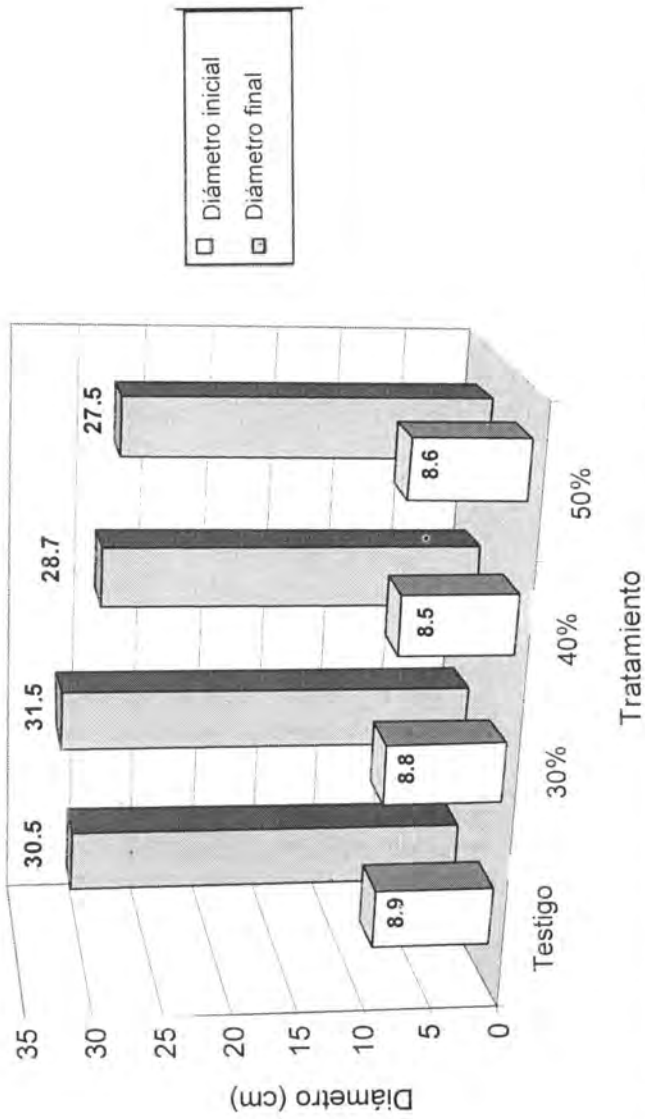


Figura 2. Diámetro inicial al momento de podar y final posterior a la aplicación de cuatro intensidades de poda en una plantación de aile (m.c.) en Nuevo San Juan Parangaricutiro, Mich.

Pinus patula, *P. greggii* y *P. pseudostrobus* presentan un IMAD de 2.2, 2.0 y 1.6 cm/año respectivamente (García, 1996). Esto demuestra que el aile tiene un ritmo de crecimiento mayor al de otras taxa considerados de rápido crecimiento, tanto nativos como introducidos en el estado de Michoacán.

Al momento de la poda el diámetro normal varió de 8.5 a 8.9 cm, intervalo que está dentro del recomendado por Cozzo (1976) y García y Toledo (1994), que corresponde a la primera poda cuando el diámetro mide de 8 a 10 cm. En el aile no se obtuvo evidencia estadística de la disminución del crecimiento en diámetro, lo cual concuerda con los datos obtenidos por García y Toledo (1989) en *P. pseudostrobus* y *P. michoacana*, pero contrastan con los trabajos de Vera y Ramírez (1985) y de Karani (1978), quienes observaron la tendencia de que al aumentar la proporción podada, el incremento en diámetro es menor.

CONCLUSIONES

Las dimensiones en diámetro y altura al momento de la aplicación de las podas fueron las adecuadas porque aún no se presentaba la poda natural.

La aplicación de las podas hasta en 50% de la altura total del aile a los 3 años de edad no afecta de manera significativa el crecimiento en altura, pero sí ligeramente en diámetro.

REFERENCIAS

- Adlard P., G. 1964. Pruning trial in Dedza Mountain Forest, Malawi. *Comm. For. Rev.* 43 (4):339-349.
- Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM) 2005. Dirección Nacional de Patrimonio Natural. Servicio Nacional de Desarrollo y Administración Forestal. Guía técnica para la reforestación en Panamá. [http://www.anam.gob.pa/forestal/guia % 20 técnica. html](http://www.anam.gob.pa/forestal/guia%20técnica.html). (16 de marzo de 2005).
- Anguiano C., J., J. Alcantar R., A. Ruiz, C. J. González, A. I. Vizcaíno, V. R., Regalado R. y C. De la Mora O. 2003. Recursos edafo-climáticos para la planeación del sector productivo en el estado de Michoacán. Libro técnico No. 1. SAGARPA. INIFAP. Editorial Conexión Gráfica. México. 173 p.
- Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal en Costa Rica. (2005). Información tecnológica forestal y manejo de plantaciones. <http://www.centa.gob.sb/htm/ciencia/otrainformación/forestal/manejoplantaciones.html>. (15 de marzo de 2005)
- Cozzo, D. 1976. Tecnología de la forestación en Argentina y América Latina. Hemisferio Sur. 1ª Ed. Buenos Aires, Argentina. 382 p.
- Daniel T., W., J. A. Helms y F. S. Baker. 1982. Principios de silvicultura. 1ª Edición en español. Ed. McGraw-Hill. México. D. F. 492 p.

- Delgado V., P. 1992. Aspectos biológicos de conos y semillas de tres especies de *Pinus* en la zona boscosa de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Mich. Tesis profesional. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Mich. México. 86 p.
- Domínguez A., F., M. Rodríguez A. y C. Mallén R. 1997. Evaluación de cuatro intensidades de poda en una plantación de *Pinus patula* Schl. et Cham. en la región de Huayacocotla, Veracruz. Rev. Cien. For. en Méx. Vol. 22 (82):15-32.
- Fujimuri, T. 1975. Study on the technical system of pruning. Silviculture I. Bulletin of the Government Forest Experiment Station N°. 273. Tokio, Japón. 50 p.
- Galloway, G. 1987. Criterios y estrategias para el manejo de plantaciones forestales en la Sierra Ecuatoriana. DINAFAID. Ecuador. 145 p.
- García M., J. J. 1996. Coníferas promisorias para reforestaciones en la Sierra Purépecha. INIFAP CIRPAC. Campo Experimental Uruapan. Agenda Técnica No. 2. México. 79 p.
- García M., J. y R. Toledo B. 1989. Ensayo de tres intensidades de poda en una plantación de *Pinus pseudostrobus* y *P. michoacana* Mtz. Rev. Cien. For. Vol. 14 (65):52-76.
- García M., J. y R. Toledo B. 1994. Guía técnica para la aplicación de podas en plantaciones forestales. Guía técnica núm. 7. INIFAP. SARH. México. D. F. 21 p.
- Hawley R., C. y F. D. Smith. 1972. Silvicultura práctica. Editorial Omega. Barcelona, España. 533 p.
- Karani P., K. 1978. Pruning and thinning in a *Pinus patula* stand at Lendu Plantation, Uganda. Comm. For. Rev. 57 (4):269-278.
- Luckhnoff H., A. 1949. The effect of live pruning on the growth of *Pinus patula*, *Pinus caribaea* and *Pinus taeda*. J. S. Afr. For. Ass. 18:25-55.
- Patiño V., F., A. Rodríguez P. J. Marin C. y E. Díaz M. 1993. Melina (*Gmelina arborea* Roxb). Producción de planta, establecimiento y manejo de plantaciones. Libro Técnico s/n. CIRSE. Zona Henequenera. INIFAP. SARH. Yucatán, México. pp. 119-124.
- Romo G., D. 1991. Diferentes intensidades de poda en una plantación de *Pinus patula* Schl. et Cham. en la región de Huayacocotla, Veracruz. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de Méx. 78 p.
- Toro V., J. 2004. Alternativas silvícolas para aumentar la rentabilidad de las plantaciones forestales. Bosque 25(2):101-113.
- Vera C., G. y H. Ramírez M. 1985. Efecto de la intensidad de poda en el incremento y diámetro y altura en *Pinus montezumae* Lamb. y *Pinus michoacana* Mtz. en Chapingo, México. Memoria de la Tercera Reunión Nacional Sobre Plantaciones Forestales. Pub. Esp. No. 48. INIF. pp. 663-679.

- Villarreal C., R. 1994. Establecimiento y manejo de plantaciones. In: Nepamuceno M., F., F. Camacho M., V. González K., R. A. Cuevas R., Ma. P. De la Garza L. de L. y R. Villarreal C. (Comp.). Guía tecnológica para el establecimiento de plantaciones de pino patula (*Pinus patula*) en México. Guía Tecnológica No. 4 INIFAP. CENID-COMEF. México. pp. 41-46.

NOTA TÉCNICA

INCIDENCIA DE INFESTACIÓN DE *Arceuthobium globosum grandicaule* (Hawksw. & Wiens) EN *Pinus hartwegii* Lindl.

Reyna Hernández-Benítez¹, Zenón Cano-Santana¹
e Iván Castellanos-Vargas¹

RESUMEN

Se obtuvo la incidencia de infestación por el muérdago *Arceuthobium globosum grandicaule* (Loranthaceae) en individuos con distinta área basal de *Pinus hartwegii* (Pinaceae), en una parcela de 150 × 200 m² localizada en el Parque Nacional Zoquiapan, al sur del cerro Papayo, en el Estado de México. Los pinos con altura superior a 2 m que estuvieron infestados por *A. globosum* representaron 76% del total muestreado ($N = 293$), sólo 1.8% de los árboles inferiores a este tamaño mostraron presencia de infestación ($N = 111$). Se confirmó una relación directa entre el tamaño de los pinos y sus niveles de daño: con un área basal <5.1 cm², la severidad fue de 1.5%; para los valores 5.1 y 157.58 cm², los porcentajes variaron de 26 a 72.4, mientras que los individuos maduros de más de 157.58 cm², registraron 88% de daño. Este patrón se explica por la alta probabilidad de que los árboles grandes intercepten las semillas de muérdago, ya que la planta tiene un tipo de dispersión mecánica y por aves; además, los ejemplares de mayor tamaño son los primeros en infectarse debido seguramente a que han tenido más tiempo de exposición a la lluvia de semillas del muérdago, en comparación con los más chicos.

Palabras clave: *Arceuthobium globosum grandicaule*, muérdago, niveles de infestación, *Pinus hartwegii*, tamaño, Zoquiapan.

Fecha de recepción: 28 de febrero de 2005.

Fecha de aceptación: 16 de enero de 2006.

¹ Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, UNAM. Correo-e: zcs@hp.fciencias.unam.mx

ABSTRACT

The level of infection was obtained for mistletoe *Arceuthobium globosum grandicaule* (Loranthaceae) on individuals of different basal area of *Pinus hartwegii* (Pinaceae), in a 150 × 200 m² plot, located in Zoquiapan National Park, south of Papayo hill, Estado de Mexico. 76.64% of *P. hartwegii* trees taller than 2 m were infected by *A. globosum*, ($N = 293$), while only 1.8% of the individuals shorter than that height were damaged ($N = 111$). There is a direct relationship between the size of the pines and its level of infection: 1.5% of the trees with a basal area lower than 5.1 cm² were infected, 26 to 72.4% of the pines with a basal area between 5.1 to 157.58 cm² were attacked by mistletoe, where as 88% of *P. hartwegii* was infested. That pattern is explained because there is a high probability that the big trees intercept the mistletoe seeds, since these plants have a mechanical seed dispersal mechanism as well as seed dispersion by bird species. Additionally, the tallest pines have had a longer exposition time to mistletoe seed rain than the shorter trees, as this short trees are younger in the population than the tall pines.

Key words: *Arceuthobium globosum grandicaule*, mistletoe, level infection, size, *Pinus hartwegii*, Zoquiapan.

Arceuthobium globosum grandicaule Hawksw. & Wiens es una planta que infesta al menos a 12 especies de pinos mexicanos, entre los que destacan: *Pinus douglasiana* Martínez, *P. durangensis* Martínez, *P. hartwegii* Lindl., *P. lawsonii* Roetzl., *P. maximinoi* H. E. Moore, *P. michoacana* Martínez, *P. montezumae* Lamb., *P. patula* Schiede ex Schlttdl. et Cham., *P. pringlei* Shaw, *P. pseudostrobus* Lindl., *P. teocote* Schiede y *P. rudis* Endl. (Hawksworth y Wiens, 1972). Este muérdago enano es muy abundante en el centro de México; su intervalo altitudinal abarca de los 2 450 a 4 000 m (Hernández *et al.*, 1992). En *P. hartwegii* provoca la disminución de: los fascículos, el número de verticilos, la altura, el diámetro de los tallos, el número de conos y el tamaño de semilla (Gutiérrez, 1968; Andrade y Cibrián, 1980; Andrade, 1981; Vera, 1984).

La dispersión de semillas de *A. globosum* Hawksw. & Wiens es mecánica, pues lanza sus frutos a distancias de hasta 15 m, a una velocidad inicial de 100 km/h, aunque también pueden ser transportadas a distancias mucho mayores por aves, mamíferos e insectos (Hawksworth y Wiens, 1972; Raven *et al.*, 1992). Al estudiar tres especies de muérdagos enanos, Hawksworth y Wiens (1996) calcularon que cerca de 40% de sus semillas son interceptadas por los árboles, sin embargo la probabilidad varía de acuerdo a la estructura, composición y posición de los hospederos.

En México existe información sobre la distribución de muérdagos en distintas especies forestales (Hawksworth y Cibrián, 1984; Chazaro y Oliva, 1987; Chazaro, 1989; Chazaro, 1990; Hernández, 1991; Hawksworth y Wiens, 1996), y sólo se tienen registros del porcentaje de severidad de la infestación ocasionada por *A. vaginatum vaginatum* Hawksw. & Wiens en el centro del país, en tanto que en el norte hay registros de los niveles de incidencia debida a las siguientes especies: *A. vaginatum* Willd., *A. blumeri* A. Nelson, *A. abietis-religiosae* Hiel y *A. douglasii* Engelm (Rodríguez, 1985; Vera, 1984; Acosta y Rodríguez, 1989; Reid *et al.*, 1989). En la actualidad, se carece de datos referentes a la presencia de *A. globosum grandicaule* en distintas especies arbóreas.

Pinus hartwegii (Pinaceae), por su parte, es una conífera de 15 a 30 m de altura con troncos de corteza agrietada de color pardo rojizo, de madera dura y resinosa, que se distribuye entre los 2 500 y los 3 800 msnm (Eguiluz, 1978) y constituye el principal hospedero de *A. globosum* y de *A. vaginatum* Willd. (Hawksworth y Wiens, 1972).

Arceuthobium globosum (Loranthaceae) mide de 20 a 50 cm de altura, de color amarillo verdoso, aunque la base de las plantas de edad avanzada es generalmente oscura; con diámetro basal de 3 a 48 mm, sus flores son de 5 mm de ancho; en promedio el fruto maduro mide de 5 a 7 mm de largo y de 3 a 4 mm de ancho y sus semillas de 5 × 2 mm (Hawksworth y Wiens, 1972, 1996). La dispersión de estas últimas dura alrededor de 95 días, inicia los primeros días de julio y finaliza a principios de noviembre; su máxima abundancia se presenta entre la mitad de agosto y mediados de septiembre. El periodo de maduración es por lo regular de 16 a 18 meses, y las semillas interceptadas usualmente se quedan en las acículas de las coníferas hasta que la primera lluvia moja su recubrimiento pegajoso de viscina y, por efecto de la gravedad, descienden a la base de las acículas para adherirse a su superficie y comenzar la infección (Hawksworth y Wiens, 1996).

Los objetivos de este estudio consistieron en determinar la incidencia del muérdago enano *Arceuthobium globosum grandicaule* en *Pinus hartwegii*, y conocer la relación entre la talla (en términos de área basal) del árbol y la probabilidad de estar infestado. Se espera que exista una relación directamente proporcional entre el tamaño del pino y la presencia de muérdago, debido a que los individuos grandes tienen más tiempo de exposición; así como una mayor superficie disponible para el asentamiento de las plantas parásitas.

El trabajo se llevó a cabo en octubre de 2004 en el Parque Nacional Zoquiapan, ubicado en los límites del Estado de México y Puebla, al sur del cerro Papayo, a 19° 18' N y 98° 42' O y 3 420 msnm. Se seleccionó un área de 150 × 200 m de un bosque abierto de *P. hartwegii*. La localidad presenta un clima templado subhúmedo con lluvias en verano C(w₂) (w)(b')ig; una temperatura

media anual de 11.1°C y una precipitación anual promedio de 1 169.3 mm (García, 1973). La vegetación está dominada por *Pinus hartwegii*, mezclado con algunos ejemplares de *Alnus firmifolia* Fern., en el sotobosque se desarrollan gramíneas de los géneros *Festuca* L., *Muhlenbergia* Schreb., *Stipa* L., *Piptochaetium* J. Presl. y otras hierbas y arbustos como *Lupinus campestris* Cham. et Schttdl., *Achillea millefolium* L., *Penstemon campanulatus* (Cav.) Willd., *Geranium potentillaefolium* D. C., *Alchemilla procumbens* Rose, *Eryngium carlinae* Delar. f., *Gnaphalium liebmannii* Sch. Bip. ex Klatt. y *Senecio cinerarioides* Kunth (Blanco et al., 1978; Obieta y Sarukhán, 1981; Rodríguez, 1985)

La evaluación de los niveles de incidencia de *A. globosum* sobre *P. hartwegii* se realizó en octubre de 2004, para lo cual se trazaron cinco transectos de 50 × 10 m en los que se hicieron parcelas de 10 × 10 m. A cada uno de los pinos mayores de 2 m localizados dentro de cada área de muestreo se les tomó el perímetro a la altura del pecho (P_b). Posteriormente, se trazaron subparcelas de 5 × 5 m escogidas al azar en una de las esquinas de cada cuadro de 100 m². En el interior de éstos se ubicaron todos los ejemplares de *P. hartwegii* menores a 2 m de altura y se les midió su perímetro basal (P_b). En todos los casos se registró la presencia o ausencia de muérdago. Se calculó el área basal (AB) por medio de la fórmula $AB = (P_b^2 / 4\pi)$ y se hizo un análisis de regresión lineal simple entre el tamaño (dividido en siete categorías de área basal) y el porcentaje de infestación (severidad) de los pinos en cada una de ellas, para lo cual, los datos de daño se transformaron como $x' = \text{sen}^{-1}(x)^{1/2}$ y los relativos a la categoría de tamaños como $x' = (x + 0.5)$, por tratarse de una variable discreta (Zar, 1999).

Se muestrearon 404 individuos de *P. hartwegii*, de ellos 51.73% presentaban incidencia de *A. globosum grandicaule* (cuadros 1 y 2). Se obtuvo una relación directa entre el tamaño (en AB) de pino (x) y el nivel de infestación (y) ($y = 43.549x - 39.027$; $r^2 = 0.946$, g.l. = 5, $p < 0.05$) (Figura 1).

Cuadro 1. Porcentaje de incidencia de *Arceuthobium globosum grandicaule* en individuos de *Pinus hartwegii* en una zona del Parque Nacional Zoquiapan, México.

Altura (m)	% de individuos infestados	N
> 2	76.64	293
< 2	1.80	111

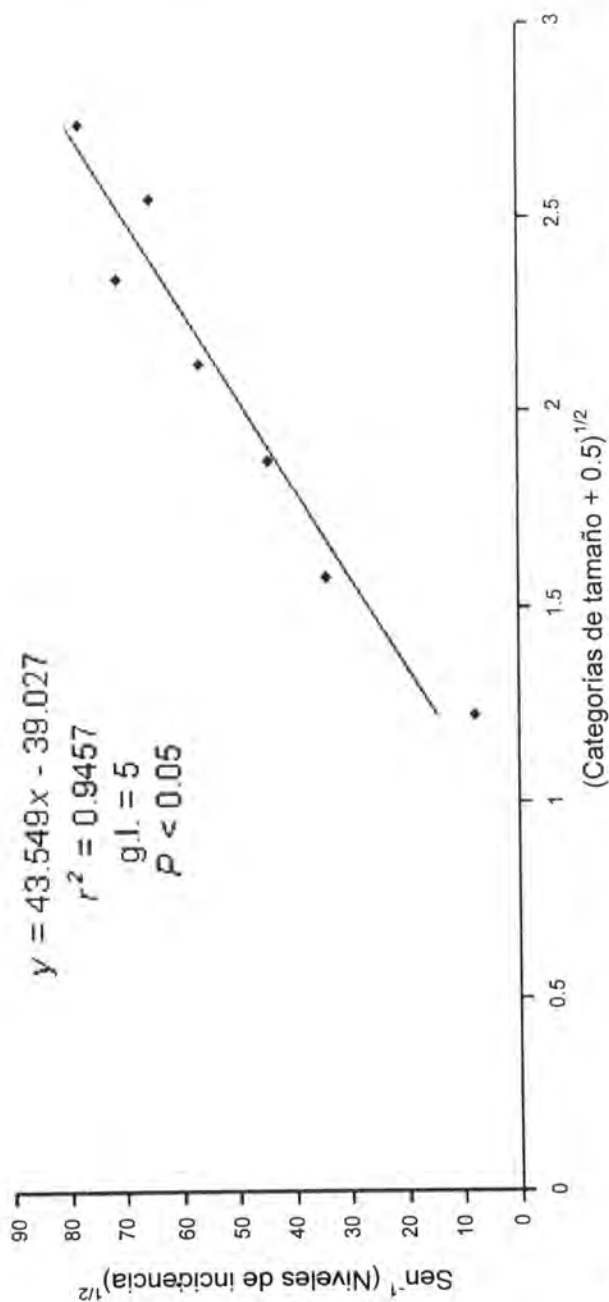


Figura 1. Relación lineal entre la categoría de tamaño de *Pinus hartwegii* y su nivel de infestación por *Arceuthobium globosum grandicaule* en el Parque Nacional Zoquiapan, México.

Cuadro 2. Porcentaje de incidencia por *Arceuthobium globosum grandicaule* en individuos de *Pinus hartwegii* distribuidos en distintas categorías de área basal (AB) en una zona del Parque Nacional Zoquiapan, México.

Categoría de tamaño	AB (cm ²)	% individuos infestados
1	0.35 - 5.09	1.49
2	5.10 - 10.75	26.00
3	10.76 - 20.88	41.07
4	20.89 - 39.57	59.67
5	39.58 - 80.00	80.32
6	80.01 -157.58	72.41
7	157.59 - 2237	88.0

Los pinos menores a 2 m tuvieron un nivel de infestación bajo debido a que presentan una cobertura reducida que disminuye la probabilidad de interceptar semillas. Adicionalmente, los árboles más jóvenes tienen un menor tiempo de exposición a la lluvia de semillas del muérdago enano (*A. globosum grandicaule*).

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Audra Marie Patterson Oliver la traducción del resumen al idioma inglés y al Biól. Marco A. Romero por la asistencia técnica brindada.

REFERENCIAS

- Acosta D., H. y A. Rodríguez. 1989. Infestación de *Arceuthobium vaginatum* subsp. *vaginatum* Willd. sobre *Pinus hartwegii* Lindl. en el cerro San Miguel, Desierto de los Leones, México D. F. In: Memorias del V Simposio sobre Parasitología Forestal. 4 al 6 de octubre de 1989. Cd. Juárez, Chih. México. 44 p.
- Andrade E., V. 1981. Evaluación de efectos de muérdago enano (*Arceuthobium globosum* Hawks & Wiens y *A. vaginatum* Willd.) en rodales de *Pinus hartwegii* Lindl. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México. 88 p.

- Andrade E., V. y D. Cibrián T. 1980. Evaluación de poblaciones de muérdago enano (*Arceuthobium globosum* Hawks & Wiens y *A. vaginatum* Willd.) en bosques de *Pinus hartwegii* Lindl. en Zoquiapan, Edo. de México. Sociedad Mexicana de Entomología. In: Memoria primera. Simposio Nacional sobre Parasitología Forestal. 18 y 19 de febrero de 1980. Uruapan, Mich. México. pp. 238-253.
- Blanco, Z., S. Pescador y A. Suárez. 1978. Ecología de la Estación Experimental Zoquiapan. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México. 115 p.
- Cházaro B., M. J. 1989. Loranthaceae (muérdagos) del centro y sur del Estado de Veracruz. In: Memorias del IV Simposio Nacional sobre Parasitología Forestal. 28 al 30 de octubre 1987. Durango, Dgo. México. Publicación Especial No. 60. INIFAP. Vol. 2 : 604-612.
- Cházaro B., M. J. 1990. Los muérdagos del estado de Jalisco. Biosphera. Vol. 1:3-7.
- Cházaro B., M. y H. Oliva R. 1987. Loranthaceae del centro de Veracruz y zona limítrofe de Puebla. Cactáceas y Suculentas Mexicanas. Vol. 33:55-60.
- Eguiluz, P. 1978. Ensayo de integración de los conocimientos sobre el género *Pinus* en México. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México. 623 p.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, UNAM. México. 246 p.
- Gutiérrez R., R. 1968. Efecto del parasitismo del muérdago enano (*Arceuthobium* spp.) sobre el desarrollo en grosor del tronco de *Pinus montezumae* y *P. hartwegii* en el cerro Telapón, Estado de México. Tesis profesional. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 28 p.
- Hawksworth, F. G. y D. Cibrián T. 1984. Observaciones sobre las enfermedades de árboles forestales en el norte de México y en el sur de los Estados Unidos. In: Memoria de los Simposios Nacionales de Parasitología Forestal II y III. 17 al 20 de febrero de 1982. Publicación Especial No. 46. INIF-SARH. México. pp. 57-66.
- Hawksworth, F. G. and D. Wiens. 1972. Biology and classification of dwarf mistletoes (*Arceuthobium*). USDA Forest Service, Agriculture Handbook 401. Washington, DC. 234 p.
- Hawksworth, F. G. and D. Wiens. 1996. Dwarf mistletoes: biology, pathology and systematics. USDA Forest Service. Agriculture Handbook 709. Washington, DC. 410 p.
- Hernández C., L. V. 1991. Los muérdagos (Loranthaceae) de la región central del estado de Tlaxcala. Jardín Botánico de Tizatlán, Tlaxcala. Publicación No. 4, México. 38 p.

- Hernández, C., P. Acosta y F. Galindo. 1992. Los muérdagos enanos (*Arceuthobium* spp.) en los bosques de pino del Volcán La Malintzi, Estados de Tlaxcala y Puebla. Boletín No. 15. Jardín Botánico Tizatlán, Tlaxcala, Tlax. México. 58 p.
- Obieta, C. y J. Sarukhán. 1981. Estructura y composición la vegetación herbácea de un bosque uniespecífico de *Pinus hartwegii*, I. Estructura y composición florística. Boletín de la Sociedad Botánica de México No. 41, México. pp. 75-124.
- Raven, P., R. Evert y S. Eichhorn. 1992. Biología de las plantas. Reverté, Barcelona, España. 1848 p.
- Reid, N., F. Caldera y J. Marmolejo. 1989. Intensidad de infección de cuatro especies de muérdagos enanos *Arceuthobium* en el cerro El Potosí, Nuevo León. In: Memorias del IV Simposio Nacional sobre Parasitología Forestal. 28 al 30 de octubre, 1987. Durango, Dgo. México. Publicación Especial No. 60 INIF, Vol. 2:613-624.
- Rodríguez A., A. 1985. Infestación del muérdago enano *Arceuthobium vaginatum* (Willd) Presl. ssp. *vaginatum*) en el repoblado de *Pinus hartwegii* Lindl. del Parque Nacional Zoquiapan, Estado de México. Boletín Técnico No. 122 INIF - SARH, México. 27 p.
- Vera G., F. 1984. Observaciones dasométricas en un rodal de *Pinus hartwegii* Lindl. atacado por muérdago. In: Memoria de los Simposios Nacionales de Parasitología Forestal II y III. 17 al 20 de febrero, 1982. Publicación Especial No. 46, INIF - SARH, México. pp. 39-46.
- Zar, J. 1999. Biostatistical analysis. 4th Edition, Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, NJ. USA. 931 p.