

# CIENCIA FORESTAL en México

ISSN 1405-3586

REV. CIEN. FOR. EN MÉX. VOL. 27 NÚM. 92 112 p. MÉXICO, D.F. JUL-DIC 2002

**inifap**

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

**CONTENIDO**

Pág.

EDITORIAL

3

ÍNDICES PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA  
DEL ESTRATO ARBÓREO DE ECOSISTEMAS FORESTALES

5

Oscar Alberto Aguirre Calderón

COMPARACIÓN DE SIETE DISEÑOS DE UNIDADES DE  
MUESTREO SECUNDARIAS EN INVENTARIOS FORESTALES

29

Efraín Velasco Bautista, Francisco Moreno Sánchez y Ricardo Rodríguez Piña

DAÑOS A BANQUETAS POR ARBOLADO DE ALINEACIÓN  
ESTABLECIDO EN CEPAS EN LA DELEGACIÓN COYOACÁN,  
DISTRITO FEDERAL

53

Héctor M. Benavides Meza, Roberto López Martínez y Jesús Flores Hernández

EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE  
PLANTA DE *Pinus engelmannii* Carr. EN VIVERO

79

José Ángel Prieto Ruíz, Pedro Antonio Dominguez Calleros, Eladio H. Cornejo Oviedo, José de Jesús Návar Chaidéz, Javier Jiménez Pérez y José G. Marmolejo Moncivais

EFFECTO DE TRATAMIENTOS EN LA GERMINACIÓN DE  
SEMILLAS DE PALMA CAMEDOR (*Chamaedorea elegans* MART.)

95

Virginia Ramón Jiménez, Alejandro Velázquez Martínez, Jesús Jasso Mata y Miguel Ángel Musalem

CONSEJO ARBITRAL

105

CONSEJO EDITORIAL

109

# ÍNDICES PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL ESTRATO ARBÓREO DE ECOSISTEMAS FORESTALES

Oscar Alberto Aguirre Calderón<sup>1</sup>

## RESUMEN

La caracterización de la estructura del estrato arbóreo debe basarse en índices cuantitativos que permitan analizar objetivamente las influencias antropogénicas que se ejercen o los procesos de sucesión natural que ocurren en los ecosistemas forestales. El propósito de este trabajo consistió en la recopilación de diversas variables cuantitativas para hacer una descripción más precisa de los atributos estructurales del estrato superior, así como de diferentes métodos de inventario forestal para obtenerlas. Con respecto a la integración de las especies, se discuten los índices de Shannon  $H'$ , el de uniformidad  $E$  y el perfil de especies  $A$ , así como el de segregación  $S$  de Pielou y el de mezcla de especies  $M_i$ . Los de agregación  $R$  de Clark & Evans, de distancia entre árboles  $D_i$  y el de ángulos  $W_i$  también se incluyen para describir la estructura horizontal del ecosistema; adicionalmente, se analizan el coeficiente de homogeneidad  $H$  y los índices de diferenciación diamétrica  $TD_i$  y de diferenciación en altura  $TH_i$ . Para generar los índices estructurales anteriores se examinan diversos métodos utilizados para efectos de inventario forestal. Finalmente, y de manera particular, se argumenta sobre las posibilidades de aplicación y las ventajas que ofrece el procedimiento denominado grupos estructurales de cuatro árboles.

**Palabras clave:** Biodiversidad, diferenciación dimensional, distribución espacial, diversidad estructural, ecosistemas forestales, mezcla de especies.

## ABSTRACT

Characterization of tree structure must be based on quantitative indexes that allow accurate analysis of human influence or natural succession processes that occur in forest ecosystems. The objective of this paper is the compilation of diverse quantitative variables to describe structural attributes of the upper story in

Fecha de recepción: 02 de diciembre de 1999.

Fecha de aceptación: 19 de noviembre de 2004.

---

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Correo-e: oaguirre@fcf.uanl.mx

forest ecosystems, as well as different methods of forest inventory to obtain them. To assess tree species composition, the indexes of Shannon  $H'$ , of evenness  $E$ , and the species  $A$  profile, as well as the segregation  $S$  of Pielou and the species mingling index  $M_i$  are discussed. The aggregation index  $R$  of Clark and Evans, the tree-to-tree distance variable  $D_i$  and the contagion index  $W_i$  were included, in order to describe the horizontal structure of ecosystems, for the characterization of the dimensional structure, the homogeneity coefficient  $H$  and the indexes of diameter differentiation  $TD_i$  and height differentiation  $TH_i$  are reviewed. Diverse forest inventory methods are examined to obtain the former structural indexes. Finally, the possibilities of application and the advantages of the named structural group of four trees procedure, in particular, are discussed.

**Keywords:** Biodiversity, dimensional differentiation, spatial distribution, structural diversity, forest ecosystems, species mingling.

## INTRODUCCIÓN

La estructura de un ecosistema forestal se define básicamente por el tipo, número, arreglo espacial y ordenamiento temporal de los elementos que lo constituyen; en este contexto destacan principalmente las estructuras de especies, la espacial y la dimensional de los ecosistemas (Thomasius y Schmidt, 1996).

Contar con información cuantitativa referida en tiempo y espacio es condición fundamental para el análisis dinámico de este atributo. La descripción tradicional de los bosques comprende por lo general, junto a variables medibles como área basal, diámetro y altura, una serie de variables categóricas que perfilan de manera cualitativa la estructura de los mismos, mediante conceptos subjetivos dependientes de quien realiza el análisis y que, por lo tanto, no son reproducibles (Gadow, 1993). Los cambios en la estructura de los ecosistemas por sucesión natural o influencias antropogénicas pueden suponerse por este medio, pero no cuantificarse.

Una de las tareas del manejo forestal es la búsqueda de nuevos métodos de planeación e inventario de los ecosistemas forestales, en particular, en una época en que se generan múltiples discusiones sobre la conservación y fomento de la biodiversidad, a la par que se observa un incremento en la demanda de productos forestales. De especial importancia es la generación de esquemas de gestión de los recursos forestales en ecosistemas mixtos multicohortales, que representan los escenarios deseables a futuro en muchas regiones (Aguirre *et al.*, 1998a); en dichos ecosistemas deberán considerarse índices que caractericen la estructura de forma cuantitativa. El reto del manejo forestal consiste en obtener a partir de estas variables los nuevos indicadores de la sustentabilidad.

Los índices para la caracterización de la estructura de los ecosistemas

permiten reproducir la condición de los mismos en un momento determinado de su evolución en el tiempo (Gadow, 1997). Tales índices deben considerarse además de las variables empleadas de manera convencional (diámetro, altura media, área basal, volumen, edad y densidad), a fin de lograr una mejor descripción de los rodales.

El presente trabajo constituye una recopilación de diversos índices para la caracterización cuantitativa de la estructura del estrato arbóreo de los ecosistemas forestales. Los niveles de descripción considerados incluyen la estructura de especies, la estructura horizontal del ecosistema y la estructura dimensional del arbolado.

### Estructura de especies

Índice de Shannon (1948).- es una de las variables más empleadas para la estimación de la diversidad de especies (Gadow, 1993); para su determinación se emplea la fórmula:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \cdot \ln(p_i)$$

Donde:

- S = número de especies presentes
- $p_i$  = proporción de las especies  $p_i = n_i/N$
- $n_i$  = número de individuos de la especie  $i$
- N = número total de individuos.

Como ejemplo de la aplicación de este índice se presentan los siguientes casos de ecosistemas con diferente composición de especies:

- 100% *Pinus pseudostrobus* Lindl.;  $H' = 0.00$
- 80% *P. pseudostrobus*, 20% *Quercus rysophylla* Weath.,  $H' = 0.50$
- 50% *P. pseudostrobus*, 20% *Q. rysophylla*;  $H' = 0.69$
- 70% *P. pseudostrobus*, 20% *Q. rysophylla*, 10% *Juniperus flaccida* Schlttdl.;  $H' = 0.80$

El valor  $H'$  se incrementa conforme ocurre un mayor número de especies y la proporción de individuos de ellas es más homogénea.  $H'$  depende por tanto no sólo del número de especies presentes en un ecosistema, sino también de la frecuencia con que estén representadas.

Índice de Uniformidad  $E$ .- representa prácticamente un complemento del índice de Shannon ( $H'$ ) y alcanza un máximo valor cuando todas las especies de un área están representadas en igual proporción (Nagel, 1994), se obtiene mediante la fórmula siguiente:

$$E = \frac{100 \cdot H'}{H'_{max}} = \frac{100 \cdot - \sum_{i=1}^S p_i \cdot \ln(p_i)}{\ln(m)}$$

Donde:

$m$  = número de especies ( $m > 1$ )

Un rodal con tres especies puede presentar un  $H'_{max} = 1.1$ ; por ejemplo, en el caso descrito en el inciso anterior (70% *Pinus pseudostrobus*, 20% *Quercus rysophylla*; 10% *Juniperus flaccida*;  $H' = 0.80$ ), el índice de uniformidad tiene un valor  $E = 0.73$ .

Perfil de Especies  $A$ .- para la caracterización de la estructura vertical de las especies de un rodal, Pretzsch (1996) desarrolló, a partir del índice de Shannon, la variable perfil de especies  $A$ , cuya fórmula es:

$$A = - \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^Z p_{ij} \cdot \ln(p_{ij})$$

Donde:

$S$  = Número de especies presentes

$Z$  = Número de estratos de altura (3 en este caso)

$P_{ij}$  = Proporción de especies en los estratos de altura  $p_{ij} = \frac{n_{ij}}{N}$

$n_{ij}$  = Número de individuos de la especie  $i$  en el estrato  $j$

$N$  = Número total de individuos

Pretzsch define tres estratos para la aplicación del índice  $A$ ; el estrato I comprende de 80 hasta 100%, el estrato II de 50 hasta 80% y el estrato III de 0 a 50% de la altura máxima del rodal.

A diferencia del índice de Shannon, el índice  $A$  caracteriza la ubicación de las especies en diferentes estratos de altura, donde  $A$  toma valores entre 0 y un valor máximo ( $A_{max}$ ). Un valor  $A = 0$  significa que el rodal está constituido por una sola especie que ocurre además en un sólo estrato y un valor  $A_{max}$  se obtiene cuando la totalidad de las especies ocurren en la misma proporción tanto en el rodal como en los diferentes estratos.  $A_{max}$  es función del número de especies ( $S$ ) y de estratos ( $Z$ ) y se obtiene mediante (Biber, 1997):

$$A_{max} = \ln(S * Z)$$

A partir del índice  $A$  puede calcularse un valor de uniformidad ( $E$ ) de manera análoga al índice de Shannon. En un ecosistema constituido por 11 especies arbóreas, Jiménez *et al.* (1998) obtuvieron valores de  $A = 2.07$  y  $A_{max} = 3.50$ ;  $E$  sería por tanto 0.59.

Índice de Segregación  $S$  de Pielou (1961).- describe la combinación o mezcla de dos especies; esto es, el arreglo espacial de una especie respecto a la otra. Para calcularlo se determina la especie de la totalidad  $N$  de los árboles de una superficie dada y la de su vecino más próximo, obteniéndose de esta manera el número de individuos de las especies 1 y 2 ( $m$ ,  $n$ ), así como el número de árboles con vecinos de la misma especie ( $a$ ,  $d$ ) y vecinos de diferente especie ( $c$ ,  $b$ ). El índice  $S$  se obtiene entonces a partir de:

$$S = 1 - \frac{\text{número observado de pares mixtos}}{\text{número esperado de pares mixtos}}$$

$S$  se calcula a partir de los datos siguientes:

		Árbol próximo		Total
		Especie 1	Especie 2	
Árbol base	Especie 1	$a$	$b$	$m$
Árbol base	Especie 2	$c$	$d$	$n$
		$v$	$w$	$N$

Utilizando la fórmula:

$$S = 1 - \frac{N \cdot (b + c)}{(v \cdot n + w \cdot m)}$$

$S$  toma valores de  $-1$  a  $1$ ;  $-1$  representa la máxima segregación negativa posible,  $0$  denota ausencia de segregación y  $1$  corresponde a la máxima segregación positiva posible (Pielou, 1977). Valores de  $S < 0$  indican que existe asociación entre las especies;  $S > 0$  corresponde a una segregación; es decir, separación espacial de las especies.

En la Figura 1 se presentan dos fracciones de ecosistemas con diferente distribución horizontal de las especies. En el área a) se tiene un valor  $S = -0.72$ , donde las especies presentan una asociación evidente; contrario a lo anterior, en el área b) con un valor de  $S = 0.79$ , se observa una clara segregación de las especies.

Índice de Mezcla de Especies  $M_i$  - se define para el  $i$ -ésimo árbol ( $i = 1 \dots N$ ) y sus tres vecinos próximos  $j$  ( $j = 1 \dots 3$ ), como la proporción relativa de árboles vecinos de una especie distinta (Füldner, 1995). Este índice se desarrolló a fin de salvar la limitación del índice de Shannon, que no permite derivar información sobre la distribución espacial (vertical y horizontal) de las especies (Gadow y Füldner, 1992). Los rodales con igual  $H'$  pueden presentar una distinta distribución espacial de los árboles.

El índice de mezcla de especies se obtiene de la función:

$$M_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n m_{ij}$$

$m_{ij}$  toma un valor  $0$  cuando el vecino  $j$ -ésimo pertenece a la misma especie del árbol objeto  $i$ , de lo contrario tiene un valor  $1$ .

Dado que  $m_{ij}$  es una variable discreta dual,  $M_i$  puede tomar los siguientes valores:

- 0.00 todos los individuos del grupo (cuatro) pertenecen a la misma especie
- 0.33 uno de los vecinos del árbol cero pertenece a otra especie
- 0.67 dos de los tres vecinos pertenecen a otra especie
- 1.00 los tres vecinos del árbol cero pertenecen a una especie distinta.



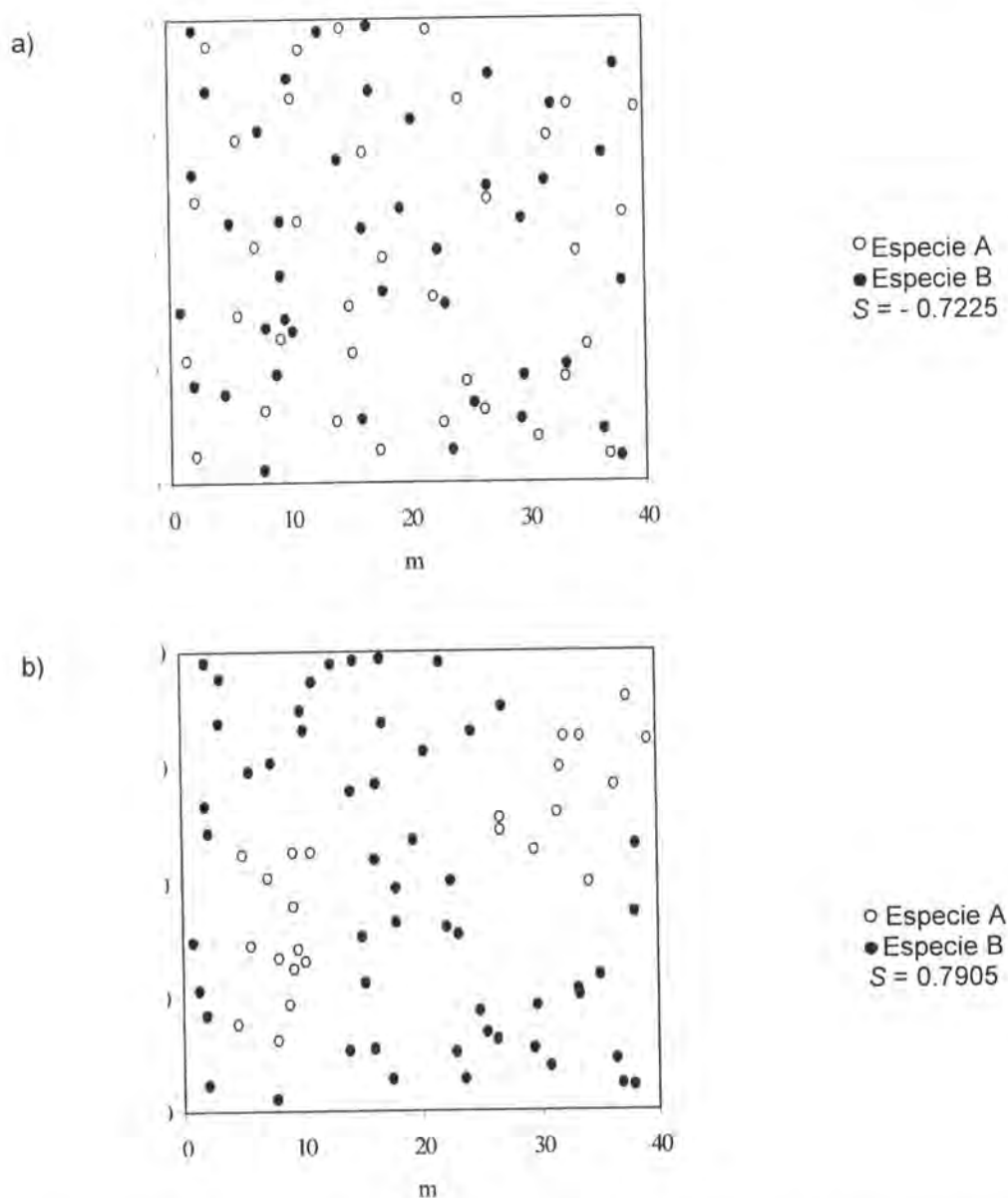


Figura 1. Índice de segregación  $S$  de Pielou para dos fracciones de ecosistemas con diferente distribución de especies.

El valor medio de mezcla de especies se calcula mediante la fórmula:

$$\bar{M} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Mi$$

Donde:

$N$  = Número de árboles en el rodal.

En la Figura 2 se muestran los valores de mezcla de especies para un rodal de *Pinus pseudostrobus*, *Juniperus flaccida* y *Quercus rysophylla* (adaptado de Jiménez *et al.*, 1998). Los valores respectivos se presentan para las tres especies por separado. *P. pseudostrobus* se encuentra tanto conformando grupos puros ( $M_i = 0$ ) como rodeado de uno o más individuos de otra especie ( $M_i \geq 0.33$ ). *J. flaccida* y *Q. rysophylla* se presentan preponderantemente con vecinos de una especie distinta; en una alta proporción, *J. flaccida* ocurre distribuido en forma individual.

### Estructura horizontal del ecosistema

Índice de Agregación  $R$  de Clark y Evans (1954).- describe la relación entre la distancia media observada ( $r_{observada}$ ) entre los árboles de un área dada y sus vecinos próximos, y la distancia media esperada ( $r_{esperada}$ ) para una distribución aleatoria del arbolado:

$$R = \frac{r_{observada}}{r_{esperada}}$$

$R$  toma valores entre 0 y 2.1491 y permite caracterizar la distribución de los árboles de acuerdo a un patrón regular, aleatorio o en grupos. Valores de  $R$  menores a 1 muestran una tendencia al agrupamiento de los individuos, valores cercanos a 1 denotan una distribución aleatoria y aquellos mayores a 1 indican que los árboles manifiestan una distribución con tendencia a la regularidad (Gleichmar y Gerold, 1998).

El índice de Clark y Evans se basa en las relaciones de distancia entre árboles vecinos. Para todos los árboles  $N$  de una superficie  $A$  se obtienen las distancias  $r_i$ ,  $i = 1 \dots N$  a su vecino más próximo. La distancia media se calcula mediante:

$$\bar{r}_{\text{observada}} = \frac{\sum_{i=1}^N r_i}{N}$$

$\bar{r}_{\text{observada}}$  se relaciona con la distancia media esperada para la distribución aleatoria del arbolado:

$$\bar{r}_{\text{esperada}} = \frac{1}{2\sqrt{N/A}}$$

Como ejemplo se presentan en la Figura 3 las distribuciones de los árboles en fracciones de dos rodales de pino-encino en el Noreste de México. El rodal a) tiene un valor de  $R = 0.98$ , lo que indica una distribución aleatoria de los individuos. En el rodal b)  $R = 0.89$ , presenta por tanto una distribución con tendencia a la conformación de grupos. Para el cálculo de los valores de  $\bar{r}_{\text{esperada}}$  se aplicó en ambos casos el procedimiento de corrección de Donelly (1978, citado por Pretzsch, 1994), que minimiza el efecto de borde en áreas de muestreo con superficies entre 900 y 4900 m<sup>2</sup>.  $\bar{r}_{\text{corregida}}$  se calcula a partir de la fórmula:

$$\bar{r}_{\text{corregida}} = 0.5 \cdot \sqrt{A/N} + 0.051368 \cdot P/N + 0.041 \cdot P/N^{3/2}$$

Donde:

$A$  = Superficie en m<sup>2</sup>

$N$  = Número de observaciones

$P$  = Perímetro del área en m.

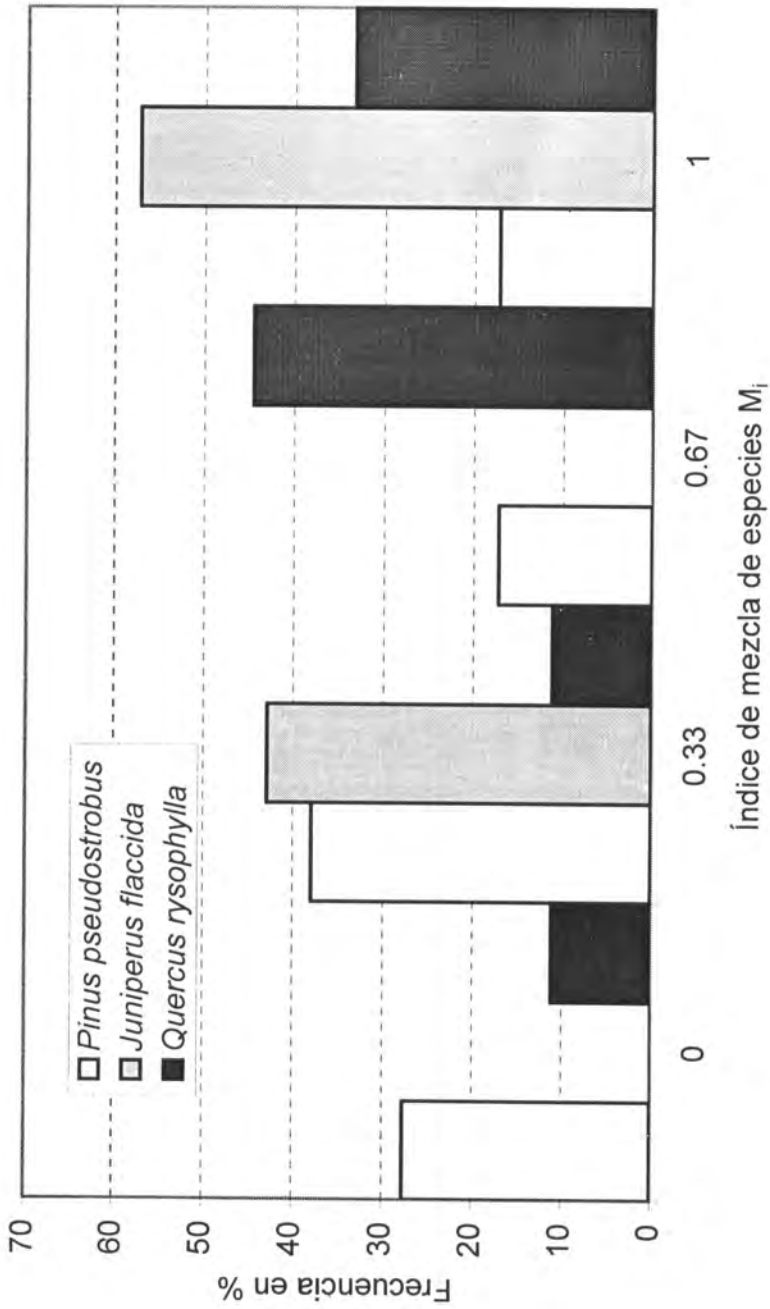
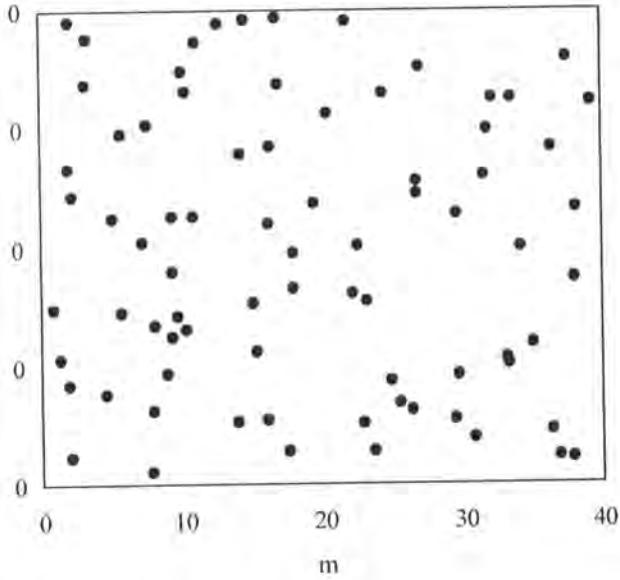


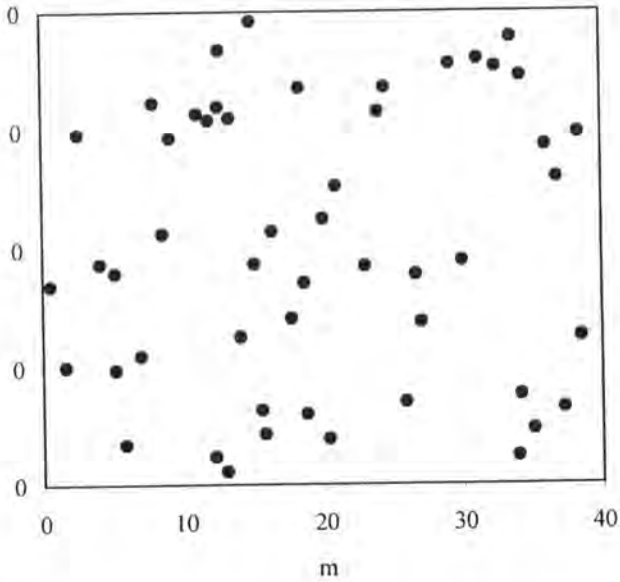
Figura 2. Distribución del índice de mezcla de especies en un ecosistema mixto.

a)



$R = 0.98$

b)



$R = 0.89$

Figura 3. Índice de Clark y Evans para dos ecosistemas con diferente estructura horizontal.

Índice de Distancia entre Árboles  $D_i$ .- este índice caracteriza la distribución individual de los árboles en un bosque con base en la distancia del árbol de referencia cero  $i$  a su vecino más cercano (Pommerening *et al.*, 1996; Pommerening, 1997).

$$D_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n d_{ij}$$

Donde:

$d_{ij}$  = Distancia del árbol  $i$ -ésimo a su vecino  $j$ -ésimo.

La distancia media entre los árboles cero y su vecino próximo se obtiene mediante:

$$\overline{DI} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N DI_i$$

Donde:

$N$  = Número de árboles en el rodal.

Las distancias entre árboles  $D_i$ , se ubican dentro de 10 clases que comprenden rangos de 1 m:

Clase 1:  $0 \text{ m} < D_i < 1 \text{ m}$ ; clase 2:  $1 \text{ m} < D_i < 2 \text{ m}$ ;...; clase 9:  $8 \text{ m} < D_i < 9 \text{ m}$  y clase 10:  $9 \text{ m} < D_i$ .

En la Figura 4 se presenta la distribución de los árboles de las áreas sin y con aclareo de un rodal mixto de pino (Aguirre *et al.*, 1998b). En el área sin aclareo la totalidad de los árboles se ubica entre las clases de distancia 1 a 4 ( $0 \text{ m} < D_i < 4 \text{ m}$ ); en el área tratada la mayor proporción de individuos se concentra en las clases 3 a 7 ( $2 \text{ m} < D_i < 7 \text{ m}$ ).

Índice de Ángulos  $W_i$  (Gadow *et al.*, 1998).- describe la regularidad de la distribución de los árboles vecinos a un árbol-cero de referencia  $i$ . La determinación de este índice se basa en la medición de los ángulos entre dos vecinos al árbol-cero  $i$  y su comparación con un ángulo estándar  $\alpha_0$  obtenido mediante:

$$\alpha_0 = 360 / n \pm 360 / 10n$$

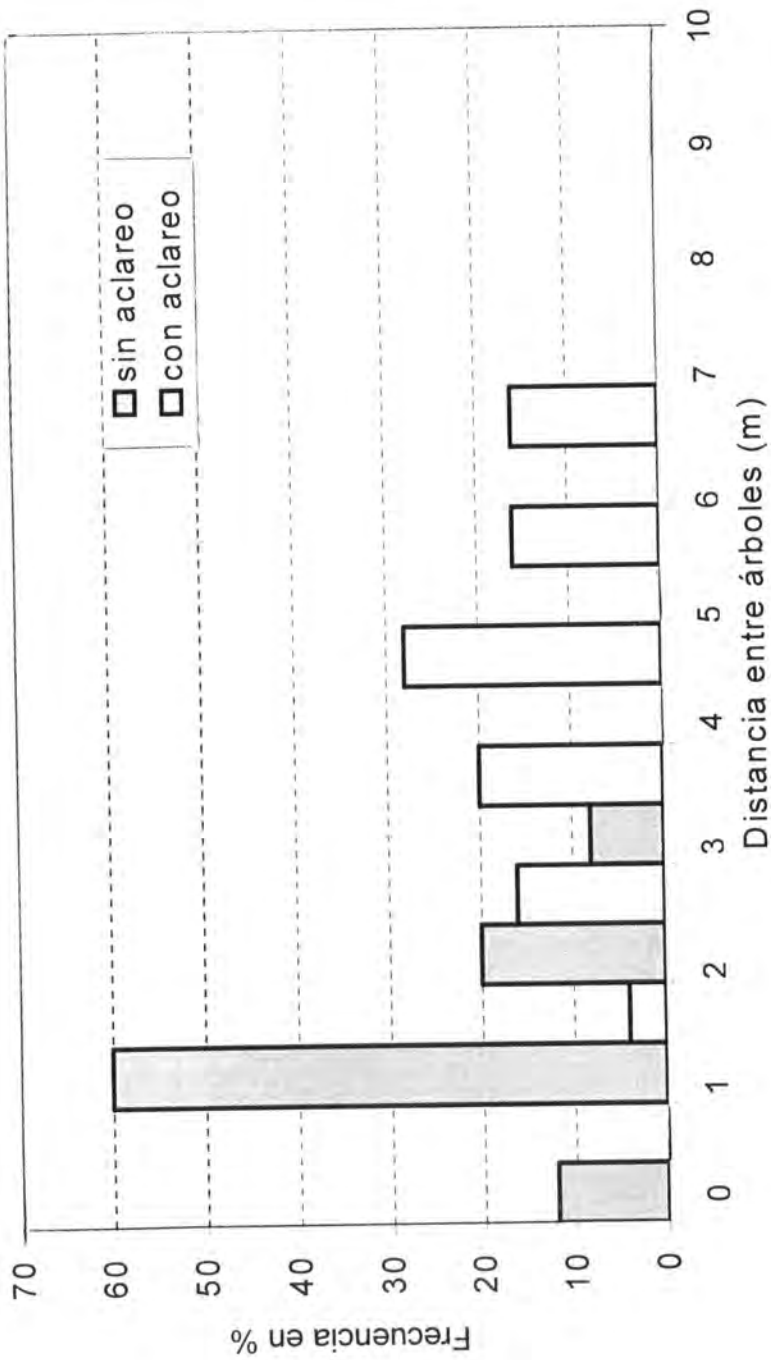


Figura 4. Distribución de los árboles en clases de distancia. Fracciones sin aclareo y con aclareo de un rodal de pino.

Donde:

$n$  = Número de árboles vecinos considerados.

El índice de ángulos  $W_i$  se define entonces por la proporción de los ángulos  $\alpha$  menores al ángulo estándar  $\alpha_0$ :

$$W_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n w_{ij}$$

$w_{ij}$  tiene un valor = 1 cuando el  $j$ -ésimo ángulo  $\alpha$  entre dos árboles vecinos próximos es menor o igual al ángulo estándar  $\alpha_0$ , en caso contrario toma un valor = 0.

Si  $n = 4$ ,  $W_i$  puede presentar los siguientes valores:

- 0.00 ninguno de los ángulos  $\alpha$  es menor a  $\alpha_0$ , esto es, todos los ángulos  $\alpha$  se encuentran en el rango de  $\alpha_0$
- 0.25 uno de los ángulos  $\alpha$  es menor a  $\alpha_0$
- 0.50 dos de los ángulos  $\alpha$  son menores a  $\alpha_0$
- 0.75 tres de los ángulos  $\alpha$  son menores a  $\alpha_0$
- 1.00 los cuatro ángulos  $\alpha$  son menores a  $\alpha_0$

El valor promedio del índice de ángulos se calcula mediante:

$$\bar{W} = \frac{1}{N} \sum_i^N W_i$$

Valores de  $W$  de 0.5 corresponden a una distribución aleatoria de los árboles, aquellos mayores a esta cifra denotan tendencia al agrupamiento y los menores indican tendencia a la regularidad. Para dos ecosistemas con diferente estructura horizontal (Figura 3), se presenta, en la Figura 5, la distribución de los árboles de acuerdo al índice de ángulos  $W_i$ . La Figura 5a corresponde al rodal con un índice  $R = 0.98$ , la 5b al rodal con  $R = 0.89$ . Los valores de  $\bar{W}$  se muestran al margen de las gráficas, de manera que  $\bar{W} = 0.53$  indica una distribución aleatoria de los individuos mientras que  $\bar{W} = 0.59$  corresponde a una tendencia al agrupamiento de los árboles.

## Estructura dimensional

**Coefficiente de Homogeneidad  $H$ .**- la homogeneidad de un rodal puede también describirse de manera simple mediante el coeficiente de homogeneidad ( $H$ ) de De Camino (1976).  $H$  se expresa con la relación porcentual entre número



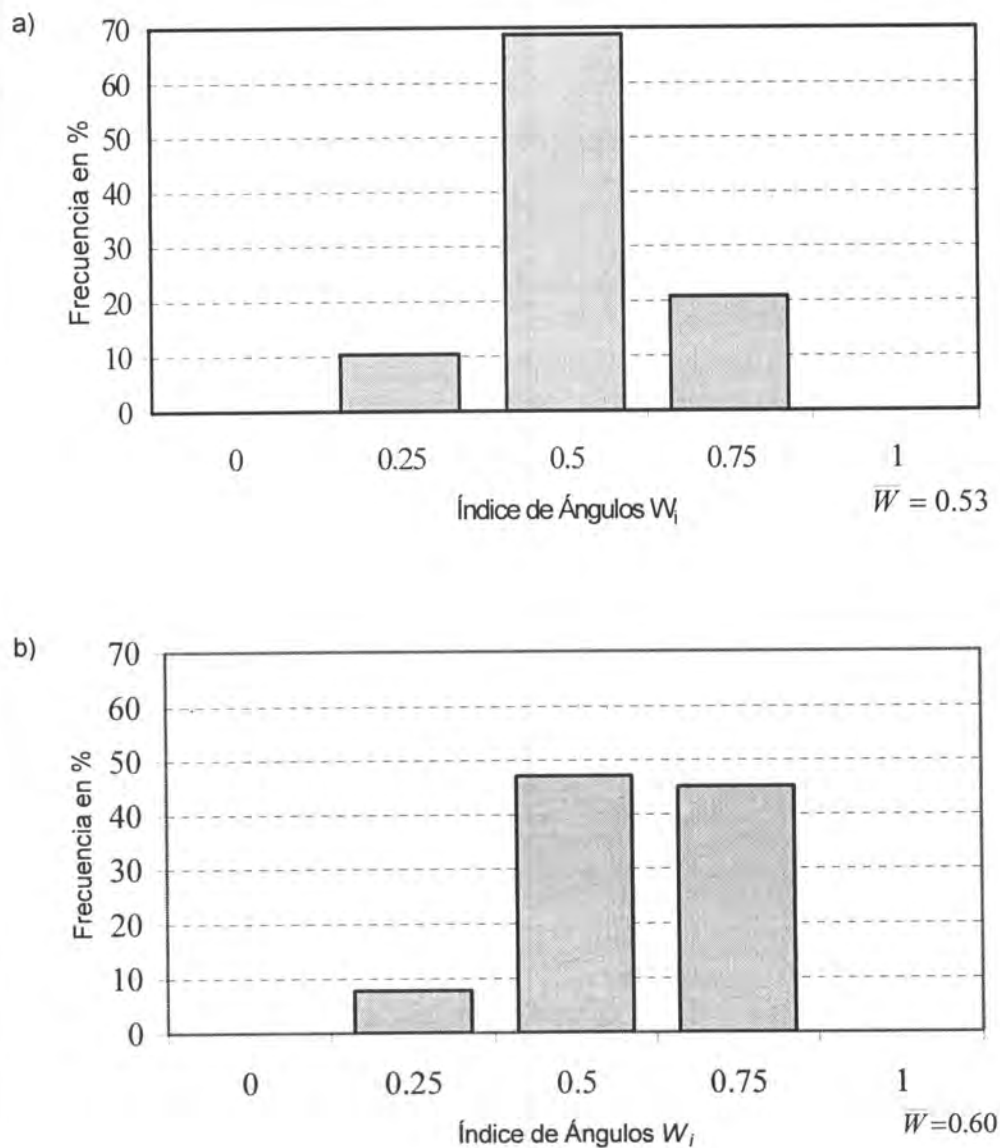


Figura 5. Distribución de los árboles en el índice de ángulos  $W_i$ , en dos ecosistemas con distinta distribución horizontal.

de árboles y volumen por categorías diamétricas. En un rodal totalmente homogéneo todos los árboles tienen el mismo volumen; en uno heterogéneo un alto porcentaje de árboles representa una proporción pequeña de volumen, mientras que pocos individuos contribuyen con la mayor proporción volumétrica.

El coeficiente de homogeneidad  $H$  se determina con el modelo:

$$H = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} SN \%}{\sum_{i=1}^{n-1} SN \% - SV \%}$$

Donde:

$SN\%$  = Suma de los porcentajes de número de árboles hasta la categoría diamétrica  $i$

$SV\%$  = Suma de los porcentajes de volumen hasta la categoría diamétrica  $i$ .

En la Figura 6 se presentan los coeficientes de homogeneidad ( $H$ ) obtenidos en las fracciones con y sin aclareo de un rodal de *Pinus cooperi* C. E. Blanco y *P. leiophylla* Schiede & Deppe, así como las curvas de Lorenz correspondientes (Aguirre *et al.*, 1998a, Lockow, 1998). Se observa aquí una mayor homogeneidad del área con aclareo, el valor  $H$  es mayor (6.03) y la curva de Lorenz es más cercana a la recta de referencia.

Índices de diferenciación dimensional.- describen la relación entre un árbol cero de referencia  $i$  y su vecino próximo  $j$  y se definen por el cociente entre una variable dimensional del árbol más pequeño y la correspondiente del árbol mayor, sustraído de 1 (Gadow, 1993; Fuldner y Gadow, 1994; Albert *et al.*, 1995). La diferenciación diamétrica  $TD_i$ , por ejemplo, se obtiene mediante la función:

$$TD_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n td_{ij}$$

$td_{ij}$  se deriva de la relación de los diámetros normales de árboles vecinos sustraída de 1:

$$td_{ij} = 1 - \frac{\text{menor} (d_{1.3i}, d_{1.3j})}{\text{mayor} (d_{1.3i}, d_{1.3j})}$$

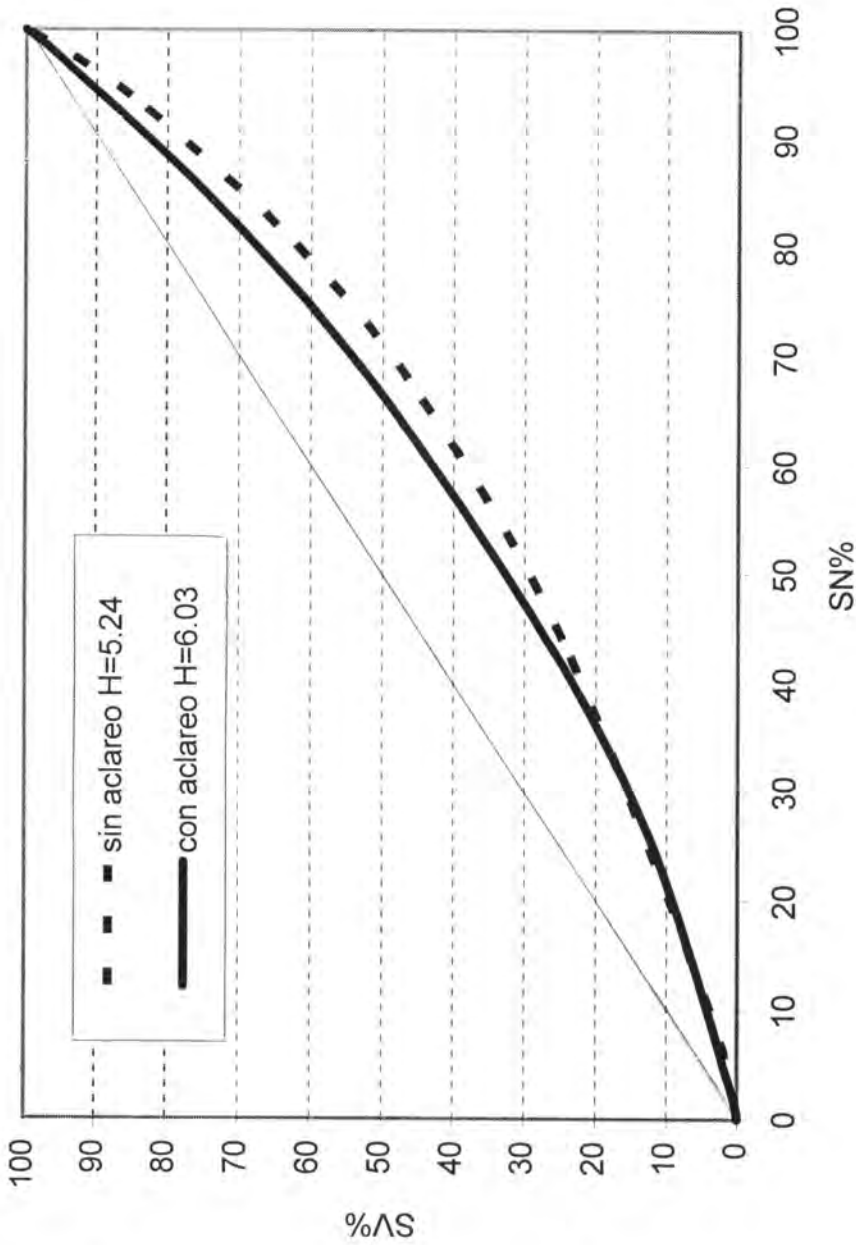


Figura 6. Coeficientes de homogeneidad y curvas de Lorenz para las fracciones de un ecosistema sin aclareo y con aclareo.

El valor medio de diferenciación diamétrica es:

$$TD = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N TD_i$$

Donde:

$N$  = Número de árboles del rodal.

Un valor  $TD_i = 0$  significa que ambos árboles tienen el mismo diámetro normal. Conforme la diferencia de los diámetros incrementa, crece también el valor de  $TD_i$ .

De manera análoga puede emplearse además de la diferenciación diamétrica  $TD_i$ , otra variable dimensional, lo que conformaría, por ejemplo, los índices de diferenciación en altura  $TH_i$ , y de diferenciación en área de Copa  $TKS_i$  (Aguirre *et al.*, 1997; Aguirre *et al.*, 1998a).

En la Figura 7a se muestra la distribución de los árboles de un rodal mixto en las clases de diferenciación diamétrica 0.0-0.2, 0.2-0.4, etc. En *Pinus pseudostrobus* se observa que la mayor proporción de los árboles presentan una escasa diferenciación diamétrica con respecto a sus vecinos (clase 0.0-0.2); una frecuencia similar manifiesta *Quercus rysophylla*, para la que en más del 50% de los casos, la diferencia diamétrica con su vecino próximo es menor a 20%. La mayor diferenciación ocurre en *Juniperus flaccida*, especie en la que la mayor proporción de individuos tienen diferencias de diámetro entre 40 y 60% (clase 0.4 - 0.6).

La frecuencia de clases de diferenciación en altura para las especies anteriores se observa en la Figura 7b. *Pinus pseudostrobus* presenta en este análisis menor diferenciación en altura que el resto de las especies, cerca del 60% de los árboles tiene valores menores a 0.2. En *Juniperus flaccida* se existe una menor diferenciación en altura que la obtenida para el diámetro normal (Figura 7a), mientras que en el caso de *Quercus rysophylla* se incrementa la frecuencia de individuos en la clase 0.6-0.8; es decir, más del 20% de los árboles tienen una diferenciación en altura superior al 60%.

### Procedimientos de inventario para la obtención de índices estructurales

Los índices para la caracterización de la estructura de ecosistemas forestales constituyen un aporte importante para la toma de decisiones en manejo forestal;

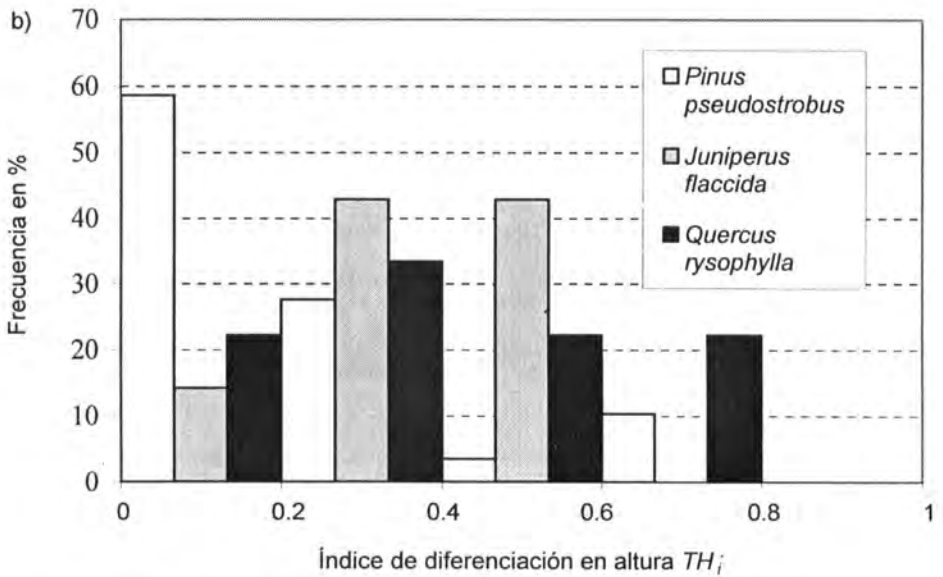
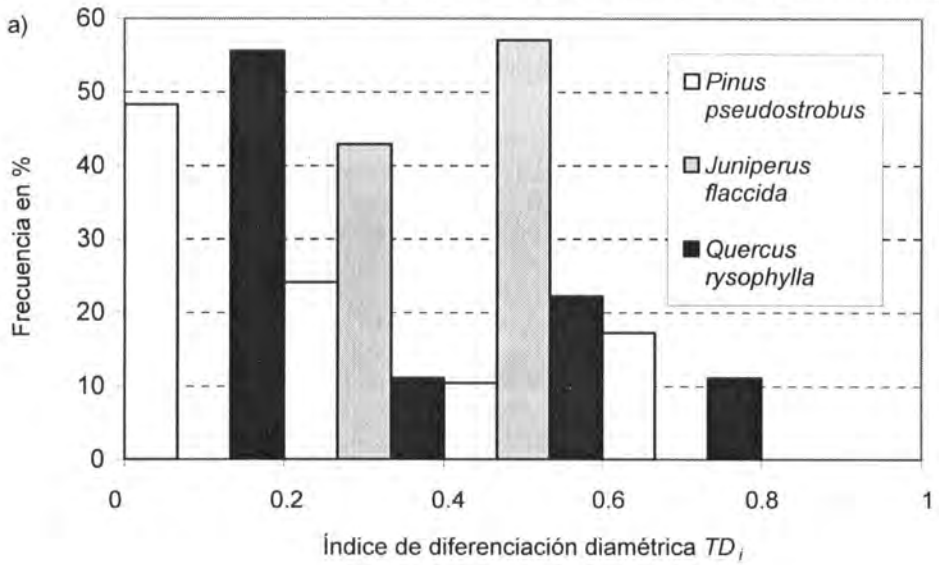


Figura 7. Distribución de los árboles en las clases de diferenciación diamétrica a) y en altura b).

sin embargo, su aplicación en la práctica depende de que los procedimientos para la obtención de la información de campo sean óptimos en tiempo y costos.

Los sitios circulares de muestreo convencionalmente utilizados contienen valiosa información para el análisis de la estructura de las especies, principalmente. A pesar de que en el levantamiento de tales sitios por lo general se omite la ubicación de los árboles, pueden obtenerse índices de diversidad de especies independientes de la distancia como el de Shannon  $H'$ , el de uniformidad  $E$  o el índice  $A$  para la caracterización del perfil de las especies. El coeficiente de homogeneidad  $H$  puede derivarse asimismo con base en la información de estos sitios.

A partir de datos de sitios circulares, en los que se registra la ubicación de los árboles, pueden obtenerse algunos índices dependientes de la distancia; sin embargo, en este caso se presenta el problema de definir las relaciones de vecindad de los árboles cercanos al límite del sitio (Pommerening, 1997, Nagel, 1998; Sterba, 1998).

Una alternativa para la obtención de índices estructurales la constituye el procedimiento de inventario denominado "grupos estructurales de cuatro árboles" (Füldner, 1995; Pommerening, 1997), procedimiento sistemático de inventario en el que los sitios de muestreo se ubican conformando una red a distancias de 20 ó 50 m (Füldner, 1995), a partir de un punto inicial aleatorio. Este esquema de inventario es particularmente adecuado para ecosistemas no homogéneos (Saborowsky, 1990). El árbol más próximo a los puntos de intersección de la red se designa árbol-cero y a partir de éste se determina la distancia a los tres árboles más cercanos (Figura 8). A los cuatro individuos que conforman el grupo de muestreo se les determina el diámetro normal, altura y especie. Además, pueden calcularse datos de área de copa, altura de copa y edad.

A partir de la información de los grupos de cuatro árboles se generan diversos índices estructurales basados en relaciones de vecindad entre árboles. El índice de mezcla de especies  $M_i$ , el de distancia entre árboles  $D_i$  y los de diferenciación dimensional  $TD_i$ ,  $TH_i$  y  $TKS_i$  se derivan de manera sencilla a partir de los datos obtenidos mediante este procedimiento de inventario. La inclusión de un quinto árbol en el grupo y la medición de los ángulos entre los árboles posibilita la estimación del índice de ángulos  $W_i$ .

La determinación de los índices de agregación  $R$  de Clark y Evans y de segregación  $S$  de Pielou puede realizarse para fines prácticos a partir de los datos de los grupos estructurales de cuatro árboles (Füldner, 1995); sin embargo, para determinaciones más precisas conviene contar con censos totales de los árboles en sitios de mayor superficie ( $\geq 900 \text{ m}^2$ ).

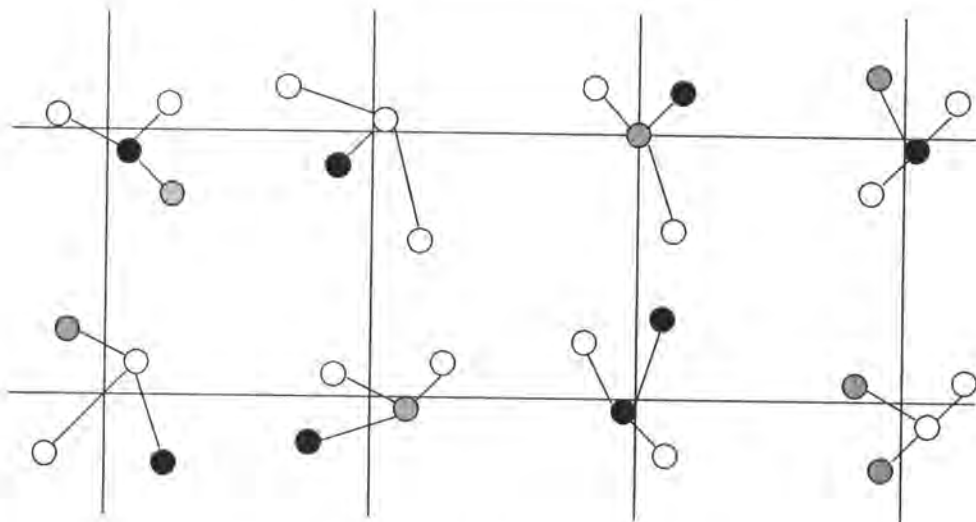


Figura 8. Representación de ocho grupos estructurales de cuatro árboles distribuidos en una red de muestreo.

## CONCLUSIONES

Los índices considerados en este trabajo constituyen algunas de las opciones disponibles para la caracterización de la estructura de los ecosistemas forestales. Su aplicación debe basarse en los objetivos propuestos, así como en un análisis de las condiciones propias de las áreas a evaluar, considerando fundamentalmente las especies, su distribución espacial y las características dimensionales de los individuos.

Para evaluar los atributos espaciales, no es necesario medir distancias entre los árboles o establecer sus coordenadas. Las características espaciales se establecen simplemente a partir de la evaluación de los vecinos inmediatos de un número dado de árboles de referencia y pueden ser interpretadas fácilmente.

Los índices para describir la estructura espacial del bosque, basada en relaciones de vecindad, permiten una caracterización integral, fácilmente realizable en campo, dado que no se requiere la medición costosa de las posiciones de los árboles, ni la enumeración completa de las parcelas de muestreo.

## REFERENCIAS

- Aguirre C., O. A.; J. Jiménez y B. Vargas. 1997. Análisis estructural del estrato arbóreo de ecosistemas forestales multicohortales. Memoria del III Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales. pp. 36.
- Aguirre C., O. A.; H. Kramer und J. Jiménez. 1998a. Strukturuntersuchungen in einem Kiefern- Durchforstungsversuch Nordmexikos. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 168 (12):213-219.
- Aguirre C., O. A.; H. Kramer y J. Jiménez. 1998b. Análisis de la estructura de ecosistemas forestales. Un caso de estudio en Durango, México. Actas del Primer Congreso Latinoamericano IUFRO. Valdivia, Chile. 11 p.
- Albert, M.; K. V. Gadow und H. Kramer. 1995. Zur Strukturbeschreibung in Douglasien-Jungbeständen am Beispiel der Versuchsflächen Manderscheid und Uslar. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 166 (11):205-210.
- Biber, P. 1997. Analyse verschiedener Strukturaspekte von Waldbeständen mit dem Wachstumssimulator SILVA 2. Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten. Sektion Ertragskunde. Jahrestagung in Grünberg. pp. 100-120.
- Clark, P. and F. C. Evans. 1954. Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationships in populations. Ecology 35 (4):445-453.
- De Camino, R. 1976. Zur Bestimmung der Bestandeshomogenität. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 147 (2/3):54-58.
- Füldner, K. and K. V. Gadow. 1994. How to Define a Thinning in a Mixed Deciduous Beech Forest. Mixed Stands. Research Plots. Measurements and Results. Models. Proceedings from the Symposium of the IUFRO Working Groups S4.01-03 S4-01-04 in Lousã/Coimbra. Portugal. pp. 31-42.
- Füldner, K. 1995. Strukturbeschreibung von Buchen – Edellaubholz – Mischwäldern. Tesis doctoral. Universidad de Göttingen. Cuvillier Verlag Göttingen. 145 p.
- Gadow, K. V. und K. Füldner. 1992. Zur Methodik der Bestandesbeschreibung. Arbeitsgruppe Forsteinrichtung. Jahrestagung in Klieken b. Dessau. pp. 122-138.
- Gadow, K. V. 1993. Zur Bestandesbeschreibung in der Forsteinrichtung. Forst und Holz 48 (21):602-606.
- Gadow, K. V. 1997. Strukturentwicklung eines Buchen-Fichten-Mischbestandes. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 168 (6-7):103-106.
- Gadow, K. V.; G. Y. Huy und M. Albert. 1998. Das Winkelmaß – ein Strukturparameter zur Beschreibung der Individualverteilung in Waldbeständen. Centralblatt für das Gesamte Forstwesen 155:1-9.
- Gleichmar, W. und D. Gerold. 1998. Indizes zur Charakterisierung der horizontalen Baumverteilung. Forstwissenschaftliches Centralblatt 117 (1):69-80.



- Jiménez, J.; O. Aguirre und H. Kramer. 1998. Bestandesstrukturanalyse im ungleichaltrigen Kiefern- Wacholder- Eichen- Mischwald Nordostmexikos. Forstarchiv. En prensa.
- Lockow, K. W. 1998. Durchforstung, Zuwachs und Struktur in ungleichaltrigen Kiefern-Buchen-Mischbeständen. Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten. Sektion Ertragskunde. Jahrestagung in Kevelaer. pp. 157-183.
- Nagel, J. 1994. Structural analysis of the forest reserve Saubrink on the basis of a permanent sample plot data. Mixed Stands. Research Plots. Measurements and Results. Models. Proceedings from the Symposium of the IUFRO Working Groups S4.01-03 S4-01-04 in Lousã/Coimbra. Portugal. pp. 81-96.
- Nagel, J. 1998. Möglichkeiten der Einschätzung von Artendiversität und Struktur im Rahmen von Betriebsinventuren. Manuscrito. 24 p.
- Pielou, E. C. 1961. Segregation and Symmetry in two-species Populations as studied by nearest Neighbor Relations. *Journal of Ecology* 49:255-269.
- Pielou, E. C. 1977. *Mathematical Ecology*. John Wiley & Sons. New York. 385 p.
- Pommerening, A.; C. Wiegard und K. V. Gadow. 1996. Bestandesinventuren in strukturreichen Wäldern. Information für die Zielstärken- und Wertnachhaltigkeit. Projektbericht. Göttingen. 68 p.
- Pommerening, A. 1997. Eine Analyse neuer Ansätze zur Bestandesinventur in Strukturreichen Wäldern. Tesis doctoral. Universidad de Göttingen. Cuvillier Verlag, Göttingen. 150 p.
- Pretzsch, H. 1994. Analyse und Reproduktion räumlicher Bestandesstrukturen. Versuche mit dem Strukturgenerator STRUGEN. Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstliche Versuchsanstalt 114. 87 p.
- Pretzsch, H. 1996. Strukturvielfalt als Ergebnis waldbaulichen Handels. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 67 (11): 213-221.
- Saborowsky, J. 1990. Schätzung von Varianzen und Konfidenzintervallen aus mehrstufigen Stichproben. Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstliche Versuchsanstalt 99. 68 p.
- Shannon, C. E. 1948. The mathematical theory of communication. En C. E. Shannon; W. Weaver (Ed.): *The mathematical theory of communication*. Urbana, University of Illinois Press. pp. 3-91.
- Sterba, H. 1998. Das Randproblem bei der Erfassung von Strukturparametern. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Göttingen. 16 p.
- Thomasius, H. und P. A. Schmidt. 1996. *Wald, Forstwirtschaft und Umwelt*. Economica Verlag. Bonn. 435 p.

# COMPARACIÓN DE SIETE DISEÑOS DE UNIDADES DE MUESTREO SECUNDARIAS EN INVENTARIOS FORESTALES

Efraín Velasco Bautista<sup>1</sup>, Francisco Moreno Sánchez<sup>1</sup>  
y Ricardo Rodríguez Piña<sup>2</sup>

## RESUMEN

El objetivo del diseño de encuestas por muestreo es obtener información para la estimación de uno o varios parámetros poblacionales a un costo mínimo. El muestreo por conglomerados, donde la unidad de muestreo es una colección o conjunto de elementos, proporciona más información por unidad de costo que aquellos diseños en donde se utilizan unidades de muestreo solas. Si bien es cierto que el muestreo por conglomerados en dos etapas es de gran utilidad en los inventarios forestales regionales o nacionales, en México existen pocos estudios sobre la mejor configuración de las Unidades de Muestreo Secundarias (UMS) dentro de las Unidades de Muestreo Primarias (UMP) en términos de mayor precisión. Es por esta razón que se consideró conveniente comparar siete diseños diferentes de UMS dentro de UMP circulares de una hectárea y así poder determinar cual proporciona estimaciones más precisas. Para tal efecto se generó aleatoriamente en ArcView Versión 3.1 una población teórica de árboles en una superficie de 114.6 ha. Al evaluar el número de árboles, el área basal y el volumen, se concluyó que los mejores diseños, en términos del menor error relativo de muestreo, fueron aquellos donde las UMS forman una cruz y el diseño donde las UMS forman una T horizontal, mientras que en el diseño donde las UMS forman una Y invertida, se presentó el error relativo de muestreo más alto.

**Palabras clave:** Error relativo de muestreo, estimador de razón, inventarios forestales, muestreo por conglomerados, unidad de muestreo primaria, unidad de muestreo secundaria.

Fecha de recepción: 21 de agosto de 2003.

Fecha de aceptación: 08 de noviembre de 2004.

---

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

<sup>2</sup> Dirección General de Investigación Forestal, INIFAP.

## ABSTRACT

The objective of the design of surveys by sampling is to obtain information, for the estimation of one or several parameters from the population, in a minimum cost. The cluster sampling, where the sampling unit is a collection or cluster of elements, provides more information by cost unit than those designs in which single units of sampling are used. Although it is certain that the two-stage cluster sampling, is very useful in the regional or national forest inventories, in Mexico exists few studies about the best configuration of the secondary sampling units (UMS) into the primary sampling units (UMP) in terms of greater precision. It's by this reason that it was considered advisable to compare seven different designs from UMS into circular UMP of one hectare, and thus to be able to determine which design provides more precise estimations. For such effect was generated a theoretical randomly population of trees in Arc View 3.1, in an area of 114.6 hectares. When evaluating the number of trees, the basal area and the volume, concluded that the best design, in terms of the smaller relative error of sampling, were the designs five (the UMS in form of a cross) and design two (the UMS in form of horizontal T), whereas the design one (the UMS in form of inverted Y) presented the higher relative error of sampling.

**Key words:** Cluster sampling, primary sampling unit, secondary sampling unit, relative sampling error, ratio estimator, forest inventories

## INTRODUCCIÓN

La ventaja principal del muestreo por conglomerados en relación al muestreo aleatorio simple es la obtención de una mayor cantidad de información por unidad de costo (Scheaffer *et al.*, 1987). El empleo de este tipo de muestreo es común en inventarios forestales tanto de carácter regional como nacional.

En el Inventario Nacional Forestal Periódico 1992-1994 de México se empleó un diseño de muestreo por conglomerados, integrado por grupos de tres parcelas circulares de 1000 m<sup>2</sup> ubicadas geométricamente en forma de L. Tanto los conglomerados como las parcelas que los integran se encontraban distribuidos sistemáticamente. La distancia entre las parcelas estaba en función del tipo de ecosistema, así pues en bosques fue de 150 m, mientras que en selvas fue de 200 m (SARH, 1994).

Dentro de los trabajos del Inventario y Monitoreo de los Recursos Naturales de Jalisco, Talavera *et al.* (2001) evaluaron tres tamaños de conglomerado y de sitios de muestreo considerando el número de árboles, el área basal y la proporción de géneros. Los diferentes diseños evaluados fueron:

1. Conglomerados de 90 x 90 m con sitios circulares de 100 m<sup>2</sup> (se muestrearon seis sitios de 5.64 m de radio).

2. Conglomerados de 30x30 m con sitios circulares de 78.54m<sup>2</sup> (se muestrearon cinco sitios de 5 m de radio).
3. Conglomerados de 150x150 m con 25 cuadros de 30x30 m (se muestrearon cuatro sitios circulares de 1000 m<sup>2</sup> dispuestos en forma de Y invertida).

Estos autores concluyeron que el diseño marcado con el número tres (sitios dispuestos en forma de Y invertida) resultó ser el óptimo.

En otros países se han empleado diversas formas geométricas de unidades muestrales en conglomerados en inventarios forestales, por ejemplo en Canadá, cuatro unidades de muestreo circulares localizadas en dos líneas perpendiculares constituían un conglomerado (Prodan *et al.*, 1997).

Scott (1991) evaluó varias configuraciones de conglomerados en un estudio de optimización. Concluyó que un diseño donde las unidades muestrales (0.017 ha) generan una Y invertida es el óptimo. Indicó que hay un ahorro de 18% en costos y que un conglomerado de este tipo puede ser observado en un día. Siete atributos de interés forestal fueron considerados.

Los diseños de muestreo por conglomerados referidos en las líneas anteriores son en esencia, tal y como lo señalan Zarnoch y Bechtold (2000), diseños de Muestreo por Conglomerados en Dos Etapas, en donde las Unidades de Muestreo Primarias (UMP) están definidas por un área geográfica que engloba a las parcelas, y las Unidades de Muestreo Secundarias (UMS) son las parcelas.

Dada la topografía de las áreas forestales es probable que en la obtención de la información de campo existan lugares inaccesibles, por lo que aun cuando las UMP estén integradas teóricamente por un número fijo de UMS, en la realidad algunas UMP pueden tener un número menor de tales unidades, originándose entonces UMP de tamaños diferentes, por ello es que, para la estimación de los parámetros de interés es apropiado usar un Estimador de Razón, en el cual se utiliza información de una variable auxiliar (denominador) que se supone correlacionada con la variable en estudio (numerador).

Para el empleo de un estimador de razón, tanto para la variable de interés como para la variable auxiliar, se suman todos los datos de las UMS y se considera el dato al nivel de UMP. Por otro lado, usualmente no hay interés en la variabilidad entre las UMS en la rutina de cálculo de datos de inventario, de manera que la única fuente de variación considerada es entre UMP (Scott y Bechtold, 1995; Bechtold y Zarnoch, 1999). En inventarios forestales este método posee la ventaja de proporcionar la estimación del parámetro de interés directamente por hectárea, ya que como se verá más adelante, la variable auxiliar es precisamente el área muestreada a nivel de UMP.

Por otra parte, al considerar como estimador la media global por UMS, y si se

supone muestreo aleatorio simple en ambas etapas, y si además, la fracción de muestreo a nivel primario se ignora, la varianza estimada de este estimador puede expresarse solamente en términos de la variabilidad de las UMP (Cochran, 1993). Asimismo, si en la segunda etapa el muestreo es sistemático, la varianza estimada de ese estimador, también considera únicamente la variabilidad entre las UMP (Sukhatme y Sukhatme, 1970).

La distribución sistemática de las unidades de muestreo ha demostrado ser superior en la práctica respecto a la distribución aleatoria, y empleando los estimadores del muestreo aleatorio, los resultados satisfacen el nivel de precisión esperado, siempre que la población no sea periódica en cuanto al valor de la variable que se evalúa. Además, si la población bajo estudio es aleatoria, es decir, los elementos están distribuidos al azar, el muestreo sistemático es equivalente al muestreo aleatorio (Scheaffer *et al.*, 1987). Estas consideraciones son de gran importancia, puesto que aun cuando se use un diseño sistemático, se pueden usar los estimadores del muestreo aleatorio para la estimación de los parámetros de interés.

A pesar de la utilidad del muestreo por conglomerados en los inventarios forestales, en dos etapas básicamente, en México existen pocos estudios sobre la mejor configuración de las UMS dentro de las UMP. Es por esta razón que se consideró conveniente realizar el presente trabajo, cuyo objetivo fue el siguiente:

Comparar siete arreglos geométricos diferentes de UMS dentro de las UMP, en términos del error relativo de estimación, y así poder determinar cual diseño proporciona estimaciones más precisas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Existen al menos dos maneras para la comparación de diseños diferentes de las UMS dentro de las UMP. La primera se refiere al establecimiento en el bosque de varios arreglos geométricos de UMS dentro de las UMP en una serie de conglomerados, la medición de algunas variables tipo, y la obtención de la estimación y de su error relativo. La segunda forma se refiere a la generación de una población hipotética de árboles y de valores de algunas de sus características, en la cual se establezcan varias configuraciones de conglomerados, se obtenga la estimación y su error relativo. En ambos casos el mejor diseño será aquel que presente el menor error.

En el presente estudio se decidió emplear la segunda forma, ya que además de que se pueden conocer los parámetros de interés (valores poblacionales) con cierta facilidad, el método demanda poco tiempo relativamente. Además, la evaluación de nuevos diseños es también una característica de este procedimiento. Las actividades desarrolladas en el trabajo fueron las siguientes:

## Selección del área de estudio

Con el propósito de tener un área de estudio base, a partir de una cobertura digital de Vegetación y Uso de Suelo del D. F. se seleccionó un polígono de 114.6 ha (Figura 1). La selección de esta superficie obedeció a que el número de UMP en ella generadas, fue suficiente para llevar a cabo el estudio.

## Generación aleatoria de puntos (árboles) definidos por coordenadas X y Y

Se generó una población aleatoria de puntos definidos por coordenadas X y Y que dio un total de 15,735 en la superficie de 114.6 ha. Cada uno de ellos equivale a un árbol, lo que representó una densidad de 137 árboles por ha (Figura 2).

## Generación de alturas y diámetros normales de los árboles

Si bien es cierto que la población de árboles es hipotética, el diámetro normal y la altura total de cada uno de ellos deben estar relacionados y dentro de ciertos rangos lógicos. Para la asignación de estas características a cada uno de dichos árboles se procedió de la siguiente manera.

De los 15,735 árboles que integran a la población, a 4,038 se les asignó un diámetro y una altura total real, proveniente de una medición realizada en 1989 en el Campo Experimental Forestal San Juan Tetla, INIFAP. La especie considerada fue *Pinus montezumae* Lamb. Para el resto de los árboles de la población el diámetro normal fue generado aleatoriamente, considerando el valor mínimo y el máximo de los diámetros reales, mientras que la altura total se obtuvo mediante una ecuación de regresión tomando como variable independiente a los diámetros generados aleatoriamente. Para obtener la ecuación de regresión se consideró como variable dependiente (y) a la altura total real y como variable independiente (x) al diámetro normal real. La ecuación resultante fue  $y = -42.792 + 18.881 \ln(x)$  con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.84.

## Obtención de los valores de los parámetros de interés

El área basal de cada árbol de la población se obtuvo suponiendo una forma circular del mismo a la altura de 1.30 m a partir del suelo. Para la obtención del volumen de cada árbol, al producto del área basal ( $m^2$ ) por la altura (m) se le aplicó un coeficiente de 0.7. Mediante la suma de todas las áreas basales y volúmenes individuales se obtuvo el área basal total y el volumen total (parámetros), respectivamente. El número total de árboles fue de 15,735.

## Definición del diseño de muestreo

Se usó un Diseño de Muestreo por Conglomerados en Dos Etapas, donde las

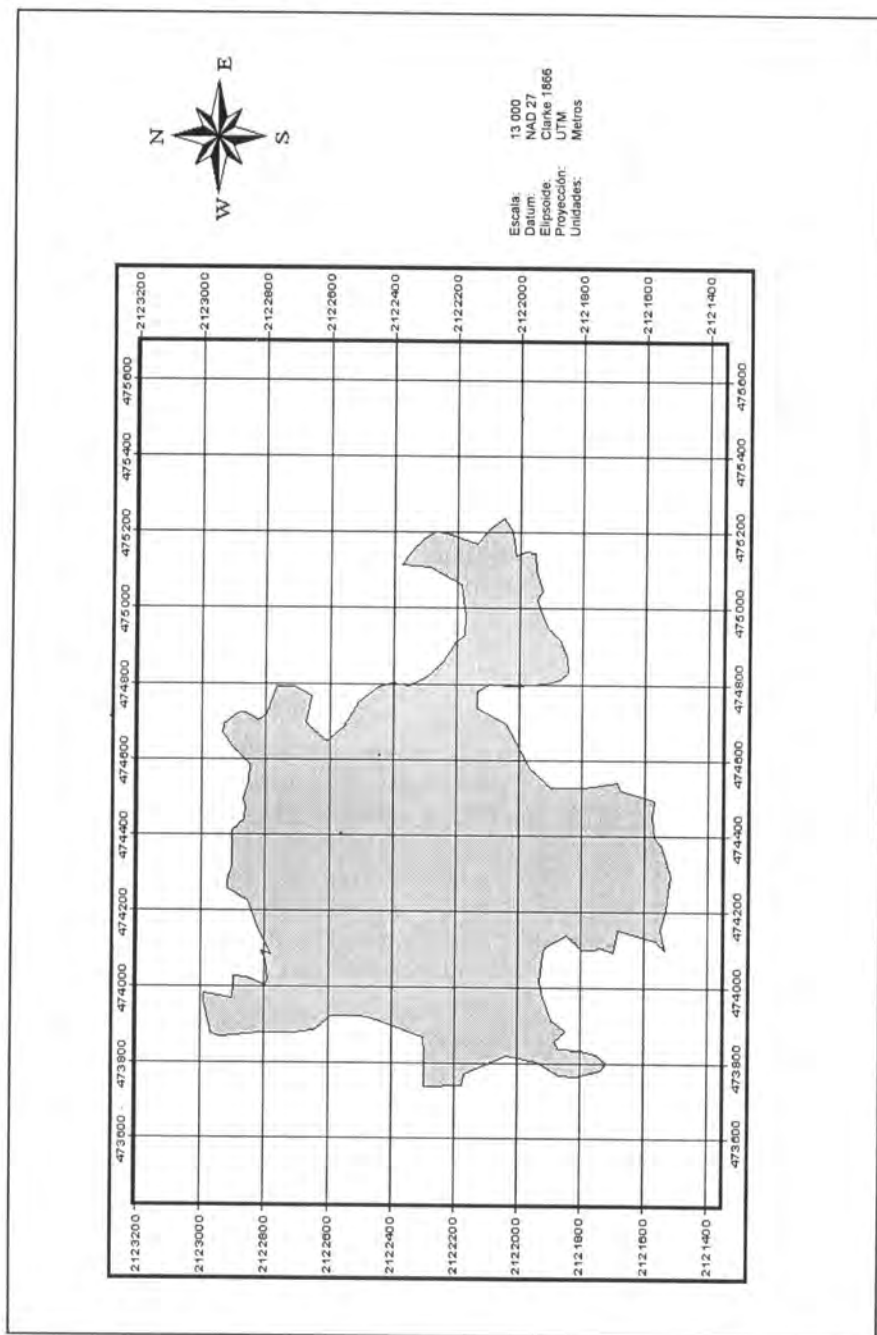


Figura 1. Área de estudio (114.6 ha).

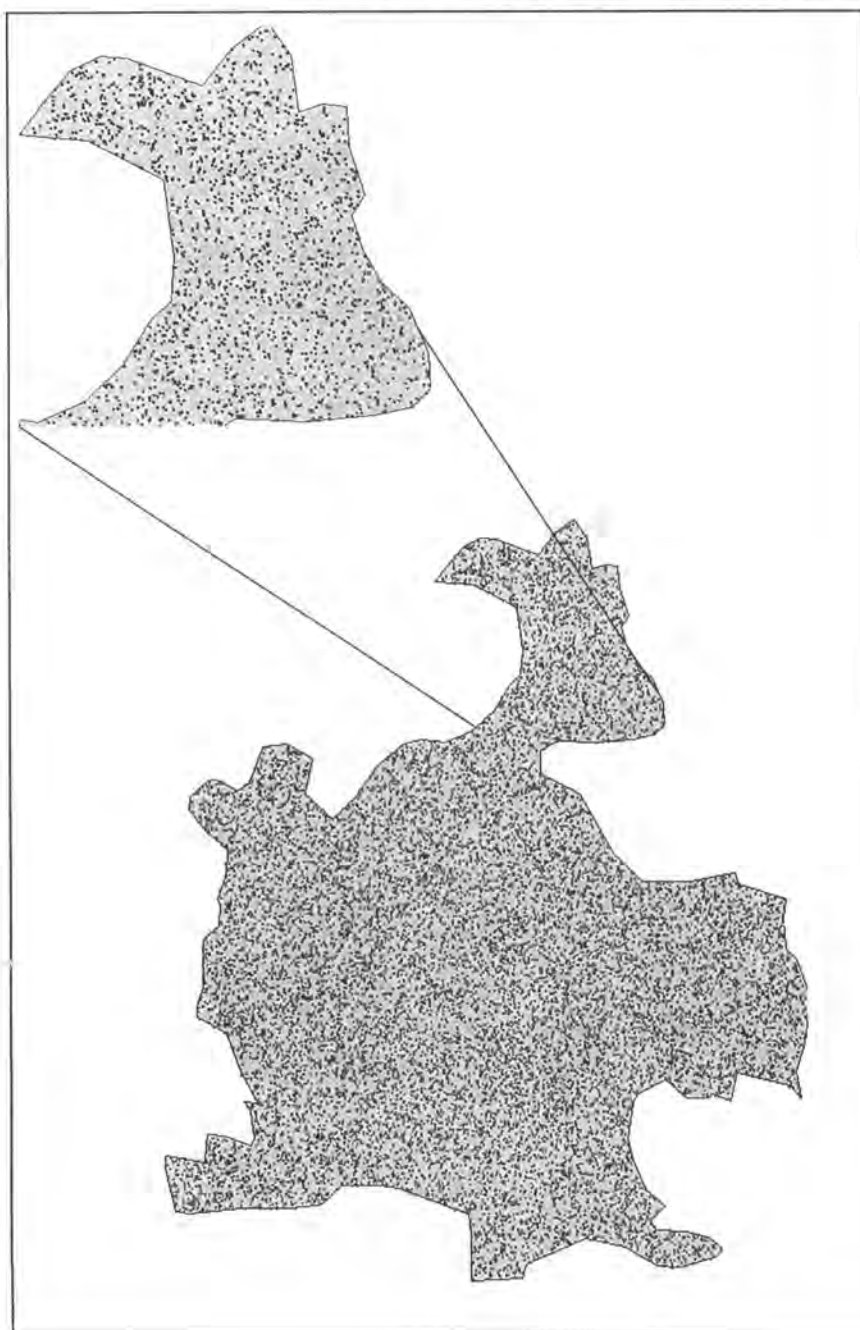


Figura 2. Árboles generados aleatoriamente.



UMP fueron seleccionadas al azar, mientras que las UMS siguieron un patrón espacial específico.

## Generación del marco de muestreo y obtención de la muestra de UMP

Se tomó como UMP un área circular cuya superficie fuese de 1 ha (radio 56.42 m). Esto obedeció a que es relativamente sencillo construir el marco de muestreo de UMP en un área forestal determinada cuando se usan UMP de 1 ha, y que además probablemente no se gane mucha precisión al considerar UMP de mayor tamaño; de hecho, las parcelas grandes (plot) del Programa de Inventario Forestal y Análisis (FIA) y del Sistema de Vegetación Actual (CVS) de Estados Unidos son también de 1 ha (Schreuder y Geissler, 1999).

Los centros de las UMP estuvieron separados a una distancia de 112.84 m. Considerando un radio de 56.42 m se creó un círculo que delimitó cada UMP. El marco de muestreo estuvo integrado por 88 UMP perfectamente identificadas (Figura 3), a partir de las cuales se obtuvo una muestra aleatoria de tamaño 25 (Figura 4).

## Generación de seis diseños de UMS dentro de las UMP

Tomando como referencia un diseño de cuatro UMS, circulares de 400 m<sup>2</sup> cada una, dispuestas espacialmente en forma de Y invertida dentro de una UMP de 1 ha (Figura 5a) (SEMARNAT, 2002) se generaron otros seis diseños (figuras 5b - 5g), algunos de los cuales, como el tres y el seis se han usado en la realidad. Ubicando geográficamente el centro de la UMP, mediante relaciones trigonométricas se determinaron espacialmente las UMS que caracterizan a cada diseño. Considerando un radio de 11.28 m a partir del centro de cada UMS, se generó un círculo que delimitó a dicha UMS. Todos los diseños se caracterizan porque las UMS se localizan a 45.14 m a partir del centro de la UMP, pero a diferentes azimuts.

## Identificación de los árboles que pertenecen a cada uno de los siete diseños

Después de la delimitación de cada UMS se seleccionaron todos los puntos (árboles) comprendidos en cada una de ellas, es decir, aquellos individuos que estuvieran dentro de la distancia de 11.28 m, posteriormente estos árboles se asignaron a las diferentes UMS mediante la unión de sus respectivas bases de datos. Estas actividades se realizaron para los distintos diseños bajo estudio (Figura 6).

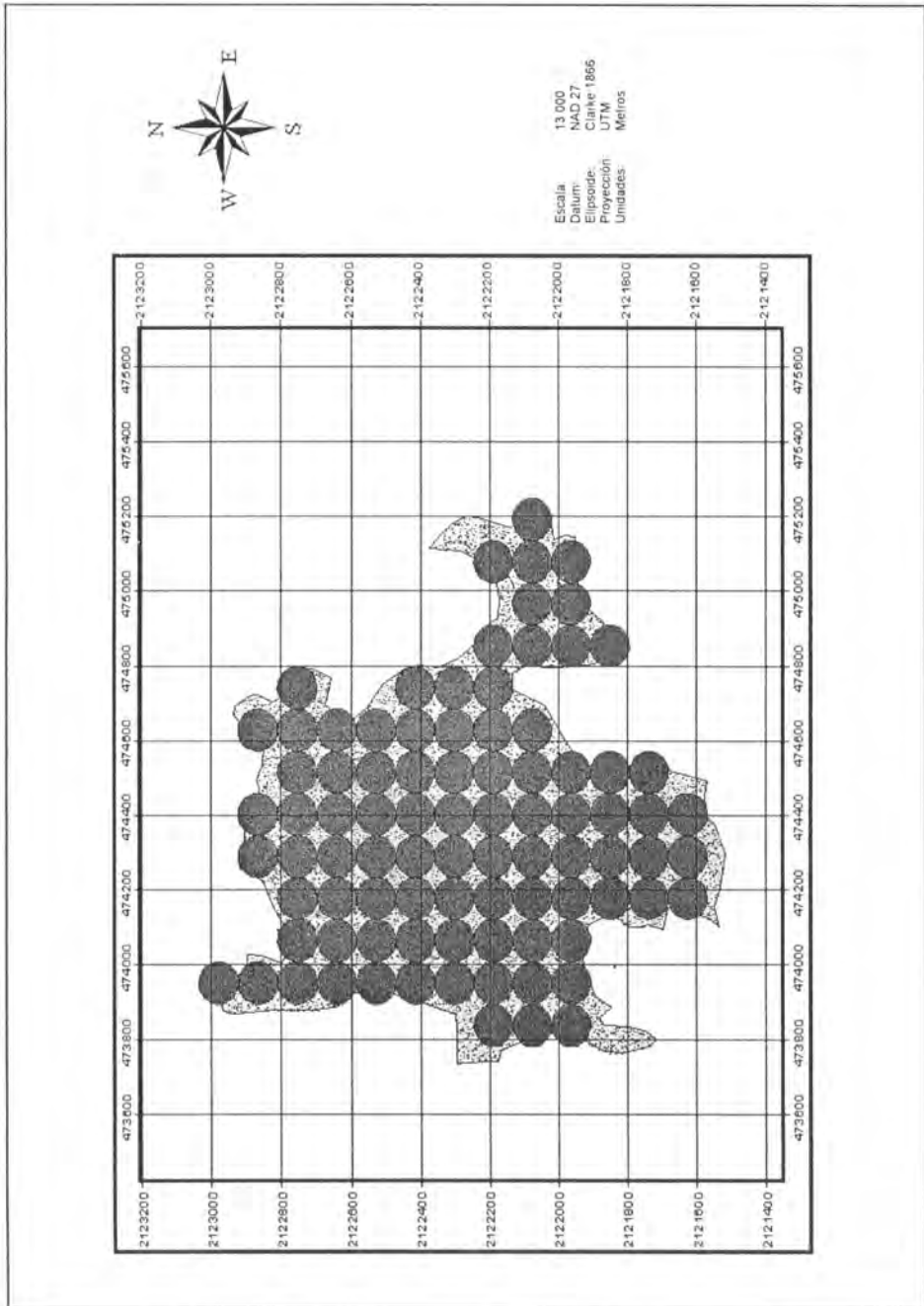


Figura 3. Marco de muestreo de UMP.

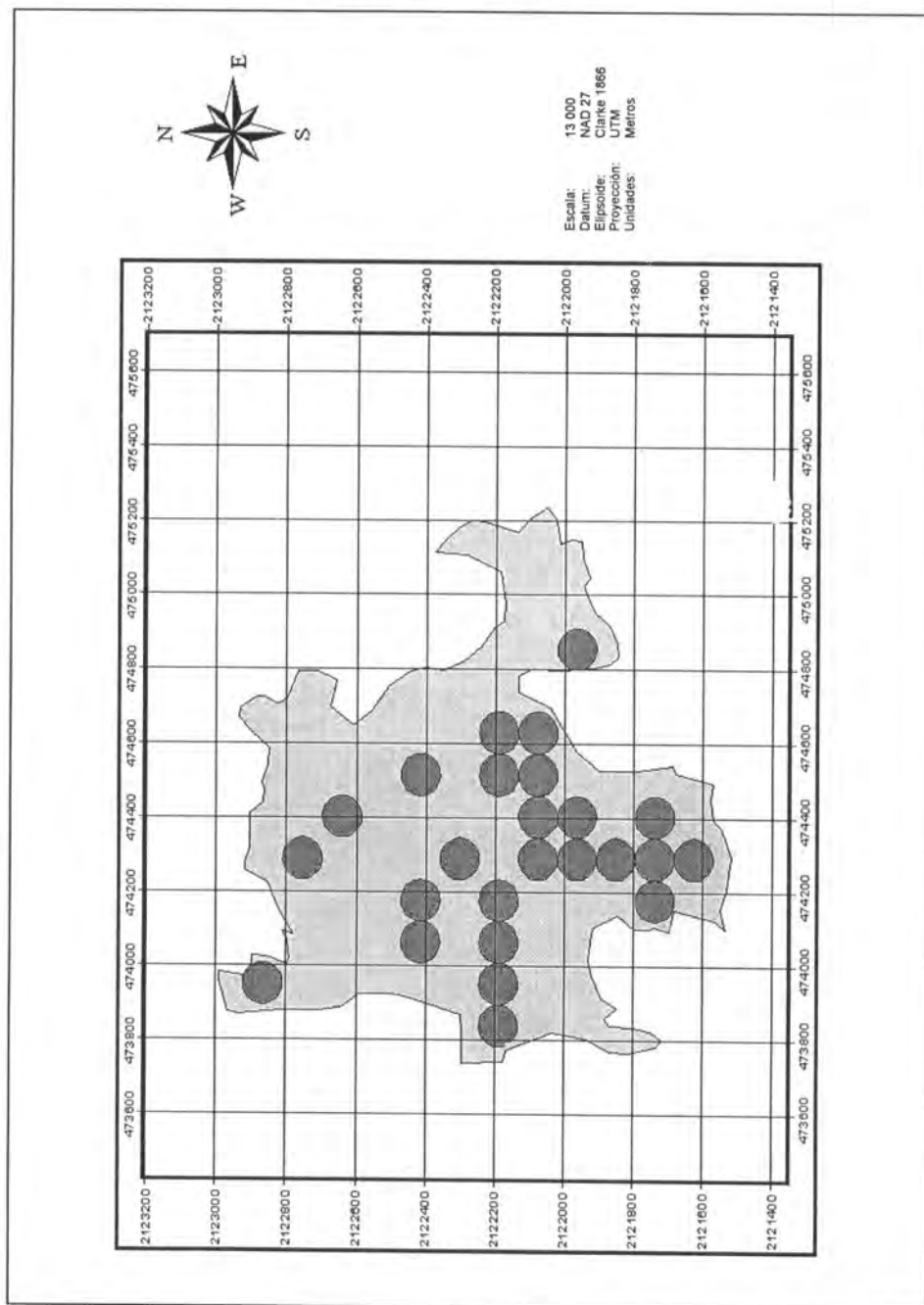


Figura 4. UMP seleccionadas aleatoriamente (muestra).

Figura 5. Diseños evaluados de UMS dentro de las UMP.

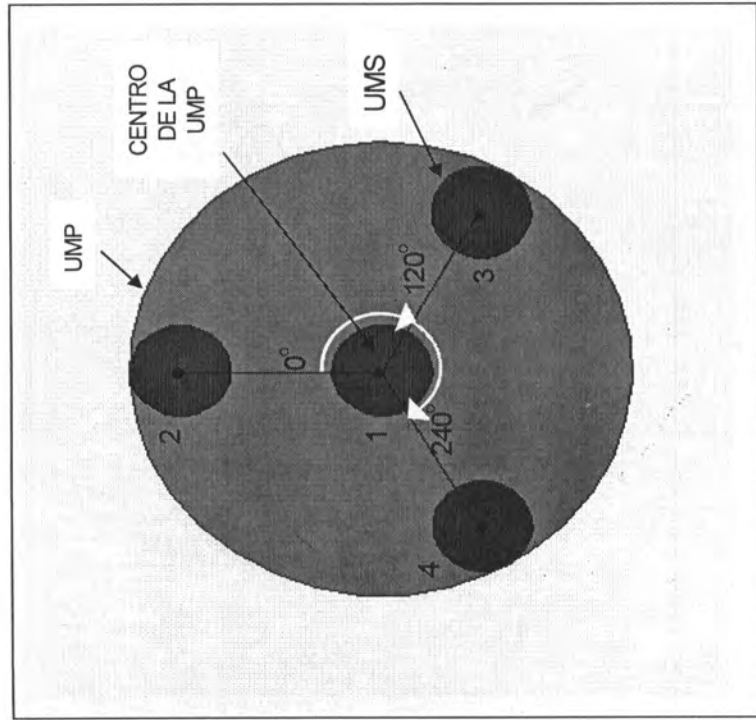


Figura 5a. Diseño 1 (Y invertida).

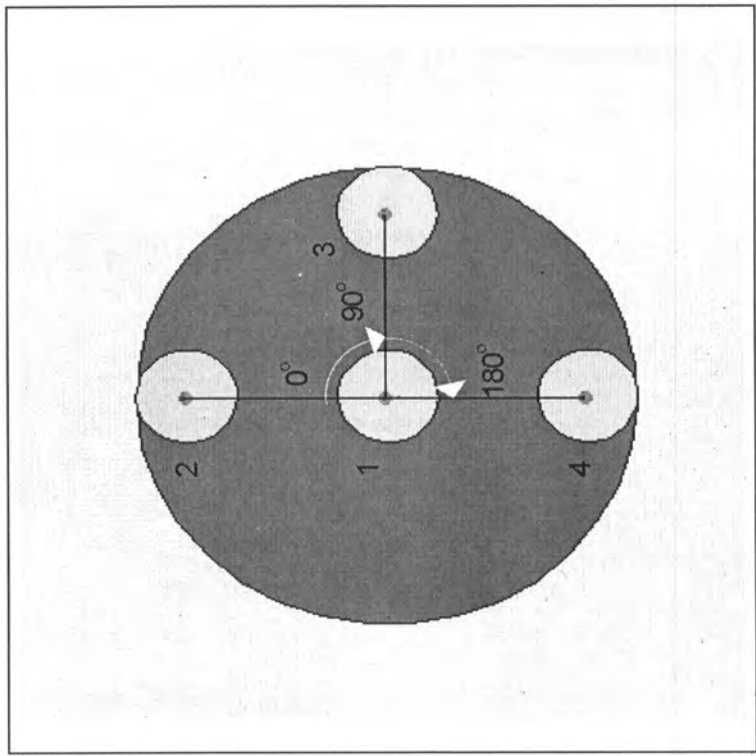


Figura 5b. Diseño 2 (T horizontal).

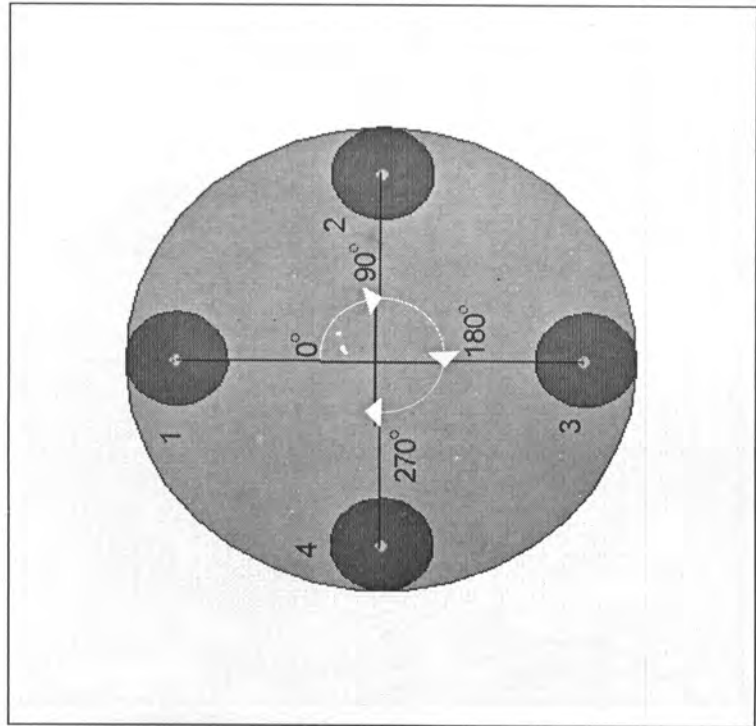


Figura 5c. Diseño 3 (cruz).

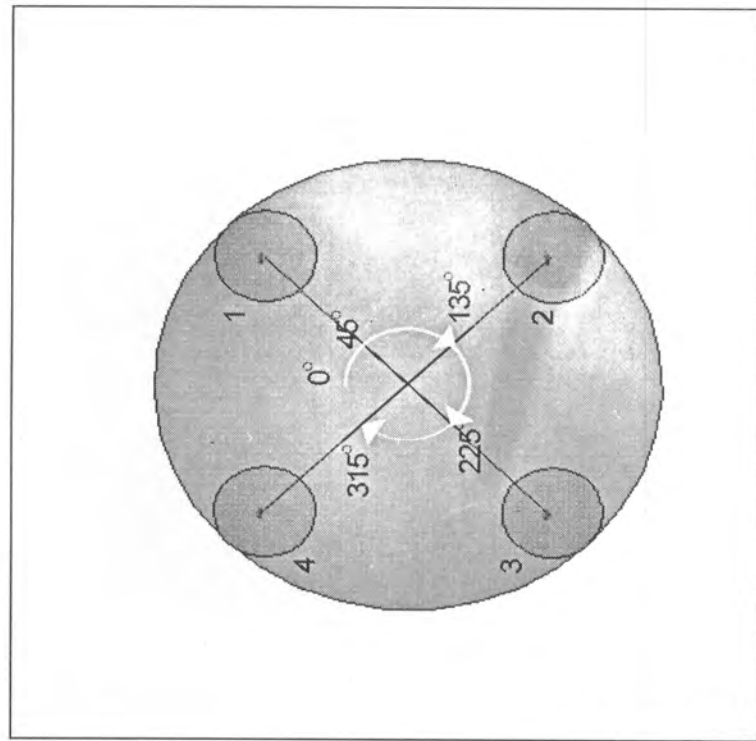


Figura 5d. Diseño 4 (X).

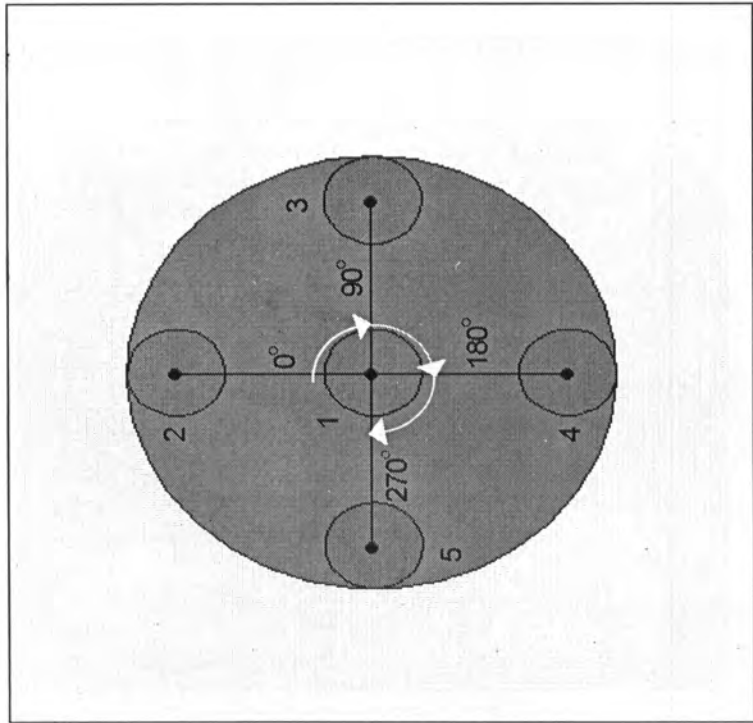


Figura 5e. Diseño 5 (cruz).

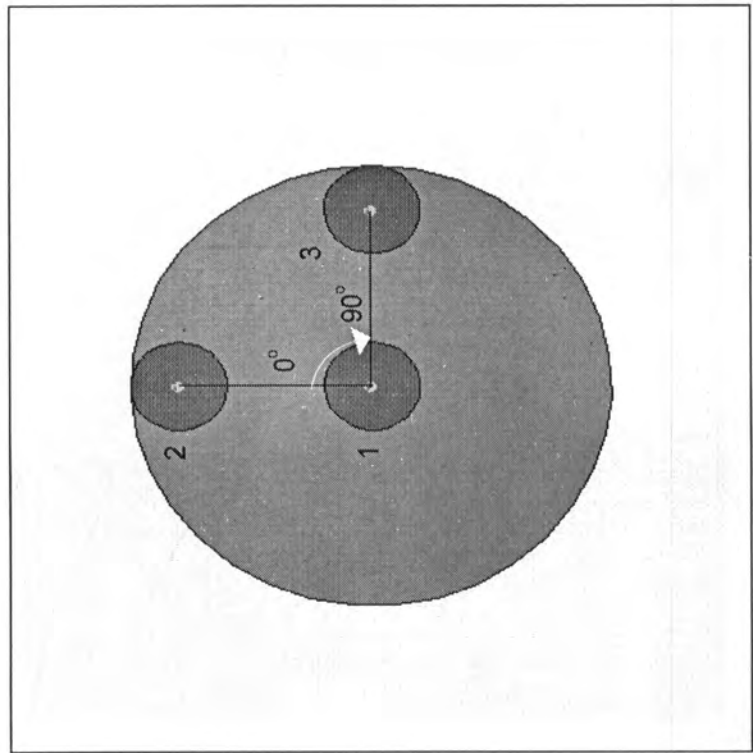


Figura 5f. Diseño 6 (L).

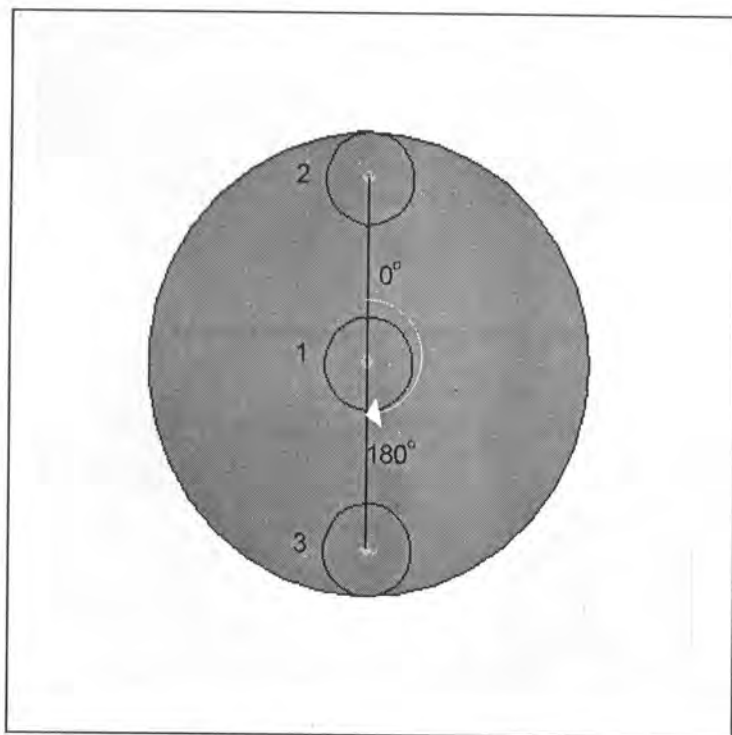


Figura 5g. Diseño 7 (línea).

Para la generación de la población hipotética de árboles, el marco de muestreo de las UMP y los diseños de UMS, así como la selección de los árboles incluidos en los diferentes diseños evaluados, se utilizó ArcView Versión 3.1.

Para la generación de las alturas y diámetros normales, la obtención de los valores de los parámetros y las estimaciones, se empleó SAS para Windows Versión 6.12 y Excel.

### Obtención de estimaciones del total (para el número de árboles, área basal y volumen) y errores de muestreo relativos

Dada la configuración geométrica de las UMS en los diferentes diseños estudiados, la estimación del número de árboles, el área basal y el volumen total se puede obtener al menos de las tres maneras siguientes:

1. Adicionar los datos de las UMS, considerar el resultado a nivel UMP y utilizar un estimador de razón.

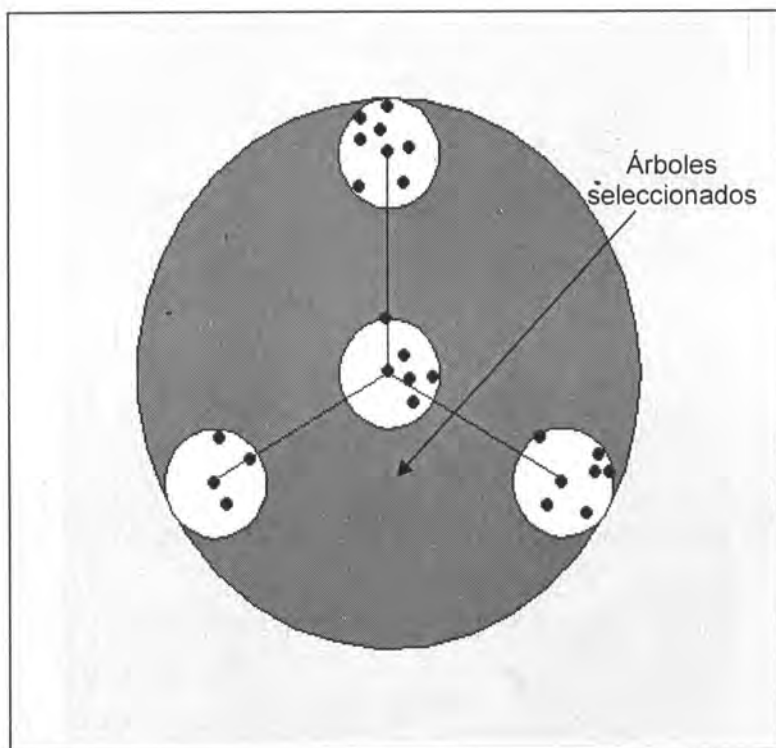


Figura 6. Árboles seleccionados en las UMS.

2. Adicionar los datos de las UMS, considerar el resultado a nivel de UMP y utilizar un estimador de media.
3. Considerar los datos a nivel de UMS y utilizar un estimador de media de medias.

Como en el presente estudio las UMP son del mismo tamaño, a primera vista parecería que la segunda y tercera formas son las más indicadas, sin embargo, al considerar como variable de interés el número de árboles, el área basal y el volumen, y como variable auxiliar el área muestreada, la primera forma tiene la ventaja de proporcionar la estimación directamente por unidad de superficie, permitiendo la estimación del total casi de manera inmediata. Por otra parte, el estimador de razón es insesgado, cuando se aplica a situaciones en donde las unidades de muestreo son iguales (Scheaffer *et al.*, 1987), y de hecho al ignorar el factor de corrección por finitud, mediante las tres maneras se obtienen los mismos errores de muestreo. Cochran (1993) indica que ignorar el factor de corrección



en la varianza estimada de un estimador de media de medias es útil cuando el submuestreo es sistemático.

Por lo anterior, para la estimación del número de árboles, el área basal y el volumen en las 114.6 ha se utilizó un estimador de razón, el cual de acuerdo con Cochran (1993) está dado por la siguiente expresión:

$$\hat{\theta} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{\sum_{i=1}^n x_i} * A = \hat{R} * A \quad (1)$$

Donde:

$$\hat{R} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{\sum_{i=1}^n x_i}$$

- $\hat{\theta}$  = Estimador para el número de árboles, el área basal o el volumen
- $y_i = \sum_{j=1}^m y_{ij}$  = Número de árboles, el área basal o el volumen de la UMP  $i$
- $y_{ij}$  = Número de árboles, el área basal o el volumen en la UMS  $j$  de la UMP  $i$
- $x_i = \sum_{j=1}^m x_{ij}$  = Superficie muestreada (ha) de la UMP  $i$
- $x_{ij}$  = Superficie de la UMS  $j$  de la UMP  $i$  (0.04 ha)
- $A$  = Superficie forestal objeto de estudio (114.6 ha)
- $n$  = Número de UMP seleccionadas aleatoriamente (25)
- $m$  = Número de UMS evaluadas en la UMP  $i$  (4)

La varianza estimada de (1) está dada por la siguiente expresión:

$$\hat{V}(\hat{\theta}) = A \left( \frac{1}{n(n-1)x^2} \left( \sum_{i=1}^n y_i^2 + R^2 \sum_{i=1}^n x_i^2 - 2R \sum_{i=1}^n y_i x_i \right) \right) \quad (2)$$

Suponiendo normalidad, un intervalo de confianza para  $\theta$ , al 95% de confiabilidad, basado en  $\hat{\theta}$  será:

$$\hat{\theta} - 2 \left( \hat{V}(\hat{\theta}) \right)^{0.5} \leq \theta \leq \hat{\theta} + 2 \left( \hat{V}(\hat{\theta}) \right)^{0.5} \quad (3)$$

Donde:

$\hat{\theta}$  = Parámetro de interés o valor poblacional para el número de árboles, área basal o volumen.

El número 2 de la expresión (3) obedece a que en una distribución normal, el 95% de las observaciones está comprendido entre dos desviaciones estándar por arriba y por abajo de la media.

Un elemento importante para la comparación de los siete diseños evaluados fue el error relativo de muestreo, el cual de acuerdo con Pérez (2000) se define como la razón entre la desviación típica del estimador y su valor esperado, es decir, mediante el coeficiente de variación del estimador, cuya expresión es la siguiente:

$$CV \left( \hat{\theta} \right) = \frac{\left( V \left( \hat{\theta} \right) \right)^{0.5}}{E \left( \hat{\theta} \right)} \quad (4)$$

Donde:

$E(\hat{\theta})$  = Es la esperanza matemática del estimador  $\hat{\theta}$

En este estudio se utilizó el error relativo estimado, puesto que en el denominador de la expresión anterior se utilizó el valor obtenido con (1) y en el numerador la varianza obtenida mediante (2).

Si la varianza del estimador  $\hat{\theta}$  se considera como una medida que cuantifica la concentración de las estimaciones alrededor de su valor medio, resulta lógico que el diseño que presente el menor error relativo de muestreo sea el mejor.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se presentan las estimaciones puntuales y por intervalo, obtenidas con un coeficiente de confiabilidad del 0.95, para cada variable evaluada en los diferentes diseños analizados. Es interesante observar, para esta muestra en particular, que para las tres variables bajo estudio, el intervalo de confianza en cada uno de los siete diseños comprende el parámetro o valor verdadero, el cual para el número de árboles es de 15,735, el área basal de 4,088.1 m<sup>2</sup> y el volumen de 106,230.1 m<sup>3</sup>.

En el cuadro anterior se observa que la amplitud del intervalo de confianza es diferente en los siete diseños analizados, para cada una de las variables estudiadas, misma que depende de la varianza del estimador, es decir, a mayor varianza, la amplitud del intervalo es también mayor.

Por otra parte, dado que el error relativo de muestreo varía directamente con la varianza del estimador, a una mayor amplitud del intervalo en general se tiene un mayor error relativo de muestreo, por lo que aquellos diseños con errores más pequeños serán mejores respecto a aquellos con errores más altos. En este sentido, a continuación se indican los mejores diseños considerando cada una de las variables objeto de estudio.

Para la variable número de árboles, los diseños cinco y dos, presentaron los errores relativos de muestreo más bajos, con valores de 3.4 y 3.8%, respectivamente. El resto de los diseños presentaron valores superiores al 4%, destacando el diseño tres con 4.7% y el diseño uno con 5% (Figura 7).

Para el caso del área basal, los errores relativos de muestreo menores se obtuvieron mediante el diseño cinco con 4.3% y el dos con 4.5%. Los errores de muestreo más altos se obtuvieron con los diseños siete y uno, con valores de 5.6 y 6.2%, respectivamente (Figura 7).

Nuevamente, para el caso del volumen, en términos del menor error relativo de muestreo sobresalió el diseño cinco con 4.6% y el dos con 4.9%. Los valores más altos, 6 y 6.6%, corresponden respectivamente a los diseños seis y uno (Figura 7).

Cabe señalar que las estimaciones puntuales, por intervalo y los errores relativos de muestreo, se obtuvieron empleando las expresiones (1), (3) y (4), respectivamente.

Cuadro 1. Estimaciones puntuales y por intervalo para el número de árboles, el área basal y el volumen para los siete diseños evaluados considerando  $n = 25$  UMP.

Variable	Estadísticos	Diseños evaluados						
		1	2	3	4	5	6	7
No. de árboles	Límite inferior	14,026	14,789	14,118	14,328	14,539	14,293	14,859
	Límite superior	17,158	17,197	17,066	17,257	16,691	16,967	17,777
	Estimación puntual	15,592	15,993	15,592	15,793	15,615	15,630	16,318
Área basal (m <sup>2</sup> )	Límite inferior	3,633.6	3,984.3	3,645.2	3,542.9	3,808.5	3,861.9	3,983.4
	Límite superior	4,662.3	4,769.2	4,479.8	4,244.0	4,518.4	4,819.0	4,980.1
	Estimación puntual	4,148.0	4,376.7	4,062.5	3,893.4	4,163.5	4,340.4	4,481.7
Volumen (m <sup>3</sup> )	Límite inferior	93,340.0	103,284.6	94,006.9	90,259.2	98,313.3	99,862.7	103,112.0
	Límite superior	121,957.7	125,559.8	116,696.1	110,161.9	118,421.1	127,393.6	131,125.1
	Estimación puntual	107,648.9	114,422.2	105,351.5	100,210.5	108,367.2	113,628.2	117,118.6

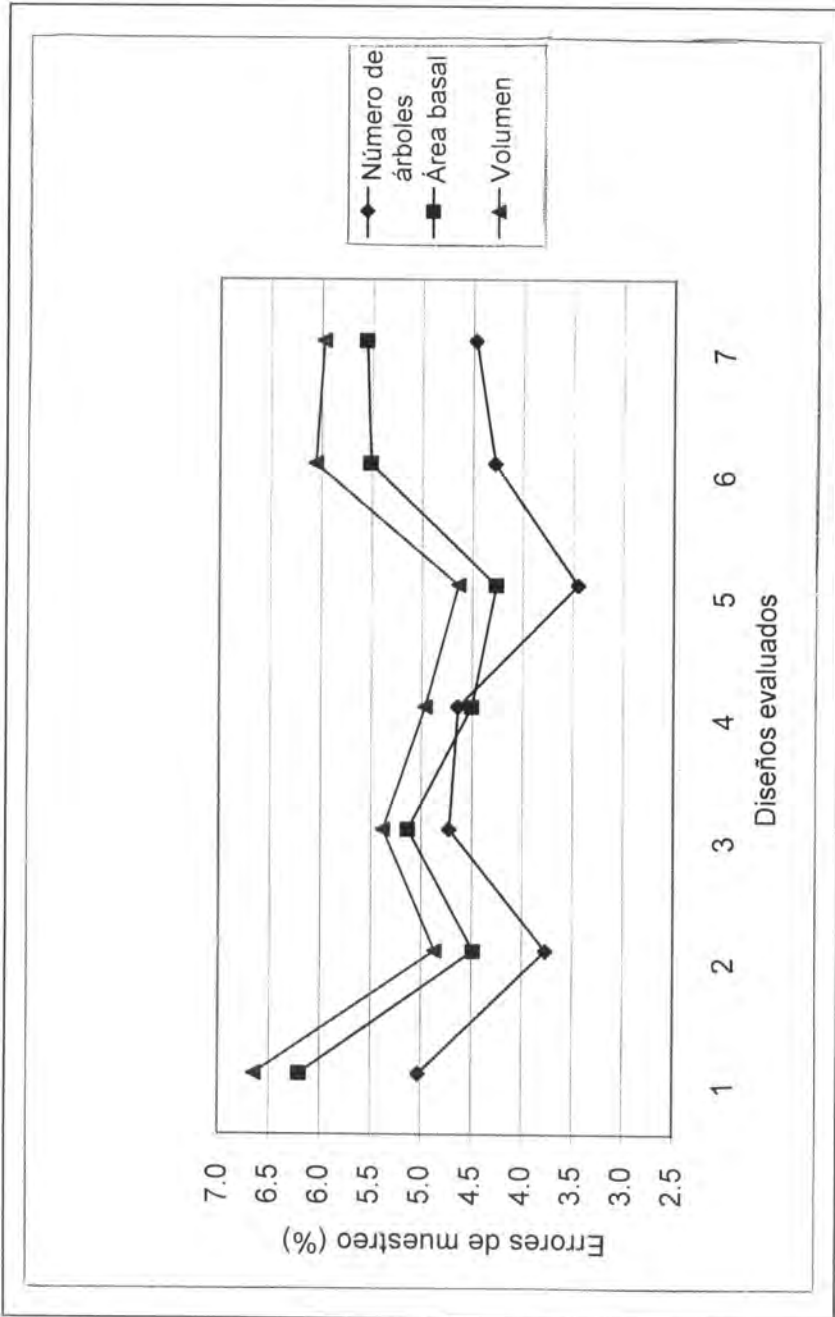


Figura 7. Errores relativos de muestreo para cada variable analizada por cada diseño evaluado.

Se puede observar que la configuración geométrica de las UMS en los diseños dos y cinco, influye para que éstos resulten ser los mejores en términos del menor error relativo de muestreo, de hecho, salvo por la UMS número cinco, del diseño cinco, pueden considerarse parecidos. La inclusión de esta unidad muestral contribuye en una reducción del error de muestreo en menos del 0.5%.

Los resultados de este estudio indican que el diseño uno, aquél en donde las UMS están dispuestas geoméricamente en forma de Y invertida, presenta el error relativo de muestreo más alto, es decir, no es el óptimo, lo cual no coincide con los resultados encontrados por Talavera *et al.* (2001). Esto se debe a que los diseños que ellos evaluaron incluyen UMS de varios tamaños, desde 78.32 m<sup>2</sup> hasta 1,000 m<sup>2</sup>, inclusive la superficie real muestreada en el diseño de la Y invertida es de 4,000 m<sup>2</sup>.

Es importante señalar que en ningún caso el error relativo fue superior al 7%, inclusive los diseños seis y siete, que son los que tienen el menor número de UMS, presentaron errores relativos de muestreo menores que el diseño uno, lo cual significa que no es tan grave el empleo de uno u otro modelo en una situación práctica.

En relación a lo anterior, al utilizar un diseño sencillo como el siete, no se pierde mucha precisión, sin embargo, se ahorra tiempo en el trazo de las unidades de muestreo en campo.

## CONCLUSIONES

Considerando el número de árboles, el área basal y el volumen, los diseños con los errores relativos de muestreo menores, resultaron ser el cinco y el dos, mientras que el diseño con el valor más alto fue el número uno.

Dado que en ningún caso el error relativo de muestreo fue superior al 7%, desde el punto de vista estadístico no importa el empleo de uno u otro diseño, sin embargo, desde el punto de vista práctico, diseños como el uno, dos, cinco, seis y siete, son preferibles, ya que consideran la evaluación de la UMS ubicada en el centro de la UMP.

Se observa que los diseños seis y siete, aun cuando sólo tienen tres UMS, presentan errores relativos de muestreo menores que el uno, el cual contiene cuatro UMS.

En la precisión de la estimación, influye más la configuración geométrica de las UMS que el número de ellas, claramente con el diseño dos se obtienen estimaciones más precisas que con el uno, aun cuando ambos tengan cuatro UMS.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Dr. Miguel Acosta Mireles, investigador del Campo Experimental Valle de México del INIFAP, por haber proporcionado los datos de diámetros y alturas que se utilizaron como base en el presente trabajo.

Asimismo, de manera muy especial a los Doctores Hugo Ramírez Maldonado y Octavio Magaña Torres, de la Dirección General de Investigación Forestal del INIFAP, por sus atinadas sugerencias en la realización de este trabajo.

## REFERENCIAS

- Bechtold, W. A. and S. J. Zarnoch. 1999. Field methods and data processing techniques associated with mapped inventory plots. *In*: Aguirre-Bravo, C. y C. Rodríguez F. (Comp.): North american science symposium: Toward an unified framework for inventorying and monitoring forest ecosystem resources. USDA-Forest Service. Fort Collins, USA. pp. 421-424.
- Cochran, W. G. 1993. Técnicas de muestreo. Compañía Editorial Continental. México. 513 p.
- Prodan, M., R. Peters, F. Cox y P. Real. 1997. Mensura forestal. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica. 561 p.
- Pérez L., C. 2000. Técnicas de muestreo estadístico. Teoría, práctica y aplicaciones informáticas. Alfaomega Grupo Editor. México. 603 p.
- Scheaffer, R. L., W. Mendenhall y L. Ott. 1987. Elementos de muestreo. Trad. por Rendón S., G. y J. R. Gómez A. Grupo Editorial Iberoamérica. México. 321 p.
- Scott, C.T. 1991. Optimal design of a plot cluster for monitoring. *In*: Rennolls K. y G. Gertner (Eds.): The optimal design of forest experiments and forest surveys. IUFRO. The University of Greenwich. pp. 233-242.
- Scott, C.T. and W. A. Bechtold. 1995. Techniques and computations for mapping plot clusters that straddle stand boundaries. *For. Sci. Monogr.* 31:46-61.
- Schreuder, H. T. and P. H. Geissler. 1999. Plot designs for ecological monitoring of forest and range. *In*: Aguirre-Bravo, C. y C. Rodríguez F. (Comp.): North american science symposium: Toward an unified framework for inventorying and monitoring forest ecosystem resources. USDA-Forest Service. Fort Collins, USA. pp. 180-185.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 1994. Inventario nacional forestal periódico 1992-1994. México. 81 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2002. Muestreo y procesamiento de información de campo del inventario nacional forestal 2000-2002. Primera etapa. Regiones hidrológicas Lerma-Santiago y Pánuco. México. 53 p.

- Sukhatme, P.V. and B. V. Sukhatme. 1970. Sampling theory of surveyys with applications. Iowa State University Press. USA. 452 p.
- Talavera Z., E., L. A. Alonso T., J. G. Flores G. y A. Martínez M. 2001. Efecto del tamaño del sitio en la precisión de inventarios forestales. Tu bosque 26:12-15.
- Zarnoch, S. J. and W. A. Bechtold. 2000. Estimating mapped-plot forest attributes with ratios of means. Can. J. For. Res. 30:688-697.



# DAÑOS A BANQUETAS POR ARBOLADO DE ALINEACIÓN ESTABLECIDO EN CEPAS EN LA DELEGACIÓN COYOACÁN, DISTRITO FEDERAL

Héctor M. Benavides Meza<sup>1</sup>, Roberto López Martínez<sup>2</sup>  
y Jesús Flores Hernández<sup>3</sup>

## RESUMEN

Los daños a estructuras urbanas por raíces de los árboles, principalmente aceras y guarniciones, son un problema muy frecuente en las ciudades. La falta de selección de la especie al sitio de plantación, el espacio disponible para el desarrollo de la planta y las condiciones del suelo son factores importantes que propician la problemática anterior. Diferentes especies arbóreas y condiciones de plantación se utilizan en la Ciudad de México, por lo que es importante reconocer la respuesta de las mismas, con el fin de definir criterios para su correcta ubicación. Para determinar lo anterior se realizó un muestreo aleatorio estratificado en 40 árboles de las 11 especies más frecuentes en la Ciudad de México, ubicados en tres tamaños de cepa (chica, mediana y grande). En cada árbol se registró la presencia o ausencia de daño provocado a banquetas y guarniciones, de acuerdo a una escala categórica según la severidad del mismo. Los resultados se analizaron con la finalidad de obtener los porcentajes de árboles por especie en cada categoría de daño y por cada tipo de cepa. Especies tropicales como *Erythrina coralloides* y *Ficus elastica* presentaron altos porcentajes de individuos en las categorías de mayor destrucción; mientras que en especies de clima templado como *Cupressus lindleyi* y *Populus alba* se registraron bajos porcentajes de árboles en las categorías de daño semisevera y severa. Se concluye que el tamaño de cepa así como la especie arbórea son factores importantes que influyen en la severidad del daño causado a banquetas.

**Palabras clave:** Arbolado de alineación, cepas en banquetas, Ciudad de México, daños a banquetas, dasonomía urbana, especies arbóreas urbanas.

Fecha de recibido: 02 de julio de 2004.

Fecha de aceptación: 29 de noviembre de 2004.

<sup>1</sup> Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales (CENID-COMEF), INIFAP. Correo-e: benavides.hector@inifap.gob.mx

<sup>2</sup> Carrera de Biología, Facultad de Ciencias, UNAM.

<sup>3</sup> Carrera de Biología, ENEP Iztacala, UNAM.

## ABSTRACT

A frequent problem in urban settlements is the damage caused by tree roots to urban structures, especially sidewalks and curbs. The lack of tree species selection to the planting place is among the main factors that promotes these problems, as well as the limited available space for tree root growth and the conditions and characteristics of the soil where the tree is developing. It is important to recognize the response of urban tree species that promote damages, especially in such conditions as in Mexico City, where different kind of planting holes and species are used. The purpose of this study was to determine the damages to sidewalks and curbs produced by trees placed in street planting holes, using a random stratified sampling. Tree species were selected considering their frequency in the urban forest of Mexico City and 40 trees in three different planting holes categories of each species were sampled. The damage to the sidewalks and curbs was classified according to four types of damage. The percentage of trees in each species and planting hole size was analyzed. Tropical species like *Erythrina coralloides* and *Ficus elastica* were founded that caused more damage than temperate climate species like *Populus alba* or *Cupressus lindleyi*. Small planting holes presented more damages than big planting holes, notwithstanding the tree species. Size of the planting hole but also tree species are important factors that have a great influence in the damage caused to sidewalks and curbs.

**Key words:** Street trees, street planting holes, Mexico City, damages to sidewalk, urban forestry, urban tree species.

## INTRODUCCIÓN

El bosque urbano se conforma de los árboles, arbustos y vegetación herbácea asociada que se encuentra a lo largo de las banquetas de calles y avenidas (como arbolado de alineación); así como en los camellones, parques, jardines, cementerios, riberas o bordes de los ríos y arroyos que cruzan las ciudades, derechos de vía y otros espacios abiertos bajo la responsabilidad de los gobiernos municipales y tratándose del Distrito Federal, de los delegacionales (Benavides, 1989).

El arbolado de alineación es una parte importante de este tipo de bosque, pues suele ser un componente numeroso y la cobertura de sus copas proporciona una extensa cubierta vegetal, considerando además la limitada superficie que ocupan las áreas verdes en las ciudades de México. La presencia del arbolado de alineación impacta positivamente el ambiente de las ciudades y mejora las condiciones de vida de los ciudadanos, por lo que se le considera un componente importante de la infraestructura urbana verde (McPherson y Peper, 1996). Entre

los servicios ambientales y beneficios antropocéntricos derivados del arbolado de alineación destacan su uso estético y funcional, depuración de contaminantes atmosféricos como las partículas suspendidas totales, lo cual inclusive repercute en una mejor salud de los habitantes urbanos; así como la producción de oxígeno, regulación de la temperatura e incremento de la humedad relativa, sombra, protección al suelo y hábitat a la fauna (Jorgensen, 1970; Bernatzky, 1978; Jim, 1987; Benavides, 1989; McPherson, 1991; Simpson y McPherson, 1998).

El árbol dentro del ambiente urbano debe ser tratado mediante puntos de vista muy especiales. Por una parte es una unidad que los arquitectos paisajistas usan como elementos decorativos o funcionales en la realización de sus obras; mientras que para los biólogos, agrónomos y profesionistas afines, es un ser vivo que tiene que interactuar con el ambiente y la comunidad en donde se desarrolla. Las funciones vitales de la planta dan como resultado algunos de los beneficios que obtenemos del arbolado, pero también el origen de ciertos problemas como los derivados del crecimiento de su parte subterránea (Whitlow y Bassuk, 1988); por lo que lamentablemente es posible mencionar que el arbolado urbano no está exento de causar algunos daños y problemas a los habitantes o a la infraestructura urbana.

## El suelo en el desarrollo de los árboles

El cambio en la estructura de un suelo debido a factores físicos, principalmente mecánicos, se le conoce como compactación y ocurre cuando los conglomerados del suelo son fragmentados, lo que ocasiona la reducción de los poros que contienen aire o agua (Craul, 1992). La zona de crecimiento de la raíz es una parte muy delicada y sensible a la dureza de los suelos, pues si un suelo está demasiado compactado para que la penetración de la raíz sea posible, ésta detendrá su crecimiento o se desviará (Harris, 1992). Los árboles plantados en suelos poco compactados suelen tener buena aireación y desarrollar sistemas radicales adecuados y bien proporcionados (Douglas, 1984). Sin embargo, el suelo en los ambientes urbanos ha sufrido modificaciones debidas a los factores inherentes a los procesos de su formación y mantenimiento, así como a la actividad constante en las ciudades que promueve su compactación, como es el caso del tránsito peatonal y vehicular, la cimentación de calles y edificaciones y el peso de las mismas, por lo que una de las principales características del suelo en ambientes urbanos es su elevado nivel de compactación (Craul, 1992), lo que altera o modifica las condiciones de crecimiento de las plantas que se desarrollan en ese suelo, principalmente los árboles (Kopinga, 1991).

El suelo en la superficie siempre se encuentra menos compactado en relación con las partes más profundas, así que la gran compactación causada por las actividades y edificaciones típicas de las ciudades favorece la formación de

sistemas radicales superficiales que fácilmente dañan las banquetas. El problema se acentúa cuando se eligen especies tropicales, cuyo hábito de crecimiento es precisamente ese, la formación de un extenso y poco profundo sistema de raíces (Douglas, 1984).

## Daños materiales provocados por el arbolado urbano

Los sistemas radicales se extienden para explotar el agua y nutrientes del suelo, sin embargo, las raíces son muy sensibles a las condiciones del mismo, especialmente a la compactación, aireación, cantidad de nutrientes minerales y abasto de agua (Brennan *et al.*, 1985). Son varios los factores que intervienen en la forma en que la porción subterránea de la planta se desarrolla y como ésta provoca o no daños en las estructuras aledañas. Entre estos factores destacan el tamaño de la cepa, las características de la especie, el tipo y condición del suelo y la humedad del suelo (Wagar, 1983). El crecimiento de las raíces es variable y depende del tipo de especie, las condiciones del suelo, el estado de la cobertura y la irrigación a que están expuestas y es esencial para un sano desarrollo de las plantas. Sin embargo, las raíces también pueden causar problemas al romper y levantar banquetas, guarniciones, pavimentos y cimientos (Harris, 1992).

## Espacio para plantación

La cepa en las banquetas proporciona un espacio básico a la planta para su subsistencia, al permitir a la misma obtener agua y aire para que las raíces puedan mantener su actividad fisiológica; por lo que el espacio que se le proporcione a las mismas es de gran importancia para asegurar su mejor desarrollo. Con base en lo anterior, la cepa puede describirse como aquella excavación en el suelo cuya superficie está descubierta de asfalto o concreto y por la cual el arbolado de alineación obtiene agua y aire.

La plantación de especies de árboles que alcanzan grandes dimensiones en cepas pequeñas es un problema muy habitual en las ciudades de México y a menudo se observa en las banquetas, especímenes de grandes dimensiones establecidos en cepas diminutas (Figura 1), que ven limitado su desarrollo por las aceras, tuberías y ductos subterráneos, así como con edificios y casas o bardas aledañas. Lo anterior es agravado por la utilización de especies de climas tropicales y subtropicales, como es el caso de *Ficus elastica* Roxb. ex Hornem, *Erythrina coralloides* D.C., *Jacaranda mimosifolia* D. Don y *Casuarina equisetifolia* L. ex J. R. & G. Forst, que en muchas ocasiones presentan gruesos troncos, vigorosas raíces superficiales y grandes contrafuertes, necesarios para sostener las amplias y pesadas copas que los hacen atractivos para la gente que los planta y que frecuentemente no toman en cuenta las características del árbol a futuro (Douglas, 1984; Benavides, 1990). Gran parte de este problema obedece a la nula

selección de las especies al sitio de plantación por parte de las dependencias encargadas de la reforestación urbana, quienes no respetan el principio básico de la arboricultura urbana de que debe ubicarse la especie adecuada al sitio de plantación, lo que ha ocasionado que los daños a la infraestructura urbana en las ciudades de la República Mexicana sean muy recurrentes.



Figura 1. Árboles de gran porte que frecuentemente son mal ubicados en las banquetas de calles y avenidas de la Ciudad de México.

### Impacto económico de los daños a banquetas

Lamentablemente no existe información para las ciudades de México con respecto al costo que implica la reparación de banquetas de calles y avenidas. Sin embargo, en las ciudades de los Estados Unidos de América, los costos por reparación de calles debido a los daños relacionados con el arbolado urbano son

estimados en aproximadamente \$27,000 dólares anuales en promedio por ciudad y esta cantidad puede llegar a sumar más de \$200,000 dólares en algunos casos (Douglas, 1984). En el Estado de California se han llegado a gastar más de 7 millones de dólares en reparaciones de banquetas y obras públicas dañadas (Dodge, 2000). Asimismo, McPherson (2000) reportó con base en un sondeo que hizo en 18 ciudades de ese estado, un gasto de 6.6 millones de dólares de los EUA para la reparación de problemas en banquetas originados por los árboles. Lo anterior pone de manifiesto que se deben considerar seriamente los costos de una plantación mal planeada o negligente.

Pese a lo evidente del problema, es sorprendente la falta de trabajos en nuestro país encaminados a conocer las especies que provocan mayores daños en ambientes urbanos (Benavides, 1990). El vacío en la documentación de esta problemática es lo que motivó la realización del presente trabajo, que tuvo como objetivo la caracterización y cuantificación de los daños producidos a banquetas por las especies de árboles más utilizados en el arbolado de alineación de la Ciudad de México, así como identificar aquellas especies que provocan mayores problemas en las banquetas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La evaluación de los daños provocados a las banquetas se realizó en calles de varias colonias ubicadas en la Delegación Coyoacán, Distrito Federal, México, dentro de la zona que presenta suelos arcillosos de tipo Feozem Háptico de acuerdo con la carta E-14-A-39 de la CETENAL (1977). Este tipo de suelo es el más común dentro del área urbana de la Ciudad de México y corresponde en su gran mayoría con los antiguos lechos de los lagos que formaban esta cuenca endorreica. Con el fin de tener resultados representativos de esta condición no se consideró en el estudio el área dentro de la zona del antiguo derrame volcánico del Xitle, que se conoce en términos generales como zona de pedregales, es decir, sólo se muestrearon colonias en donde se tenía la certeza que el litosol volcánico no se presentara a nivel superficial.

Para la elección de los árboles que conformaron la muestra se usaron los siguientes criterios:

- a) Plantas con un diámetro normal superior a 10 cm y altura de dos m.
- b) Individuos plantados en cepas ubicadas en la banqueta, las cuales se clasificaron de acuerdo con la superficie descubierta en el concreto (Cuadro 1).
- c) Árboles de las especies más frecuentemente presentes en la Ciudad de México (Cuadro 2), de acuerdo con la información generada en diferentes estudios realizados previamente en el Subprograma de Investigación de Dasonomía Urbana del INIFAP (Benavides y Segura, 1996).

Con base en los anteriores criterios se realizaron recorridos a pie por diferentes calles de la delegación, en los que se tomaron al azar los datos de 40 árboles de cada especie en cada tamaño de cepa definido. Por lo tanto el método de muestreo usado fue aleatorio estratificado, en el que se incluyeron 120 árboles por especie y el total, considerando todas las especies y tamaños de cepa fue de 1320 individuos.

Cuadro 1. Características de los tamaños de cepa definidos para llevar a cabo el muestreo en el arbolado de alineación en la Delegación Coyoacán.

Categoría	Área mínima (cm <sup>2</sup> )	Área máxima (cm <sup>2</sup> )	Largo x ancho mínimo (cm)	Largo x ancho máximo (cm)
Pequeña	1600	3600	40 x 40	60 x 60
Mediana	3601	6400	61 x 60	80 x 80
Grande	6400	16,900	81 x 80	120 x 120

## Evaluación de los daños a banquetas

Los daños provocados a banquetas fueron catalogados por medio de una escala ordinal, de acuerdo a los criterios que se describen en el Cuadro 3 para cada categoría y se ilustran en la Figura 2.

La elevación de las banquetas y/o separación de las guarniciones se midió con una regla, mientras que el diámetro de los troncos se determinó con cinta diamétrica (Forestry Suppliers) y la altura se estimó con una pistola Haga.

## RESULTADOS

Los daños a banquetas provocados por el arbolado de alineación es un problema que se encontró con frecuencia en la Delegación Coyoacán, pues el 71.8% del total de los árboles muestreados, sin considerar el tamaño de cepa en el que estuvieran establecidos, habían provocando algún tipo de daño. Asimismo, en las siguientes especies se observaron los mayores porcentajes de árboles que produjeron algún tipo de daño: *Jacaranda mimosifolia* (98.33%), *Erythrina coralloides* (90.83%), *Ficus elastica* (86.33%) y *Casuarina equisetifolia* (85.84%), (Figura 3). No obstante lo anterior, la respuesta de las especies difiere en relación al tamaño de la cepa en que se encuentren ubicados.

Cuadro 2. Especies arbóreas muestreados en la delegación Coyoacán y sus nombres comunes.

Especie	Clave	Nombre común
<i>Casuarina equisetifolia</i> L. ex J.R. & G. Forst	Ce	casuarina
<i>Cupressus lindleyi</i> Klotch	Cl	cedro blanco
<i>Erythrina coralloides</i> D.C.	Ec	colorin
<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnhardt	Eu	eucalipto
<i>Ficus elastica</i> Roxb. ex Hornem.	Fe	Hule
<i>Fraxinus uhdei</i> (Wenzing) Ling.	Fu	fresno
<i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don	Jm	jacaranda
<i>Ligustrum lucidum</i> Aiton	Ll	trueno
<i>Liquidambar styraciflua</i> L.	Ls	liquidámbar
<i>Populus alba</i> L.	Pa	álamo
<i>Ulmus parvifolia</i> Jacq.	Up	olmo chino

Cepas pequeñas.- En los árboles establecidos en cepas de menor superficie se encontró que en la mayoría de las especies se presentó un mayor número de individuos que produjeron algún tipo de daño a la banqueta, que aquellos que no lo provocaron. Es importante resaltar que el 100% de los ejemplares de *J. mimosifolia* ocasionaron algún daño; mientras que en *C. equisetifolia*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Ulmus parvifolia* y *F. elastica*, más del 70% de los árboles generaron daños a las banquetas. El caso contrario se presentó en *Populus alba* y *Cupressus lindleyi*, en las cuales fue mayor el porcentaje de ejemplares que no provocaron daños que los que sí lo indujeron (Figura 4).

En el Cuadro 4 se presentan los valores porcentuales obtenidos en cada especie de acuerdo a las diferentes categorías de daño a banquetas, en términos generales se observa que los mayores porcentajes de árboles que ocasionaron un daño a banquetas se encontraron en los tipos mínimo y regular, con la



Cuadro 3. Escala ordinal de los daños provocados a banquetas por el arbolado de alineación.

Categoría	Valor numérico	Características
Ninguno	0	Banqueta en buenas condiciones (no se encuentra levantada ni fracturada).
Mínimo	1	Banqueta con una elevación superficial (máximo de 3 cm del nivel original) y aparición de fisuras).
Regular	2	Banqueta con una elevación entre 3 y 6 cm y fisuras muy evidentes.
Severo	3	Banqueta con una elevación entre 6 y 10 cm, fragmentada y la guarnición comienza a separarse.
Muy severo	4	Banqueta elevada más de 10 cm y con fragmentos sueltos. La guarnición está muy separada o ya no se encuentra.

excepción de *E. coralloides*, en la cual se obtuvo un alto porcentaje de individuos en la categoría severa (Cuadro 4). El 50% de los individuos o más de las especies *C. equisetifolia*, *E. coralloides* y *J. mimosifolia*, provocaron daños de gran importancia a las banquetas, de acuerdo a la sumatoria de los porcentajes en los daños severo y muy severo y resalta el valor registrado en *Fraxinus uhdei* y *F. elastica*, pues cerca del 20% de los individuos muestreados ocasionaron este tipo de daños. Es conveniente mencionar que en las especies que se registraron los mayores valores de sumatoria de daño, presentaron asimismo los mayores diámetros promedio. Sin embargo en valores similares como es el caso de *F. uhdei* y *E. coralloides*, la sumatoria de daños 3 y 4 es muy diferente, pues en la primera llega a menos del 20% de los árboles, mientras que en la segunda alcanza al 70% de los individuos muestreados.

Cepas medianas.- En los árboles ubicados en este tipo de cepas se registró una respuesta similar a la obtenida en cepas pequeñas, pues en las *Populus alba* y *Cupressus lindleyi* se presentó un mayor porcentaje de árboles que no provocaron daños que de aquellos que produjeron alguno (Figura 5). En el caso de las especies *Casuarina equisetifolia*, *Erythrina coralloides*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Jacaranda mimosifolia* y *Ficus elastica*, nuevamente se encontró que un porcentaje muy considerable de árboles afectaron las aceras y guarniciones.

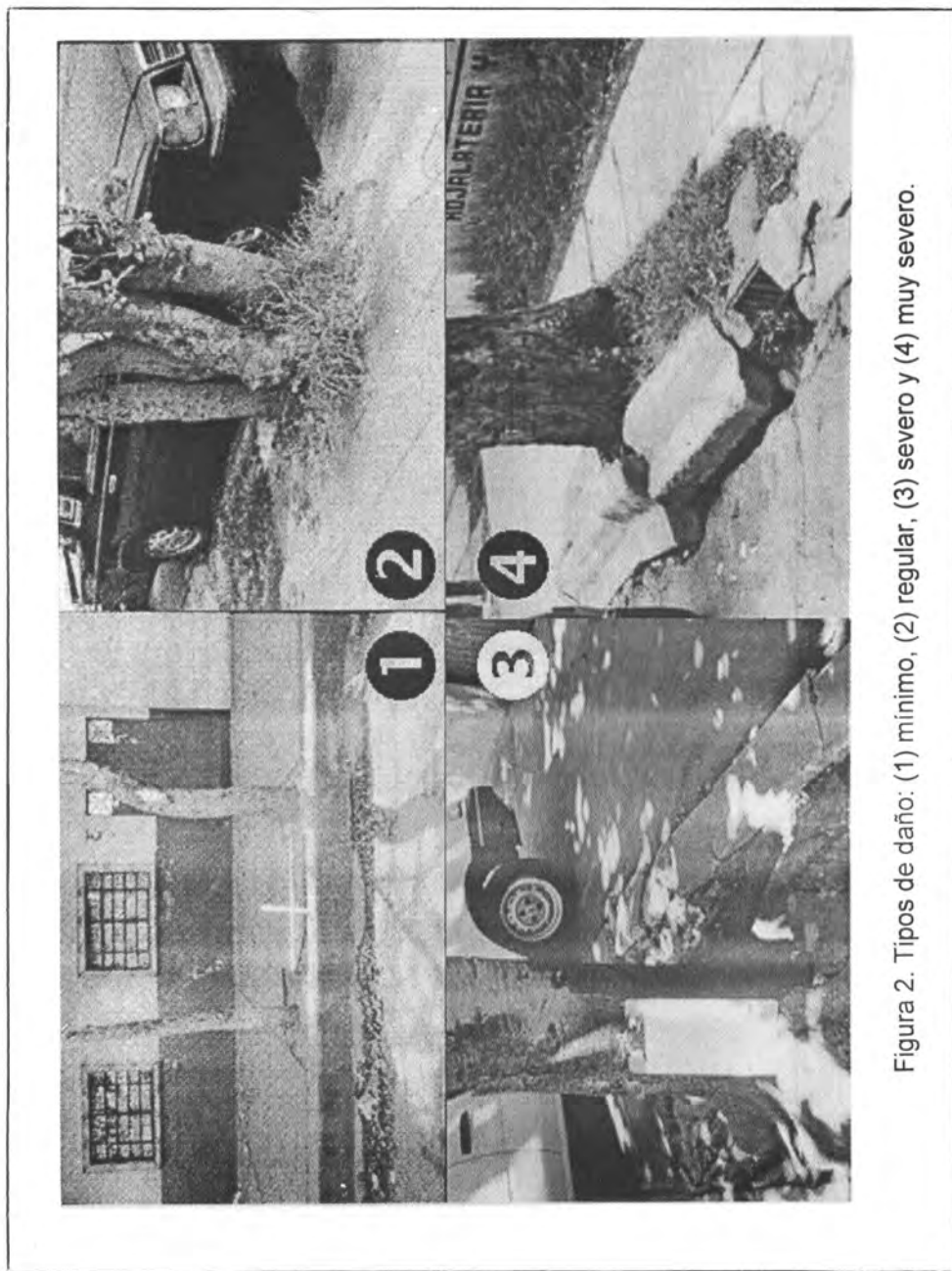


Figura 2. Tipos de daño: (1) mínimo, (2) regular, (3) severo y (4) muy severo.

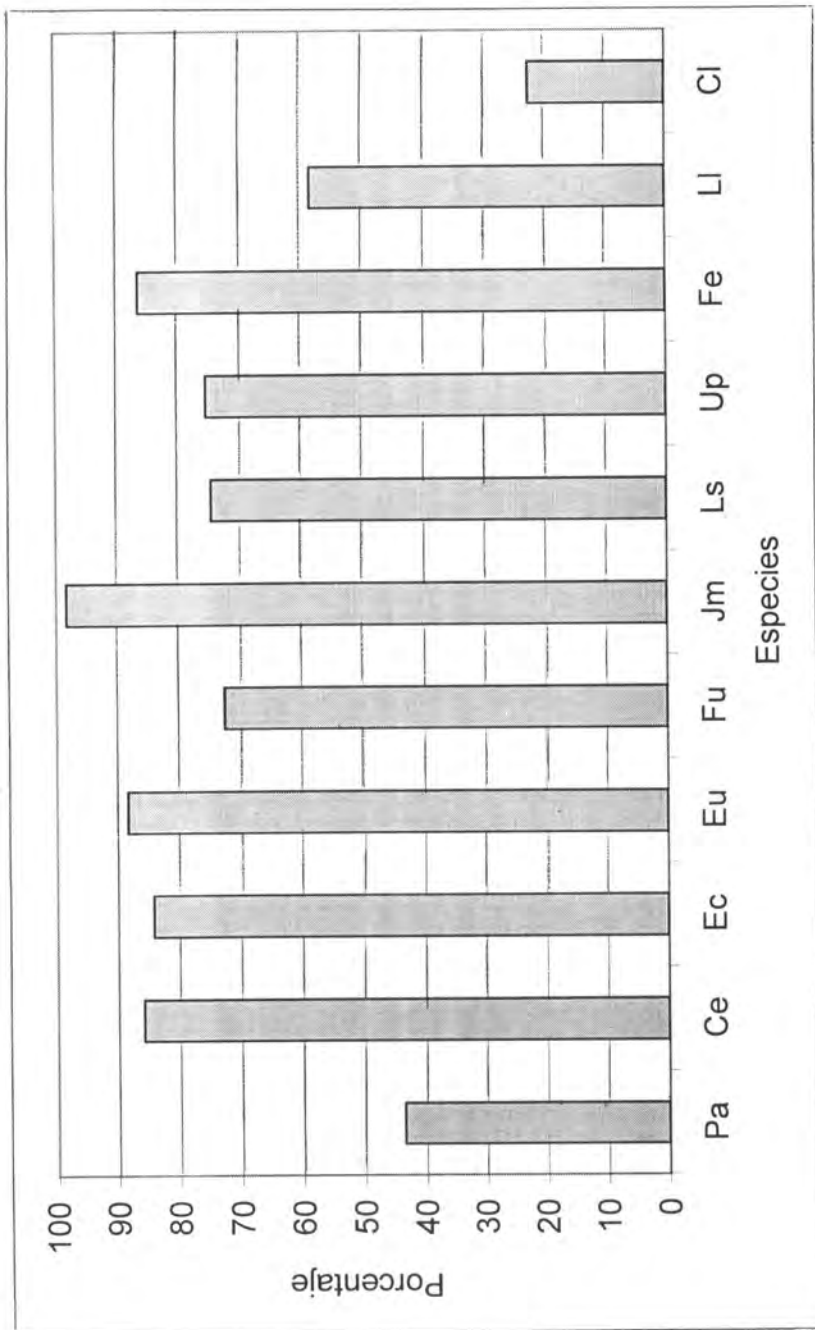


Figura 3. Frecuencia relativa de árboles por especie que provocaron algún tipo de daño a las banquetas, sin considerar el tamaño de cepa en que estaban ubicados.

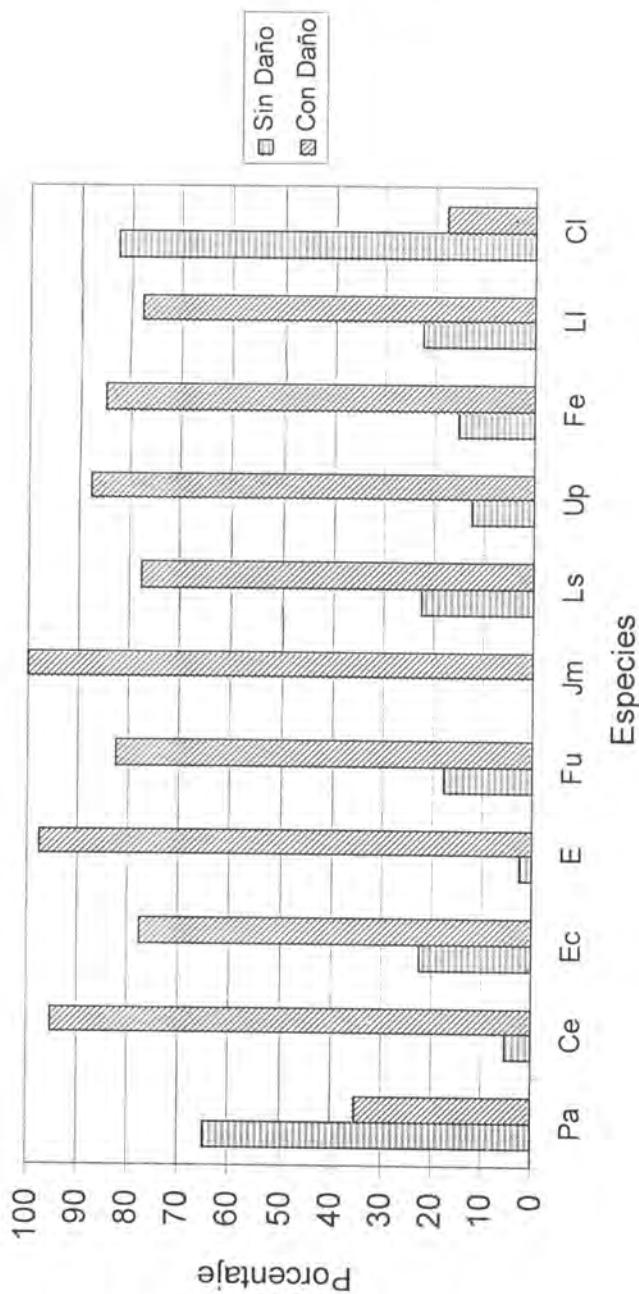


Figura 4. Frecuencia relativa de árboles por especie ubicados en cepas pequeñas que provocaron algún tipo de daño a banquetas.

Cuadro 4. Porcentaje de árboles en cada tipo de daño provocado a banquetas al estar ubicados en cepas pequeñas, así como la sumatoria de los porcentajes de daños severo y muy severo y los datos dendrométricos promedio por especie.

Especie	Daño muy severo (4)	Daño severo (3)	Daño regular (2)	Daño mínimo (1)	Sin daño (0)	Sumatoria de porcentajes daños 3 y 4	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (m)
<i>Casuarina equisetifolia</i>	32.5	12.5	37.5	12.5	5.0	45.0	38.79	10.71
<i>Cupressus lindleyi</i>	0.0	0.0	7.5	10.0	82.5	0.0	19.72	6.76
<i>Erythrina coralloides</i>	52.5	17.5	15.0	12.5	2.5	70.0	35.27	4.49
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	5.0	5.0	20.0	47.5	22.5	10.0	26.79	8.67
<i>Ficus elastica</i>	7.5	12.5	37.5	27.5	15.0	20.0	25.99	5.03
<i>Fraxinus uhdei</i>	7.5	10.0	42.5	22.5	17.5	17.5	32.08	6.84
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	27.5	22.5	42.5	7.5	0.0	50.0	39.87	6.69
<i>Ligustrum lucidum</i>	7.5	17.5	27.5	25.0	22.5	25.0	24.7	4.6
<i>Liquidambar styraciflua</i>	7.5	15.0	22.5	32.5	22.5	22.5	19.2	5.46
<i>Populus alba</i>	2.5	2.5	7.5	22.5	65.0	5.0	14.03	4.06
<i>Ulmus parvifolia</i>	5.0	7.5	32.5	42.5	12.5	12.5	20.67	6.03

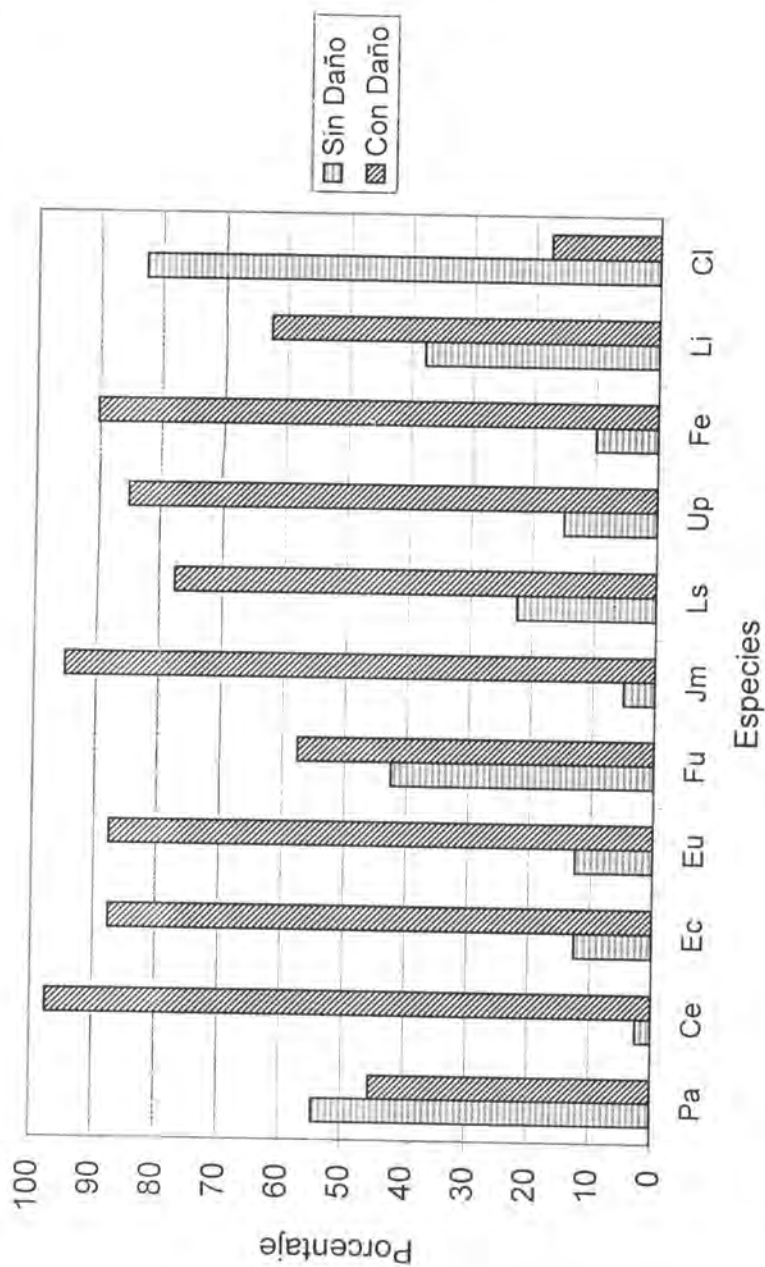


Figura 5. Frecuencia relativa de árboles por especie ubicados en cepas medianas, que provocaron algún tipo de daño a banquetas.

En el Cuadro 5 se observan los valores porcentuales por especie que se registraron en cada categoría de daño, entre las que destaca el alto valor porcentual de árboles de *C. lindleyi* (82.5%) que no provocaron daño. Sigue en importancia el porcentaje encontrado en *P. alba*, superior al 50%; mientras que en *Fraxinus uhdei* y *Ligustrum lucidum* se obtuvieron porcentajes relativamente elevados de árboles que no provocaron daño a banquetas y guarniciones (42.5% y 37.5% respectivamente).

Los menores porcentajes de individuos se encontraron en la categoría de daño severo en *P. alba*, *F. uhdei*, *L. lucidum*, *Liquidambar styraciflua* y *Ulmus parvifolia*, e incluso, en *C. lindleyi* no hubo individuo que ocasionaran este tipo de daño (Cuadro 5). En contraste, los mayores porcentajes de árboles causantes de daños graves se presentaron en *E. coralloides* y *J. mimosifolia*, si bien en esta última especie, el valor porcentual es igual al del daño regular.

Salvo las particularidades mencionadas anteriormente, los más altos porcentajes de árboles se encontraron en las categorías de daño regular y severo, aunque es importante resaltar que en las especies *F. uhdei*, *L. styraciflua*, *U. parvifolia* y *L. lucidum*, los porcentajes más elevados se registraron en la categoría de daño mínimo.

Lo anterior se ejemplifica mejor con los valores de sumatoria de los porcentajes de los daños severo y muy severo (Cuadro 5), pues los mayores valores se encontraron en *C. equisetifolia*, *E. coralloides*, *F. elastica* y *J. mimosifolia*, en las cuales el 50% o más de los individuos muestreados ocasionaron un daño importante a las banquetas y guarniciones y siguió en importancia *E. camaldulensis* que presentó un valor de 45%.

Al igual que en las cepas pequeñas, las especies que provocaron los mayores problemas de daños también presentaron los mayores diámetros promedio, aunque en el caso de *L. lucidum*, el diámetro es muy cercano al de *J. mimosifolia* o *F. elastica*, pero su distribución porcentual de árboles que indujeron daños es muy diferente, pues es mayor el número de árboles en categorías de daño menor en comparación con estas últimas especies (Cuadro 5).

Cepas grandes.- El porcentaje de árboles que provocaron daño al estar establecidos en cepas grandes se observa en el Cuadro 6. Nuevamente *Cupressus lindleyi* presentó un mayor porcentaje de individuos que no provocaron daño a las banquetas que aquellos que sí lo ocasionaron, respuesta que también se registró en *Ligustrum lucidum*.

En cuanto a los porcentajes encontrados en *Populus alba*, se registraron valores iguales de árboles que dañaron banquetas y guarniciones que de aquellos que no ocasionaron problemas (Figura 6), condición diferente a lo observado en los tamaños de cepa anteriores. En el resto de las especies fue mayor el valor

Cuadro 5. Porcentaje de árboles en cada tipo de daño provocado a banquetas al estar ubicados en cepas medianas, así como la sumatoria de los porcentajes de daños severo y muy severo y los datos dendrométricos promedio por especie.

Especie	Daño muy severo (4)	Daño severo (3)	Daño regular (2)	Daño mínimo (1)	Sin daño (0)	Sumatoria de porcentajes daños 3 y 4	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (m)
<i>Casuarina equisetifolia</i>	27.5	30.0	35.0	5.0	2.5	57.5	46.05	11.33
<i>Cupressus lindleyi</i>	0.0	2.5	5.0	10.0	82.5	2.5	23.14	6.16
<i>Erythrina coralloides</i>	35.0	22.5	20.0	10.0	12.5	57.5	38.18	4.19
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	27.5	17.5	22.5	20.0	12.5	45.0	38.31	13.36
<i>Ficus elastica</i>	27.5	22.5	20.0	20.0	10.0	50.0	30.07	5.72
<i>Fraxinus uhdei</i>	5.0	15.0	15.0	22.5	42.5	20.0	21.06	6.21
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	32.5	22.5	32.5	7.5	5.0	55.0	30.81	7.37
<i>Ligustrum lucidum</i>	5.0	0.0	17.5	40.0	37.5	5.0	27.49	5.06
<i>Liquidambar styraciflua</i>	5.0	20.0	25.0	27.5	22.5	25.0	20.26	5.45
<i>Populus alba</i>	4.5	4.5	22.5	13.5	54.5	9.0	18.63	4.75
<i>Ulmus parvifolia</i>	5.0	12.5	25.0	42.5	15.5	17.5	21.09	5.97



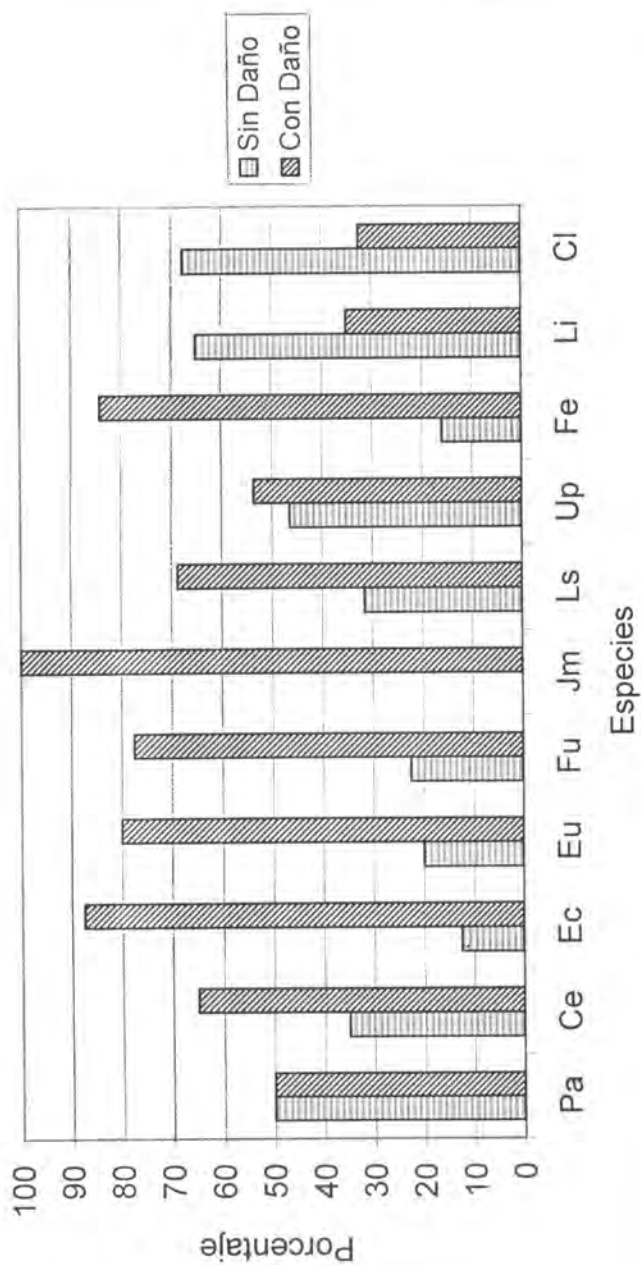


Figura 6. Frecuencia relativa de árboles por especie ubicados en cepas grandes que provocaron algún tipo de daño a banquetas.

porcentual de árboles que afectaban las banquetas que de aquellos que no lo hacían, entre las que resalta *Jacaranda mimosifolia* ya que el 100% de los individuos provocaron algún tipo de daño, no obstante el mayor espacio proporcionado por las cepas (Figura 6).

Se encontró una respuesta diferente entre las especies en las distintas categorías de daño (Cuadro 6), pues en *Casuarina equisetifolia*, *Erythrina coralloides*, *Ficus elastica* y *J. mimosifolia*, los mayores porcentajes de daño se presentaron en la categoría de daño severo; en *Eucalyptus camaldulensis* los mayores porcentajes se registraron en los tipos severo y regular, mientras que en *Ligustrum lucidum*, *Liquidambar styraciflua* y *Ulmus parvifolia*, los mayores porcentajes se encontraron en los daños regular y mínimo.

Es importante resaltar que los valores por tipo de daño registrados en los tamaños de cepa mediana y chica difieren con los resultados observados en las cepas grandes, pues en éstas los porcentajes de daño fueron mayores en las categorías de afectación mínima y regular y algo menores en los tipos de daño severo y muy severo. Lo anterior se ejemplifica con la sumatoria de los porcentajes de estas últimas categorías de daño (Cuadro 6), pues *J. mimosifolia* y *F. elastica* presentaron valores porcentuales elevados del 70 y 56% respectivamente, mientras que en *E. coralloides* y *E. camaldulensis* se registraron valores de 42.5 y 32.5% y en *C. equisetifolia* disminuyó a 30%, mientras que en el resto de las especies fue inferior a 20%. Resaltan en este tamaño de cepa los bajos valores de sumatoria encontrados en *C. lindleyi* y *L. lucidum*, pues un número menor al 10% de los individuos muestreados ocasionó un daño considerable a las banquetas (Cuadro 6).

En las especies que presentaron los mayores valores de sumatoria de porcentajes en las categorías de daño 3 y 4, también registraron los diámetros promedio más elevados. Resalta sin embargo la respuesta encontrada en *C. equisetifolia*, que no obstante presentar un diámetro promedio similar al de *E. coralloides* o *J. mimosifolia*, se observó que el mayor porcentaje de individuos se registró en la categoría de sin daño y la sumatoria de daños 3 y 4 fue de 30%, mientras que en las otras dos especies mencionadas, se registraron valores superiores a 40 y 70% respectivamente. También es importante comentar la respuesta encontrada en *C. lindleyi* y *L. lucidum*, pues no obstante haberse registrado un diámetro promedio superior a 35 cm (Cuadro 6), el mayor número de árboles no ocasionó daños a la banqueta y la sumatoria de daños severos y muy severos fue de 2.5 y 7.5% respectivamente.

## DISCUSIÓN

Las especies con mayores diámetros promedio presentaron los más altos valores de sumatoria de los daños severo y muy severo, lo cual es lógico suponer ya que conforme se incrementa la dimensión del arbolado se aumenta la posibilidad de generar daños. Lo anterior se ejemplifica con los datos registrados en los

Cuadro 6. Porcentaje de árboles en cada tipo de daño provocado a banquetas al estar ubicados en cepas grandes, así como la sumatoria de los porcentajes de daños severo y muy severo y los datos dendrométricos promedio por especie.

Especie	Daño muy severo (4)	Daño severo (3)	Daño regular (2)	Daño mínimo (1)	Sin daño (0)	Sumatoria de porcentajes daños 3 y 4	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (m)
<i>Casuarina equisetifolia</i>	25.0	5.0	25.0	10.0	35.0	30.0	40.76	10.11
<i>Cupressus lindleyi</i>	0.0	2.5	12.5	17.5	67.5	2.5	37.34	9.35
<i>Erythrina coralloides</i>	32.5	10.0	30.0	15.0	12.5	42.5	41.20	5.87
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	5.0	27.5	27.5	20.0	20.0	32.5	50.87	12.78
<i>Ficus elastica</i>	28.0	28.0	16.0	12.0	16.0	56.0	31.73	6.50
<i>Fraxinus uhdei</i>	17.5	17.5	25.0	17.5	22.5	35.0	54.28	12.44
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	42.5	27.5	25.0	5.0	0.0	70.0	36.04	9.05
<i>Ligustrum lucidum</i>	2.5	5.0	5.0	22.5	65.0	7.5	36.96	4.88
<i>Liquidambar styraciflua</i>	10.5	5.5	31.5	21.5	31.5	16.0	22.57	5.50
<i>Populus alba</i>	0.0	16.5	16.5	16.5	50.0	16.5	22.75	4.58
<i>Ulmus parvifolia</i>	7.5	3.5	25.0	17.5	46.5	11.0	30.71	6.29

árboles de *Jacaranda mimosifolia*, *Casuarina equisetifolia* y *Erythrina coralloides* muestreados en cepas pequeñas, pues los mayores diámetros se registraron en éstas y también presentaron los más elevados porcentajes de daño en las categorías severo y muy severo; así como los valores de sumatoria más altos.

En las cepas medianas se observó una respuesta similar, aunque en este tipo de ubicación se encontraron los mayores porcentajes en el tipo de daño severo en *E. coralloides*, *Eucalyptus camaldulensis* y *Ficus elastica*, en las que se registraron diámetros superiores al resto de las especies, con excepción de *J. mimosifolia* y *C. equisetifolia*, que no obstante presentaron diámetros considerables, el valor más frecuente de daño fue regular en ambos casos.

En las cepas grandes los mayores porcentajes de individuos en todas las especies tienden a presentarse en valores de daño menores, no obstante que los diámetros fueron mayores, con la excepción de *E. coralloides*. Lo anterior ejemplifica la influencia considerable del diámetro del tronco, como lo muestran los cuadros 4, 5 y 6, en los cuales se observa que las especies que presentaron mayores diámetros, se registraron por lo regular valores de sumatoria más elevados de daños severo y muy severo.

El espacio limitado influye considerablemente en el inicio del conflicto que se presenta entre las raíces del árbol y las banquetas (Barker, 1983). Lo anterior resalta la importancia de que los sistemas radicales de los árboles cuenten con un espacio adecuado, que redunde en una disminución en los daños a la banqueta. En algunas especies el porcentaje de árboles que causan daños de regulares a severos tiende a disminuir, conforme se incrementa el lugar disponible para las raíces y el árbol mismo, debido a que éstas tendrán una superficie mayor para explorar aunado a que se incrementa la posibilidad de infiltración de oxígeno y agua al suelo, factores fundamentales para el desarrollo de las raíces (Craul, 1992).

Wagar y Barker (1983) reportan una estrecha correlación entre el tamaño de los árboles y los problemas que se generan a las banquetas y guarniciones, pues registraron que los árboles de mayor tamaño causaban los daños más considerables en comparación con los árboles de tamaño pequeño y gran parte de esta respuesta se asociaba estrechamente con el diámetro de los mismos.

De igual manera el tamaño de la cepa en el que fueron plantados los árboles influye considerablemente y los datos registrados en *Ligustrum lucidum* ejemplifican esta situación pues el valor de sumatoria de porcentajes de árboles que ocasionaron daños de tipo severo y muy severo pasó de 25.0% en cepas chicas, a 7.5% en cepas grandes. Situación similar se encontró en *Ulmus parvifolia* que disminuyó de 12.5 a 11% e incluso en *E. coralloides*, que descendió de 70.0 a 42.5%.

No obstante el tamaño de la cepa, la especie plantada en ellas y el hábito de crecimiento de sus raíces será un factor importante en el levantamiento y rompimiento de las banquetas. Las especies que permiten fundamentar lo anterior son *J. mimosifolia*, *F. elastica*, *E. coralloides* y *C. equisetifolia*, pues en los árboles plantados en cepas grandes se registraron valores de sumatoria de daños tipo severo y muy severo de 70, 56, 42.5 y 30% respectivamente.

En las especies provenientes de selvas bajas y medianas se registraron los mayores porcentajes de daños severos y muy severos, como lo muestran los resultados registrados en *Erythrina coralloides*, *Jacaranda mimosifolia* y *Ficus elastica*. La primera es nativa de la selva baja caducifolia del centro de México, en donde se presentan suelos pobres, pedregosos y de una estacionalidad climática muy marcada, pues la época de estiaje está claramente definida (Rzedowski, 1978). Lo anterior explica la necesidad de esta especie a desarrollar sistemas radicales superficiales para captar lo más rápido posible los nutrientes y agua del suelo. *J. mimosifolia* es originaria de las zonas secas tropicales de América del Sur, específicamente del sur de Brasil, noreste de Argentina y norte de Uruguay (Kunkel, 1978), lo que permite suponer condiciones similares de desarrollo como las reportadas para *E. coralloides*. *F. elastica* es nativa de las áreas tropicales del norte de India, en donde puede alcanzar hasta 60 m de altura (Kunkel, 1978) y sus características morfológicas (contrafuertes y raíces adventicias), hacen suponer que provenga de zonas selváticas donde los suelos frecuentemente son delgados y pobres desde el punto de vista nutricional y por lo mismo, las raíces tienden a ser superficiales para capturar lo más rápido posible los nutrientes (Wilde, 1958).

*Casuarina equisetifolia* proviene de zonas tropicales costeras de Australia con suelos arenosos y presenta raíces laterales extensas y superficiales (Maino y Howard, 1955; Kunkel, 1978; Pennington y Sarukhan, 1998, Parrota 2004); lo que permite explicar el hábito de crecimiento de las raíces de esta especie en la Ciudad de México, pues en la zona de estudio se presentan suelos tipo Feozem Háptico (CETENAL, 1977), que al ser arcillosos, dificultan la infiltración de agua y oxígeno a las capas subyacentes. En los suelos arenosos estos factores vitales para las plantas no están tan limitados y suelen alcanzar mayores profundidades (Craul, 1992). *C. equisetifolia* también tiene una tendencia muy fuerte a la reproducción vegetativa por medio de la emisión de vástagos a partir de la parte baja del tronco (Parrota, 2004) lo que favorece la aparición de fustes competidores dotados de sistemas radicales propios, aunque esta situación no fue observada en el arbolado muestreado. Situación similar ocurre con *Eucalyptus camaldulensis*, ya que si bien es conocido que esta especie tiene una gran rusticidad, rápido crecimiento y plasticidad para adaptarse a diferentes condiciones, comúnmente no se le planta en terrenos de escasa consistencia ya que carece de un sistema radical profundo (Mangieri y Dimitri, 1961). Una publicación de la FAO (1981) menciona que las especies de este género no

deben ser plantados en lugares cercanos a los cimientos de las casas por lo vigoroso de sus raíces. Por lo anterior, las raíces superficiales de esta especie la hacen proclive a levantar banquetas, guarniciones y aún más lamentable en condiciones urbanas, su caída por los altos fustes y amplias copas que desarrollan, lo que puede provocar serios problemas al estar ubicada en lugares donde no debieron ser plantados este tipo de árboles.

Lo anterior no implica que las especies de clima templado no provoquen daños a las aceras y guarniciones, pues se llegó a encontrar estos problemas en los árboles muestrados de *Fraxinus uhdei*, *Liquidambar styraciflua*, *Ulmus parvifolia* y *Ligustrum lucidum*, aunque presentaron menores valores de sumatoria de daños tipo severo y muy severo, no obstante se registraran diámetros promedio considerables. En este aspecto cabe destacar la respuesta registrada en los árboles de *Cupressus lindleyi* ubicados en cepas grandes, ya que un número elevado de éstos no provocaron daños de importancia a las banquetas y la sumatoria de porcentajes de daños tipo severo y muy severo fue de 2.5%; mientras que en los árboles de *F. uhdei* se registró en las cepas grandes un valor de sumatoria de daños severos y muy severos de 35%, aunque el valor promedio de diámetro (54.28 cm) fue el más elevado de todas las especies (Cuadro 6).

La variación entre especies con respecto a daño a banquetas también fue comparado en California por Wagar y Barker (1983), en donde *Liquidambar styraciflua* fue catalogada como la especie que ocasionaba los mayores desplazamientos a las banquetas y guarniciones, mientras que en *Prunus* spp. se registraron los menores porcentajes de árboles que ocasionaron un daño. En este estudio la respuesta de *L. styraciflua* fue intermedia en cuanto a los daños provocados, lo cual puede estar relacionado a que ha sido utilizada recientemente en forma considerable y las dimensiones que alcanzan estos árboles no han propiciado aún la afectación de las estructuras urbanas y seguramente se presentará en forma más notoria en un futuro.

Un aspecto de interés que debe ser considerado en trabajos posteriores se relaciona con las características y condiciones del suelo en donde se desarrollan los árboles. En este trabajo no fue posible llevar a cabo lo anterior, principalmente por la imposibilidad física de obtener muestras de las cepas, debido a que las raíces de los árboles ocupaban gran parte de las mismas, lo que habría ocasionado un daño al intentar dicho muestreo. Es posible suponer que todos los individuos se encontraban en condiciones similares de suelo, pues el muestreo se realizó en colonias cercanas dentro de la Delegación Coyoacán y nunca se intervino en la zona donde el pedregal es superficial; sin embargo, es conveniente tomar en cuenta lo que menciona Craul (1992), en cuanto a la gran variabilidad de suelos que se encuentran en las zonas urbanas debido a los procesos de cimentación, pavimentación así como de construcción de viviendas y banquetas, que

frecuentemente recurren al relleno con material ajeno a la zona con el fin de mejorar el sitio desde el punto de vista de la ingeniería. De igual manera, será conveniente en el futuro, evaluar las condiciones de compactación del suelo, pues en este caso no fue posible determinar esa condición, pero sin embargo, al tratarse de árboles en banquetas los niveles de compactación deben ser considerables.

Este trabajo permite documentar para la Ciudad de México uno de los criterios básicos de la dasonomía urbana, en cuanto a la importancia de la selección de la especie al sitio de plantación y para lo cual es necesario que se conozcan las características y hábitos de crecimiento de las especies. De igual manera, el tamaño de la cepa disponible es fundamental para la selección de la especie, con el fin de reducir la posibilidad de daños o molestias que provoque el arbolado en el futuro a los habitantes o la infraestructura urbana.

## CONCLUSIONES

El tamaño de la cepa y por ende el espacio disponible para el desarrollo de las raíces, es fundamental para disminuir el daño ocasionado por el arbolado de alineación a las banquetas y guarniciones. Por esta razón, las cepas pequeñas deberán evitarse en las banquetas de las ciudades o en su defecto, plantar en las mismas preferentemente arbustos o árboles de bajo porte.

El hábito de crecimiento de las raíces en la especie influye considerablemente en el daño a las banquetas, por lo que las especies con raíces superficiales como *Casuarina equisetifolia*, *Erythrina coralloides*, *Jacaranda mimosifolia* y *Ficus elastica*, no deberán ser plantadas en cepas pequeñas y medianas, es decir, con una superficie menor a 6,400 cm<sup>2</sup>. Incluso, estas especies es preferible no utilizarlas como arbolado de alineación en banquetas o camellones angostos, pues aun cuando son plantadas en cepas grandes, llegan a provocar daños a las aceras en forma considerable.

Especies altamente recomendables para ser utilizadas en las banquetas son *Cupressus lindleyi* y *Ligustrum lucidum*, ya que presentaron bajos porcentajes de daños a las mismas. Los resultados de este trabajo muestran que la primera especie es idónea para cepas pequeñas, aunque habrá de considerarse el espacio disponible en la parte aérea, ya que estos árboles alcanzan altos portes aunque son tolerantes a la poda en su etapa juvenil.

## REFERENCIAS

- Barker. P. A. 1983. Some urban trees of California: Maintenance problems and genetic improvement possibilities. In: Proceedings of the 4<sup>th</sup> Biennial Conference of the Metropolitan Tree Improvement Alliance. pp. 47-54.

- Benavides, M., H. M. 1989. Bosque urbano: la importancia de su investigación y correcto manejo. *In: Memoria del Congreso Forestal Mexicano 1989. Tomo II. Toluca, Estado de México, 19 al 22 de julio de 1989. Gobierno del Estado de México y Academia Nacional de Ciencias Forestales, A. C. pp. 966-992.*
- Benavides, M., H. M. 1990. Relación entre el tamaño de la cepa y los daños provocados a banquetas por árboles urbanos. *In: Memoria de la Segunda Reunión Científica Forestal y Agropecuaria del CIFAP-D.F. INIFAP, Coyoacán, D.F. pp. 46-48.*
- Benavides, M., H. M. y C. Segura B. 1996. Situación del arbolado de alineación de la Ciudad de México: Delegaciones Iztacalco e Iztapalapa, Distrito Federal. *Revista Ciencia Forestal en México* 21 (79): 121-164.
- Bernatzky, A. 1978. *Tree ecology and preservation.* Elsevier Scientific Publishing Cny. New York, U.S.A. 357 p.
- Brennan, G., D. Patch and F. R. W. Stevens. 1985. Tree roots and underground pipes. *Arboriculture Research Note* 36-85. Arboricultural Advisory & Information Officer. Forestry Commission Research Station Alice Holt Lodge. Farnham, Surrey. 2 p.
- Comisión para el Estudio del Territorio Nacional (CETENAL). 1977. Carta Edafológica de los Estados Unidos Mexicanos E-14-A-39. Secretaría de Programación y Presupuesto. México, D.F.
- Craul, P. J. 1992. *Urban soil in landscape design.* John Wiley & Sons, Inc. New York, U.S.A. 396 p.
- Dodge, L. 2000. Tree root and urban Infrastructure conflicts: Symposium Sets Research and Education Goals. *Growing Points* 4 (2-3):1-12.
- Douglas, H. 1984. Sidewalk/curb-breaking tree roots. 1-Why tree roots cause pavement problems. *Arboricultural Journal* 8: 37-44.
- FAO. 1981. *El eucalipto en la repoblación forestal.* Colección FAO: Montes No. 11. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 723 p.
- Harris, R.W. 1992. *Arboriculture: Integrated management of landscape trees, shrubs, and vines.* Prentice Hall, New Jersey. 2<sup>nd</sup> ed. pp. 503-510.
- Jim, C.Y. 1987. Urban trees in Honk Kong-benefits and constrains. *Arboricultural Journal* 11: 145-164.
- Jorgensen, E. 1970. *Urban forestry in Canada.* The Shade Tree Research Laboratory. Faculty of Forestry, University of Toronto. 15 p.
- Kopinga, J. 1991. The effect of restricted volumes of soil on the growth and development of street trees. *Journal of Arboriculture* 17: 57-63.
- Kunkel, G. 1978. *Flowering trees in subtropical gardens.* Dr. W. Junk b.v., Publishers. The Hague. 346 p.
- Maino, E. and F. Howard. 1955. *Ornamental trees: an illustrated guide to their selection and care.* University of California Press. Berkeley, CA. U.S.A. 219 p.



- Mangieri, H. R. y M. J. Dimitri. 1961. Los eucaliptos en la silvicultura. Editorial ACME, S. A. de C. I. Buenos Aires, Argentina. 226 p.
- McPherson, E. G. 1991. Cooling urban heat islands with sustainable landscapes. Drachman Institute Working Paper 91-10. Sustainable Cities Symposium. October 4-6, 1990. Chicago, ILL., U.S.A. 16 p.
- McPherson, E. G. 2000. Expenditures associated with conflicts between street tree root growth and hardscape in California. *Journal of Arboriculture* 26: 289-297.
- McPherson, E. G. and P. P. Peper. 1996. Cost of street tree damage to infrastructure. *Arboricultural Journal* 20: 143-160.
- Parrota, J. A. 2004. Bioecología de árboles nativos y exóticos de Puerto Rico y las Indias Occidentales. <http://www.fs.fed.us/global/iitf/Casuarinaequisetifolia.pdf>. (23 de junio de 2004).
- Pennington, T. D. y Sarukán, J. 1998. Árboles tropicales de México. U.N.A.M. y Fondo de Cultura Económica. México, D.F. 521 p.
- Rzedowski, J. 1978. La vegetación de México, Editorial Limusa. México, D. F. 432 p.
- Simpson, J. R. and E. G. McPherson. 1998. Simulation of tree shade impacts on residential energy use for space conditioning in Sacramento. *Atmospheric Environment* 32 (1): 69-74.
- Wagar, J. and P. Barker. 1983. Tree root damage to sidewalks and curbs. *Journal of Arboriculture* 9 (7): 177-181.
- Whitlow, T. and N. Bassuk. 1988. Ecophysiology of urban trees and their management-The North American Experience. *HortScience* 23 (3): 542-546.
- Wilde, S. 1958. *Forest Soils*. Ronald Press, New York, NY, U.S.A. pp. 133-138.

# EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE PLANTA DE *Pinus engelmannii* Carr. EN VIVERO

José Ángel Prieto Ruíz<sup>1</sup>, Pedro Antonio Domínguez Calleros<sup>2</sup>, Eladio H. Cornejo Oviedo<sup>3</sup>, José de Jesús Návar Chaidez<sup>4</sup>, Javier Jiménez Pérez<sup>4</sup>, José G. Marmolejo Moncivais<sup>4</sup>

## RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de siete rutinas de fertilización y un testigo en la supervivencia, crecimiento y asimilación de nutrimentos en planta de *Pinus engelmannii* en vivero. Las rutinas de fertilización se aplicaron en cada fase de crecimiento de las plantas: establecimiento, crecimiento rápido y preacondicionamiento. El efecto del testigo y de las rutinas de fertilización se evaluó con un control y con los fertilizantes comerciales Multicote™ y Peters Professional™, empleados en forma separada y combinada. El Multicote™ se utilizó en dosis fija de 5 kg m<sup>-3</sup> de sustrato. Peters Professional™ se aplicó en tres rutinas de fertilización con diferentes proporciones de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), con dosis que variaron en cada fase de crecimiento. Después de cinco meses y medio de crecimiento de las plantas, los resultados más sobresalientes se obtuvieron cuando se fertilizó con Peters Professional™ en la rutina con las dosis 50:125:101, 100:15-79 y 40:109:290 ppm de N-P-K, respectivamente, aplicadas en las tres fases de crecimiento; así como la combinación de Multicote™ y Peters Professional™ en las tres rutinas de fertilización evaluadas. El testigo produjo la planta de menor calidad. La asimilación de nutrimentos fue apropiada para la mayoría de los tratamientos, excepto para el testigo y el Multicote™ adicionado solo. Con base en los resultados de este estudio, se recomienda utilizar Peters Professional™ en la rutina señalada anteriormente debido a que implica aplicar menos fertilizante.

**Palabras clave:** Fases de crecimiento, nutrimentos, *Pinus engelmannii*, planta objetivo, rutinas de fertilización, vivero.

Fecha de recepción: 03 de junio de 2004.

Fecha de aceptación: 19 de noviembre de 2004.

<sup>1</sup> Campo Experimental Valle del Guadiana. C.I.R. Norte Centro, INIFAP. Durango, Dgo. Correo-e: jprietoviv@yahoo.com

<sup>2</sup> Instituto de Ecología, A.C. Unidad Durango. Durango, Dgo.

<sup>3</sup> Departamento Forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coah.

<sup>4</sup> Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares, N. L.

## ABSTRACT

The objective of this study was to assess the effect of seven fertilizer combinations and one control on the survival, growth and nutrient assimilation of seedlings of *Pinus engelmannii* Carr., grown in nursery conditions. The seven fertilizer combinations were applied at each seedling growth phase: establishment, fast growth and preconditioning. A control and two commercial fertilizers were used to test for fertilization effect. Multicote™ and Peters Professional™, single and combined, were applied. Multicote™ was used at doses of 5 kg m<sup>-3</sup>. Peters Professional™ was applied at three fertilization routines with different nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) doses accordingly to each seedling growth phase. After five and half months, it was found that the best results corresponded to the Peters Professional™ at doses of 50:125:101, 100:15:79 and 40:109:290 N-P-K ppm, respectively, applied at each seedling growth phases and the combination of Multicote™ and Peters Professional™ applied at three fertilization routines. The control had the poorest seedling quality. Nutrient assimilation was appropriate for most of the treatments except for the control and Multicote™ applied separated. Base on the results Peters Professional™ is recommended, because less fertilization is applied.

**Key words:** Growth phases, nutrients, *Pinus engelmannii*, target seedling, fertilization routines, nursery.

## INTRODUCCIÓN

La calidad de la planta es importante debido a que tiene relación directa con su capacidad para adaptarse, sobrevivir y desarrollarse en el sitio de plantación (Johnson y Cline, 1991). Para producir planta en vivero con los atributos morfológicos y fisiológicos apropiados, es necesario que en las prácticas de manejo se consideren las características de la planta que se desea a producir y las condiciones del sitio de plantación. Un adecuado tratamiento en vivero requiere de la aplicación integrada y eficiente de un conjunto de técnicas relacionadas con sustratos, envases, fertilizantes, micorrizas, riego, control de plagas y enfermedades y control de las condiciones ambientales.

La fertilización es, después del riego, la práctica que más influye en el crecimiento de las plantas al incidir en los procesos fisiológicos, como la regulación del crecimiento, el flujo de energía y la síntesis de complejos orgánicos moleculares (Landis *et al.*, 1989). Las demandas de nutrimentos varían entre especies y conforme se desarrollan; esto crea la necesidad de formular programas de fertilización en función de análisis foliares, de manera que puedan ser fijados rangos por fase de crecimiento de las plantas y se consideren dosis-respuesta para determinar la eficiencia del programa (Birchler *et al.*, 1998).

La concentración de cada nutrimento es el aspecto más importante de la fertilización. El elemento que más influye en el crecimiento de las plantas es el nitrógeno y las formulaciones usadas en los programas de fertilización se realizan con base en este elemento, o en las relaciones entre los macronutrientes principales (Landis *et al.*, 1989). Debido al escaso conocimiento de los requerimientos nutritivos de las plantas, la aplicación de fertilizantes en muchos casos es empírica o se generaliza para todas las especies con base en recomendaciones provenientes de otras regiones o de los proveedores de fertilizantes.

Debido a lo anterior, este estudio tuvo como objetivos: a) evaluar el efecto de siete rutinas de fertilización y un testigo, en la supervivencia y crecimiento de plantas de *Pinus engelmannii* Carr. durante su desarrollo en vivero, b) analizar el efecto que tiene el suministro de fertilizantes en cada fase de crecimiento, y c) determinar la cantidad de N-P-K absorbido por las plantas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Características del área de estudio

El estudio se realizó en el Campo Experimental Valle del Guadiana del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), localizado en Durango, Dgo., a 24° 01' N y 104° 44' W, a 1830 m de altitud. La planta se produjo en un invernadero cubierto con plástico y malla sombra de 35%. Durante la fase de precondicionamiento se eliminó el efecto de invernadero y se dejó a las plantas en condiciones ambientales de intemperie. Las temperaturas promedio mínima y máxima durante el desarrollo del experimento fueron de 13.2 y 36.6°C, mientras que la humedad relativa promedio mínima fue de 22.5 y máxima de 91.2%.

### Condiciones de producción y siembra

El sustrato utilizado consistió en una mezcla compuesta por turba al 55%, vermiculita al 24% y agrolita al 21%. Los envases fueron charolas de poliestireno de 77 cavidades y 170 cm<sup>3</sup> de volumen por cavidad. La semilla se recolectó en noviembre de 2002, de rodales naturales localizados en el ejido San Isidro, Durango, Dgo., a 23° 40' 23'' N y 105° 02' 14'' W, a 2483 m de altitud. La siembra se realizó el 31 de marzo de 2003, después de que la semilla se remojó en agua durante 24 h y se desinfectó por 10 min en una solución compuesta por nueve partes de agua y una de cloro comercial al 6%.

### Diseño experimental y tratamientos utilizados

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño experimental de bloques

completamente al azar, con cuatro repeticiones por tratamiento. Las charolas de cada bloque se rotaron cada diez días para evitar efectos ambientales. Cada unidad experimental estuvo compuesta por 77 plantas, de las cuales sólo se evaluaron las 45 centrales (Martínez, 1988).

Se evaluaron siete rutinas de fertilización basadas en Multicote™ y/o Peters Professional™, con a un testigo (Cuadro 1). La selección de dichos fertilizantes obedeció a que en México son ampliamente utilizados en la producción de planta forestal, por lo que es conveniente evaluarlos para determinar las dosis más eficientes. Multicote™ es un fertilizante granulado que tarda en liberarse de 9 a 11 meses, cuya formulación N-P-K (porcentaje de nitrógeno-porcentaje de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-porcentaje de K<sub>2</sub>O) fue de 15:07:15 y se añadió a las rutinas de fertilización que les correspondía durante el mezclado del sustrato en dosis fija de 5 kg m<sup>-3</sup>. En cambio, Peters Professional™ es soluble en agua y con diferentes proporciones de N-P-K en cada fase de crecimiento que caracterizan a las plantas en vivero: a) fase de establecimiento: Peters iniciador™ (7:40:17 N-P-K), b) fase de crecimiento rápido: Peters desarrollo™ (20:7:19 N-P-K), y c) fase de precondicionamiento: Peters finalizador™ (4:25:35 N-P-K). Peters Professional™ se aplicó cada 48 h. Las proporciones anteriores de N-P-K sirvieron de base para calcular las dosis que se deben aplicar en cada fase de crecimiento de las plantas mediante la fórmula de Landis *et al.* (1989):

$$\text{Cantidad de fertilizante (g L}^{-1}\text{)} = \frac{\text{partes por millón deseadas}}{\text{contenido del nutriente (\%)}} \times 0.1$$

De acuerdo con Landis *et al.* (1989), las características que definen a cada fase de crecimiento de las plantas son: a) establecimiento, se considera desde la germinación hasta su estadio cotiledonar, desarrollada del 8 de mayo al 11 de junio de 2003; b) crecimiento rápido, ocurre a partir de que las plantas presentan la yema en crecimiento hasta que se logra la altura objetivo, período que duró del 13 de junio al 13 de agosto de 2003; y c) precondicionamiento, comprende desde que cesa el crecimiento en altura hasta que la planta sale del vivero, realizada del 15 de agosto al 19 de septiembre de 2003.

## Variables evaluadas

Al final de cada una de las fases anteriores se extrajeron en forma aleatoria ocho plantas por unidad experimental, evaluándose: a) altura de la parte aérea, b) diámetro del cuello, c) biomasa seca de la parte aérea, del sistema radical y total, y d) asimilación de nutrientes, mediante análisis foliares; esta variable se registró sólo al finalizar las fases de crecimiento rápido y de precondicionamiento. Además, al final se determinó la supervivencia y con el fin de normalizar los datos, se les transformó a la función arco seno.

Cuadro 1. Dosis de fertilización de N-P-K, en partes por millón (ppm), utilizadas por fase de crecimiento de las plantas.

Rutina de fertilización	Establecimiento	Crecimiento rápido	Preacondicionamiento
T	Testigo (T)	Testigo (T)	Testigo (T)
R1	Multicote* (M)	Multicote (M)	Multicote (M)
R2	50:125:101** (P50)	100:15:79 (P100)	40:109:290 (P40)
R3	100:250:202 (P100)	200:30:158 (P200)	70:191:508 (P70)
R4	150:375:303 (P150)	300:45:237 (P300)	100:273:726 (P100)
R5	Multicote + 50:125:101 (M+P50)	Multicote + 100:15:79 (M+P100)	Multicote + 40:109:290 (M+P40)
R6	Multicote + 100:250:202 (M+P100)	Multicote + 200:30:158 (M+P200)	Multicote + 70:191:508 (M+P70)
R7	Multicote + 150:375:303 (M+P150)	Multicote + 300:45:237 (M+P300)	Multicote + 100:273:726 (M+P100)

\* Se aplicó en dosis de 5 kg m<sup>-3</sup> de sustrato. \*\*Peters professional™

## Modelo experimental y análisis estadístico

El modelo experimental utilizado para el análisis estadístico fue (Martínez, 1988):

$$Y_{ij} = \mu + \beta_j + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = variable respuesta

$\mu$  = promedio general que contempla a las diferentes fuentes de variación

$\beta_j$  = efecto j-ésimo bloque

$\tau_i$  = efecto del i-ésimo tratamiento

$\varepsilon_{ij}$  = error experimental ij.

El análisis estadístico de los datos consistió en análisis de varianza realizados con apoyo del paquete de cómputo Statistical Analysis System (SAS), utilizándose el procedimiento PROC GLM. Cuando se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0.05$ ) se aplicaron pruebas de comparación de medias de Tukey.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Fase de establecimiento

Las variables respuesta, con excepción de la altura que varió de 4.3 a 5.1 cm, tuvieron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) debido al efecto de las rutinas de fertilización aplicadas. Sin embargo, salvo la rutina de fertilización donde sólo se aplicó Multicote™ (R1), la cual fue superior al tratamiento R4 en cuatro variables, en los demás tratamientos no existieron tendencias claras de predominio de las dosis aplicadas, ya que la mayoría de las variables quedaron ubicadas en el grupo estadístico superior (Cuadro 2).

Pese a que la planta tenía siete semanas de edad al finalizar la fase de establecimiento y a que los tratamientos se aplicaron durante cinco semanas, el efecto de los nutrimentos aplicados en los tratamientos evaluados con relación al testigo fue mínimo (Cuadro 2). Debe destacarse que el tratamiento compuesto sólo por Multicote™ fue el más consistente en las variables evaluadas, al mantenerse siempre en el grupo estadístico superior, sin estar ligado a otros grupos estadísticos, tal como sucedió en los demás tratamientos.

Actualmente existe controversia sobre la necesidad de fertilizar durante la fase de establecimiento. Carlson (1983) señala que las plantas empiezan a utilizar los nutrimentos de 10 a 14 días posteriores a la germinación. En contraste, Van den Driessche (1984) indica que las plantas muestran poca respuesta a la adición de fertilizante durante las primeras seis semanas después de germinadas y asevera que el efecto se manifiesta después de la etapa cotiledonar. Mientras tanto, Barnett y Brissette (1986) indican que retardar la fertilización inicial afecta el crecimiento y que el suministro de nutrimentos debe ser bajo para evitar crecimientos iniciales excesivos. Por su parte, Landis *et al.* (1989) mencionan que algunos autores consideran innecesaria la fertilización temprana, debido a que el tejido de reserva contiene los nutrimentos suficientes para el crecimiento inicial de las plantas.

Landis *et al.* (1989) y Starkey (2002) recomiendan aplicar 50 ppm de nitrógeno. Aldana y Aguilera (2002) señalan que en el Vivero Militar de Sayula, Jalisco, las especies con hábito cespitoso son fertilizadas diariamente con 75 ppm de nitrógeno, mientras que en coníferas de rápido crecimiento incorporan de 50 a 75 ppm. Las dosis de Peters Professional™ utilizadas en este ensayo para

Cuadro 2. Valores medios de altura, diámetro del cuello y biomasa de la parte aérea, raíz y total por tratamiento, en plantas de *Pinus engelmannii* a siete semanas de edad en vivero.

Rutina de fertilización	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Biomasa seca (g)		
			Parte aérea	Raíz	Total
T	4.5 a	1.4 ab	0.14 bc	0.04 ab	0.18 ab
R1: (M)	5.1 a	1.6 a	0.20 a	0.05 a	0.25 a
R2: (P50)	4.8 a	1.4 ab	0.16 abc	0.03 ab	0.19 ab
R3: (P100)	4.3 a	1.4 ab	0.15 abc	0.04 ab	0.19 ab
R4: (P150)	4.3 a	1.3 b	0.11 c	0.03 b	0.14 b
R5: (M+P50)	4.9 a	1.5 ab	0.19 ab	0.03 ab	0.22 a
R6: (M+P100)	4.9 a	1.5 a	0.19 ab	0.04 ab	0.23 a
R7: (M+P150)	4.9 a	1.4 a	0.19 ab	0.04 ab	0.23 a

Prueba de Tukey. Letras diferentes para la misma columna indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). Nota: La clave entre paréntesis de la primera columna corresponde al tratamiento aplicado en la fase de establecimiento (Cuadro 1).

la fase de establecimiento fueron: 50:125:101, 100:250:202 y 150:375:303 ppm de N-P-K (Cuadro 1). Aunque los niveles de los nutrimentos parecen altos, debe considerarse que se fertilizó cada 48 h, a diferencia de los señalados en la literatura y que corresponden a dosis diarias.

Debido a que la finalidad de la fase de establecimiento es lograr que el sistema radical de las plantas se establezca en el medio de crecimiento, las concentraciones de fósforo y potasio superaron en más del doble al nitrógeno, ya que el primero favorece el crecimiento de las raíces y la formación de la yema; mientras que el potasio contribuye al crecimiento de las raíces y ayuda a mejorar la resistencia de las plantas a posibles daños por plagas y/o enfermedades; en cambio, el nitrógeno influye en el crecimiento en altura (Dumroese *et al.*, 1998).



## Fase de crecimiento rápido

Las variables evaluadas tuvieron diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0.05$ ); aunque, en el caso de la producción de biomasa de la parte aérea y total sólo el testigo resultó inferior. En el resto de variables existieron resultados similares entre los tratamientos utilizados sin una tendencia definida, con excepción del testigo donde se produjo la planta con los atributos morfológicos menores (Cuadro 3).

La influencia de los tratamientos aplicados hasta la fase de crecimiento rápido considera también el efecto acumulado de la fase de establecimiento. En el testigo las plantas manifestaron efectos adversos a partir de la fase de crecimiento rápido. En cambio, la planta fertilizada con Multicote™ (R1) continuó su crecimiento en forma favorable, al mantenerse todas las variables evaluadas en el grupo estadístico superior, situación que también sucedió cuando se fertilizó con ambos fertilizantes (R5, R6 y R7), con excepción de R7 para la biomasa del sistema radical (Cuadro 3).

Cuadro 3. Valores medios de altura, diámetro del cuello y biomasa de la parte aérea, raíz y total por tratamiento, en plantas de *Pinus engelmannii* a 17 semanas de edad en vivero.

Rutina de fertilización	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Biomasa seca (g)		
			Parte aérea	Raíz	Total
T	5.8 c	2.5 c	0.43 b	0.24 b	0.67 b
R1: (M)	11.1 ab	3.4 ab	1.15 a	0.39 a	1.54 a
R2: (P100)	12.0 ab	3.6 ab	1.28 a	0.31 ab	1.59 a
R3: (P200)	10.8 b	3.3 ab	1.12 a	0.26 b	1.38 a
R4: (P300)	11.2 ab	3.2 b	1.08 a	0.21 b	1.29 a
R5: (M+P100)	12.4 ab	3.5 ab	1.32 a	0.32 ab	1.64 a
R6: (M+P200)	12.8 a	3.7 a	1.32 a	0.32 ab	1.64 a
R7: (M+P300)	12.5 ab	3.3 ab	1.16 a	0.26 b	1.42 a

Prueba de Tukey. Letras diferentes para la misma columna indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). Nota: La clave entre paréntesis de la primera columna corresponde al tratamiento aplicado en la fase de crecimiento rápido (Cuadro 1).

La absorción de nutrimentos en el follaje de las plantas mostró diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) debido al efecto de los tratamientos. En el nitrógeno sobresalieron las rutinas de fertilización R4, R7, R6, R3 y R5 con valores de 2.6 a 2.8%; le siguieron los tratamientos R2 y R1 con 2.03 y 1.61%, respectivamente y el efecto menor ocurrió en el testigo con 0.86% (Figura 1). Las cantidades de nitrógeno asimilado en las plantas por tratamiento, con excepción del testigo, se ubicaron en el rango de 1.3 a 3.5%, recomendado por Landis (1985) y CEFORA (1994).

Respecto al fósforo, los tratamientos con mayor efecto fueron los mismos con los que sobresalió el nitrógeno, seguidos por R2, R1 y T (Figura 1). El rango apropiado para este nutrimento debe estar entre 0.2 y 0.6% (Landis, 1985), en el cual quedaron los tratamientos evaluados, con excepción del T y el R1 que asimilaron 0.10 y 0.18%, respectivamente. Con relación al potasio, las plantas asimilaron mejor el R4, ubicándose después los tratamientos R7, R5 y R6. T y R1 tuvieron los valores menores (Figura 1). El rango recomendado para este nutrimento es de 0.7 a 2.5% (CEFORA, 1994), en el cual quedaron todos los tratamientos evaluados.

En los tratamientos donde las plantas absorbieron mayor cantidad de nutrimentos, el crecimiento de las plantas, en general, fue favorable. Aunque el efecto de la fertilización con Multicote™ propició buen crecimiento de las plantas, los nutrimentos asimilados estuvieron en el rango mínimo recomendado para que las plantas crezcan adecuadamente. En cambio, el testigo produjo la planta de menor calidad debido a que los nutrimentos absorbidos fueron insuficientes por la falta de fertilización.

Landis *et al.* (1989) indican que los viveristas forestales de Estados Unidos aplican en la fase de crecimiento rápido de 55 a 260 ppm de nitrógeno, pero el nivel ideal debe fluctuar entre 100 y 150 ppm; dosis mayores a 250 ppm promueven un crecimiento suculento de la parte aérea y genera desequilibrio de la relación parte aérea-raíz. Esta situación no sucedió en este ensayo a pesar de que la dosis mayor fue de 300 ppm, con fertilizaciones cada 48 h. Por su parte, Starkey (2002) recomienda incorporar 200 ppm de nitrógeno durante un periodo de 14 a 16 semanas. Aldana y Aguilera (2002) señalan que en el Vivero Militar de Sayula, Jalisco, aplican diariamente de 100 a 120 ppm de nitrógeno durante 10 semanas.

## Fase de precondicionamiento

Con excepción de la supervivencia que fue superior al 98% en todos los tratamientos, sobresalieron los valores en forma más consistente en: R2, R6, R5 y R7, al ubicarse en el nivel estadístico superior en todas las variables. Posteriormente, se ubicó el tratamiento R3 y finalmente, los efectos menores

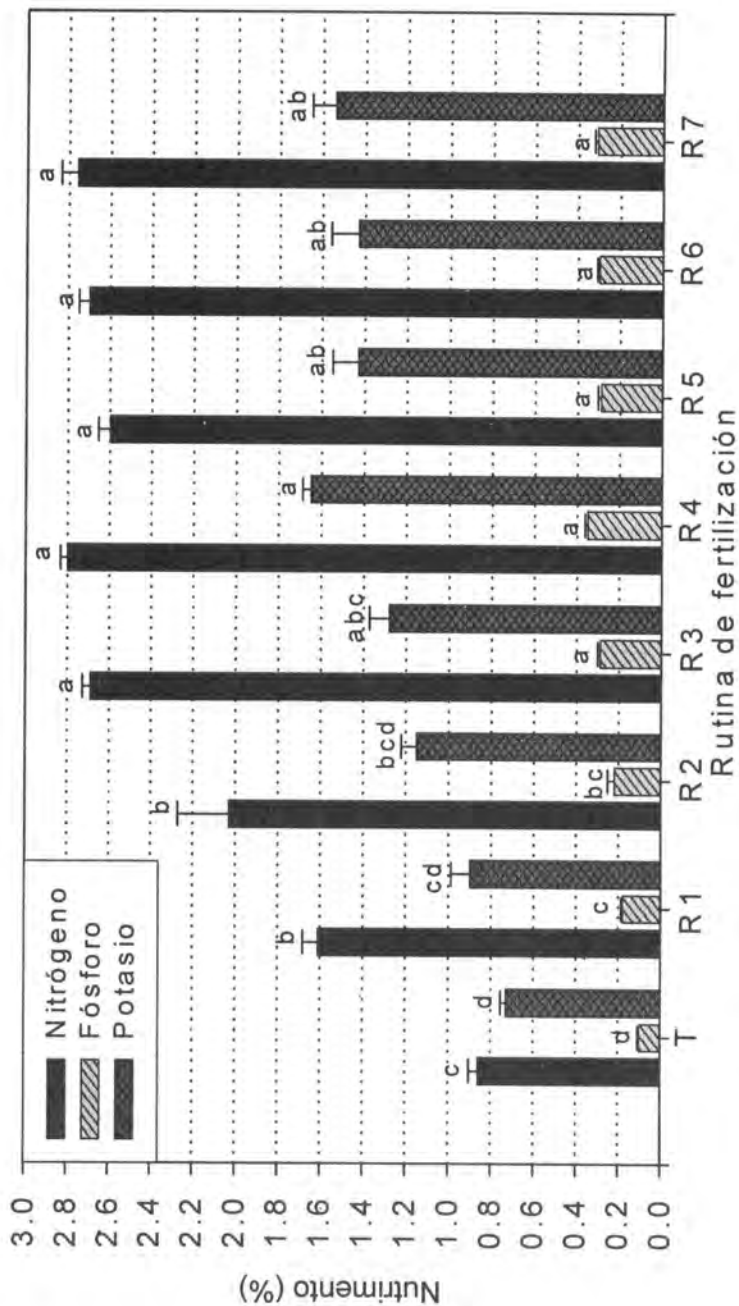


Figura 1. Valores medios de N-P-K asimilado por el follaje de plantas de *Pinus engelmannii* a 17 semanas de edad en vivero. Letras diferentes para el mismo nutriente indican diferencias significativas (Tukey:  $p < 0.05$ ).

sucedieron en R1, R4 y el testigo; este último tuvo deficiencias morfológicas debido a que no se aplicó fertilizante (Cuadro 4).

Cuadro 4 Valores medios de altura, diámetro del cuello y biomasa de la parte aérea, raíz y total por tratamiento, en plantas de *Pinus engelmannii* a 22 semanas de edad en vivero.

Rutina de fertilización	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Biomasa seca (g)		
			Parte aérea	Raíz	Total
T	6.9 c	3.0 d	0.57 e	0.34 c	0.91 d
R1: (M)	14.0 b	5.0 bc	2.23 d	0.86 a	3.09 b
R2: (P40)	17.2 a	5.4 ab	2.89 a	0.80 a	3.69 a
R3: (P70)	16.8 a	5.1 abc	2.30 bcd	0.76 a	3.06 b
R4: (P100)	17.2 a	4.8 c	1.97 d	0.55 b	2.52 c
R5: (M+P40)	18.3 a	5.7 a	2.53 abc	0.77 a	3.30 ab
R6: (M+P70)	16.8 a	5.6 a	2.77 a	0.76 a	3.53 ab
R7: (M+P100)	18.3 a	5.4 ab	2.68 ab	0.75 a	3.43 ab

Prueba de Tukey. Letras diferentes para la misma columna indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). Nota: La clave entre paréntesis de la primera columna corresponde al tratamiento aplicado en la fase de precondicionamiento (Cuadro 1).

En estos resultados destacó el tratamiento donde sólo se aplicó Peters Professional™ en la dosis más baja (R2), lo que contrasta con las rutinas R3 y R4 donde se produjo planta con atributos morfológicos de menor calidad, a pesar de haber aplicado dosis mayores. Cuando se utilizaron ambos fertilizantes los resultados fueron similares entre sí, con una ligera superioridad de la rutina R6 en la mayoría de las variables evaluadas, lo que indica que el aumento de la dosis de nitrógeno no favoreció el crecimiento de las plantas.

Con relación a la asimilación de N-P-K en el follaje, se encontró que los valores mayores ocurrieron en los tres casos en las rutinas de fertilización R7 y R4, aunque el potasio también incluye al tratamiento R3 en el grupo superior; sin embargo, el tratamiento R7 destacó al no estar ligado a los grupos estadísticos

inferiores, como sucedió en los otros tratamientos. Posteriormente sobresalieron las rutinas de fertilización R6 y R3, seguidas por R5 y R2. La menor absorción de nutrimentos ocurrió en los tratamientos R1 y T (Figura 2).

Los nutrimentos N-P-K asimilados por el follaje de las plantas, con excepción del nitrógeno y el fósforo para los tratamientos T y R1, quedaron en los rangos recomendados por Landis (1985) y CEFORA (1994), los cuales son de 1.3 a 3.5% para el nitrógeno total, de 0.2 a 0.6% para el fósforo y de 0.7 a 2.5% para el potasio. El nitrógeno asimilado en las plantas en la fase de preacondicionamiento, con relación a la de crecimiento rápido, fue menor debido a que las dosis se redujeron a menos de la mitad, mientras que las de fósforo y potasio se incrementaron en más de tres veces para favorecer la lignificación.

En general, los resultados de los análisis foliares de los nutrimentos asimilados en el follaje de las plantas tienen coincidencia con las variables respuesta de las plantas en las rutinas de fertilización basadas en ambos fertilizantes (Multicote™ + Peters Professional™), al ser las que mejor asimilaron los nutrimentos y producir la planta de mejor calidad. En cambio, en los tratamientos R3 y R4, no obstante que también asimilaron los nutrimentos en altas proporciones, el crecimiento de las plantas fue menor. En estos resultados destaca el tratamiento R2, a pesar de que estuvo basado solamente en la adición de Peters Professional™ en la dosis menor. Finalmente, en los tratamientos R1 y T, se obtuvieron los más bajos niveles de nutrimentos y produjeron planta de menor calidad.

Aunque al nitrógeno se le ha dado mucha importancia en el crecimiento en altura de las plantas, éste debe estar presente en la proporción adecuada con el fósforo y el potasio. Cantidades deficientes de potasio limitan el uso apropiado del nitrógeno (Van Steenis, 1999). El potasio mejora la lignificación, mientras que excesos de fósforo la desfavorecen en algunas especies (Ritchie, 1984); además, se retrasa el inicio del letargo (Van den Driessche, 1984). Por ello, es conveniente mantener altas dosis de potasio durante la producción de planta (Alarcón, 1999).

Actualmente existe controversia con respecto a las cantidades de nitrógeno que deben suministrarse durante el preacondicionamiento. La literatura de hace más de una década recomienda utilizar concentraciones menores a 100 ppm (Barnett y Brissette, 1986; Landis *et al.*, 1989; Bigg y Schalau, 1990; CEFORA, 1994), para que disminuya su crecimiento y favorezca su lignificación. En cambio, investigaciones recientes de Boivin *et al.* (2002), Salifu y Timmer (2003), Dumroese (2003) y Murphy (2004) sugieren la aplicación de altos niveles de nitrógeno para que las plantas acumulen reservas, que servirán en el sitio de plantación para la formación de nuevos tejidos, incrementar la producción de raíces y propiciar el rompimiento temprano de la yema.

Debido a que en los resultados finales sobresalieron los tratamientos donde

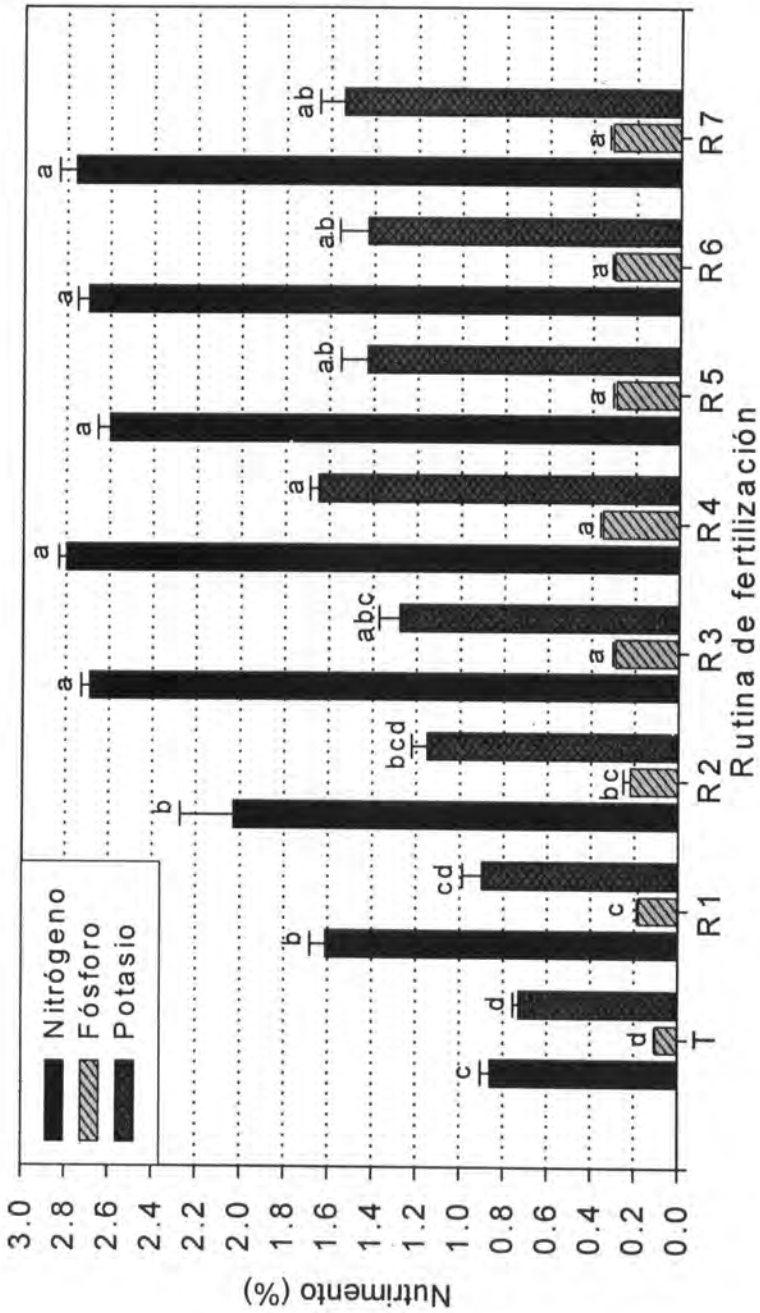


Figura 2. Valores medios de N-P-K asimilado por el follaje de plantas de *Pinus engelmannii* a 22 semanas de edad en vivero. Letras diferentes para el mismo nutrimento indican diferencias significativas (Tukey:  $p < 0.05$ ).

se utilizó Peters Professional™ en la rutina con las dosis más bajas (50:125:101, 100:15-79 y 40:109:290 ppm de N-P-K, respectivamente, aplicadas en las tres fases de crecimiento); así como la combinación de Multicote™ y Peters Professional™ en las tres rutinas de fertilización (R5, R6 y R7), la selección del tratamiento requiere considerar criterios que permitan minimizar costos y reduzcan el uso de agroquímicos; esto determina que el tratamiento donde sólo se aplicó Peters Professional™ sea el que mejor cumple con estos aspectos al corresponder a la dosis menor de dicho fertilizante, lo que implica utilizar menos fertilizante y disminuir costos.

## CONCLUSIONES

Se recomienda utilizar la rutina de fertilización compuesta por Peters Professional™ con las dosis 50:125:101, 100:15-79 y 40:109:290 ppm de N-P-K, aplicadas en las respectivas fases de crecimiento de las plantas, debido a que permitió producir planta de buena calidad e implica aplicar menos fertilizante. La falta de fertilización limitó el crecimiento de las plantas.

Los nutrientes N-P-K asimilados por las plantas en la fase de crecimiento rápido y de precondicionamiento, con excepción del testigo y del Multicote™ en la última fase, fueron adecuados en los tratamientos evaluados y permitieron un apropiado crecimiento de las plantas.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al INIFAP y al CONACyT, por la beca otorgada al primero para realizar sus estudios de Doctorado. A la Fundación Produce Durango, A. C., por el financiamiento otorgado por medio del Proyecto Bosque Modelo Durango. A los técnicos de campo del INIFAP: C. Francisco J. Falcón F. y Francisco J. Chávez O., por su valioso apoyo en el seguimiento del ensayo. A los revisores anónimos por su acertada contribución para mejorar este documento.

## REFERENCIAS

- Alarcón B., M. 1999. Crecimiento inicial y calidad de planta de *Pinus greggii* Engelm. bajo diferentes condiciones de fertilidad en invernadero. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 107 p.
- Aldana B., R. y M. Aguilera R. 2002. Procedimientos y cálculos básicos útiles en la operación de viveros que producen en contenedor. CONAFOR-PRONARE. Guadalajara, Jal. 44 p.
- Barnett, J. P. and J. C. Brissette, 1986. Producing southern seedlings in containers. USDA, Forest Service, Gen. Tech. Rep. So-59, 71 p.
- 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 y 2):110-121.

- Bigg, W. L. and J. W. Schalaus. 1990. Mineral nutrition and target seedling. *In*: Proceedings of the Target Seedling Symposium. Aug. 13-17. 1990. USDA, Forest Service. Gen. Tech. Rep. RM-200. pp. 139-160.
- Boivin, J. R., B. D. Miller and V. R. Timmer. 2002. Late-season fertilization of *Picea mariana* seedlings under greenhouse culture: Biomass and nutrient dynamics. *Ann. For. Sci.* 59:255-264.
- Carlson, L. W. 1983. Guidelines for rearing containerized conifer seedlings in the Praire Provinces. Canadian Forest Service. Inf. Rep. NOR-X-214E. 64 p.
- Centro de Forestación de las Américas (CEFORA). 1994. Viveros y reforestación en México. *In*: Curso internacional de entrenamiento, 4 al 22 de junio de 1994. Universidad Estatal de Nuevo México. Servicio Forestal de los Estados Unidos. Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre en México. México. 120 p.
- Dumroese, R. K., T. D. Landis and D. L. Wenny. 1998. Raising forest tree seedlings at home: simple methods for growing conifers of the Pacific Northwest from seeds. University of Idaho. Forest, Wildlife and Range Experiment Station. Contribution Number 860. 56 p.
- Dumroese, R. K. 2003. Hardening fertilization and nutrient loading of conifer seedlings. *In*: Riley, L. E., Dumroese, R. K., Landis, T. D., Tech. Coords. National Proceedings of the Forest and Conservation Nursery Associations. 2002. Odgen, UT. USDA, Forest Service, RMRS-P-28. pp. 31-36.
- Johnson, J. D. and M. L. Cline. 1991. Seedling quality of southern pines. *In*: Duryea, M. L. and Dougherty, P. M. (eds.) Forest Regeneration Manual. Lluver Academic Pub. Netherlands. pp. 143-159.
- Landis, T. D. 1985. Mineral nutrition as an index of seedling quality. *In*: Duryea, M. L. (ed.) Proceedings of the Evaluating seedling quality: principles, procedures and predictive habiliteis of major tests. Oct. 16-18, 1984, Forest Research Laboratory, Oregon State University. Corvallis, OR. pp. 29-48.
- Landis, T. D., R. W. Tinus, S. E. McDonald and J. P. Barnett. 1989. Seedling Nutrition and Irrigation. The Container Tree Nursery Manual. Vol. 4. Agric. Handbook 674. USDA, Forest Service, Washington, D. C. 119 p.
- Martinez G., A. 1988. Diseños Experimentales. Ed. Trillas. México. pp. 118-160.
- Murphy, R. 2004. Fertilization exponential vs nutrient loading. <http://www.lustr.ca/articles/59>. (23 de enero de 2004).
- Ritchie, G. A. 1984. Assessing seedling quality. *In*: Duryea, M. L. and Landis, T. D. (eds.) Forest nursery manual: Production of bareroot seedlings. Martinus Nijhoff / Dr. W. Junk Publishers, Forest Research Laboratory, Oregon State University. Corvallis, OR. pp. 243-259.
- Salifu, K. F. and V. R. Timmer. 2003. Nitrogen retranslocation response of young *Picea mariana* to nitrogen-15 supply. *Soil Sci. Am. J.* 67:309-317.



- Starkey, T. E. 2002. Irrigation and fertilization type, rate and frequency of application. *In*: Barnett, J. P.; Dumroese, R. K.; Moorhead, D. J. (eds.). Proceedings of the growing longleaf pine in containers-1999 and 2001 workshops. USDA, Forest Service, Gen. Tech. Rep. SRS-20. pp. 30-34.
- Van den Driessche, R. 1984. Soil fertility in forest nurseries. *In*: Duryea, M. L. and Landis, T. D. (eds). Forestry Nursery Manual: Production of bareroot seedlings. Martinus Nijhoff / Dr. W. Junk Publishers. Forest Research Laboratory, Oregon State University. Corvallis, OR. pp. 63-74.
- Van Steenis, E. 1999. Forest seedling nutrition trends. *In*: Landis, T. D. and Barnett, J. P., (Tech. Cords.) National Proceedings of the Forest and Conservation Nursery Associations-1998. USDA, Forest Service, Gen. Tech. Rep. SRS-25. pp. 104-107.

## NOTA TÉCNICA

# EFFECTO DE TRATAMIENTOS EN LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE PALMA CAMEDOR (*Chamaedorea elegans* MART.)

Virginia Ramón Jiménez<sup>1</sup>, Alejandro Velázquez Martínez<sup>1</sup>,  
Jesús Jasso Mata<sup>1</sup> y Miguel Ángel Musalem<sup>2</sup>

### RESUMEN

La palma camedor es una especie ornamental de gran valor comercial que presenta un periodo de tres a seis meses para su germinación, la que además es muy irregular, por lo que sólo un número reducido de productores se dedica a la producción de plántulas en vivero. En la búsqueda de alternativas para mejorar este proceso, se aplicaron cuatro tratamientos pregerminativos y un testigo; los cuales fueron: 1) inmersión de la semilla por 15 min en peróxido de hidrógeno (agua oxigenada) a una concentración de 5%, y lavado posterior con agua común; 2) aplicación de ácido giberélico a 100 ppm por 24 hr y lavado inmediato; 3) remojo en agua a una temperatura de 35°C durante 24 hr; 4) escarificación mecánica mediante la eliminación manual de la testa cerca del embrión y 5) testigo. El experimento fue establecido bajo un diseño completamente al azar con cinco repeticiones. El análisis físico reveló una viabilidad del 95.5% con una pureza del 99.81%. Se detectaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos probados, siendo la escarificación mecánica el que presentó los mejores porcentajes promedio de germinación con 80.22% en 84 días; se recomienda el uso de la escarificación mecánica como tratamiento para mejorar la germinación en palma camedor.

**Palabras clave:** *Chamaedorea elegans* Mart., escarificación mecánica, germinación, palma camedor, semillas forestales, tratamientos pregerminativos.

Fecha de recibido: 26 de julio de 2001.

Fecha de aceptación: 18 de noviembre de 2004.

<sup>1</sup> Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados. Correo-e: alejvela@colpos.mx

<sup>2</sup> Campo Experimental Valle de México, C.I.R. Centro. INIFAP.

## ABSTRACT

The Parlour Palm (*Chamaedorea elegans* Mart.) is a decorative plant with a great economical value, however it has some problems for its propagation. The lasting time from three to six months for seed germination and its irregularity, are the main reasons because there are a few people who are dedicated to its propagation in nursery. In this study, four treatments were applied, in order to promote germination in seeds of this species, comparing against a control condition. The evaluated treatments were: 1) immersion of seeds into oxygenated water (hydrogen peroxide) at 5% concentration for 15 minutes, and after that, seeds were washed with tap water; 2) immersion of seeds into gibberelic acid at 100 ppm for 24 hours and washed with tap water at the end; 3) immersion of seeds in tap water for 24 hours at 35°C; 4) mechanical scarification, which was done through the elimination of the seed cover with a knife; and 5) control (no treatment). The experiment was established in a totally random design with five replications by treatment. The viability of seeds was tested by a physical analysis and the result was 95.5% and seed purity was 99.8%. Statistical differences were registered among the treatments applied to the seeds, and the best pregerminative treatment was mechanical scarification, with a germination rate of 80.22% in 84 days.

**Key words:** *Chamaedorea elegans*, mechanical scarification, seed germination, Parlour palm, forest seeds, germination treatments.

## INTRODUCCIÓN

El género *Chamaedorea* incluye 145 especies y se localiza en forma natural en México, Belice y Guatemala; en nuestro país se concentran 45 especies (Hodel, 1992), la mayoría de gran tamaño e importancia económica, aunque existen otras de menores dimensiones que ocupan un lugar destacado como especies decorativas; una de ellas es la palma camedor (*Chamaedorea elegans* Mart.), cuyo follaje tiene gran demanda ornamental en Estados Unidos de América, Alemania y varios países de la Unión Europea; sin embargo, se desconoce la utilización de la sapogenina, sustancia extraíble de sus hojas, caracterizada como 5,14, 25R-spirostane-1-3diol y conocida como conigen (Rao y Álvarez, 1984). La palma camedor se distribuye, naturalmente, en las regiones tropicales de nuestro país, asociada con la vegetación de selvas altas y medianas subperennifolias y perennifolias, así como en bosques caducifolios, en lugares poco húmedos y en laderas de cerros o cañadas con suelos pedregosos (Aguilar, 1986); en los estados de Hidalgo, San Luis Potosí, Veracruz, Tabasco, Oaxaca, Campeche, Yucatán, norte de Puebla, y desde el sur de Sinaloa hasta Chiapas (Hernández, 2000).

De esta forma, su importancia es evidente desde tres aspectos: social, debido a que la mayor parte de su explotación es comunitaria; económica, porque representa ingresos complementarios a las familias que la recolectan; y ecológica, por formar parte importante del estrato herbáceo y/o arbustivo del ecosistema natural de los climas cálidos y semicálidos (Ramírez, 1995). Un buen porcentaje de la demanda de palma camedor en México es cubierta mediante la extracción de plántulas, hojas y semillas de áreas naturales, siempre acorde con las normas emitidas por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) para esta especie (NOM-006-RECNAT-1997).

Por otro lado, se han buscado alternativas de reproducción y/o multiplicación de la palma camedor para acortar su periodo de propagación por métodos sexuales, ya que la semilla tarda en germinar entre tres y seis meses, en un proceso muy irregular. Lo anterior indica la necesidad de ampliar el conocimiento sobre su propagación sexual, de tal forma que se pueda conservar su variabilidad. Diversos estudios realizados durante la última década han tenido como finalidad reducir el periodo de latencia de la semilla; en algunos trabajos se modificó el proceso de germinación de un año a tres meses (Moreno, 1991; Trejo, 1991; Ramírez, 1995).

El sustrato, la pureza de la semilla, temperatura, profundidad de siembra, humedad y el tratamiento pre-germinativo utilizado son los factores que mayor influencia ejercen sobre el proceso germinativo de esta especie. La temperatura puede variar entre 29.5 y 32°C, aunque a valores menores la germinación se produce varios meses después (Doseلمان, 1982). Uno de los tratamientos pregerminativos más usados para algunas palmas es el remojo en agua, desde unas horas hasta 21 días. Por otro lado, se han realizado trabajos enfocados a definir el periodo de germinación de semillas de *Ch. elegans*, el efecto de diversas técnicas previas, así como el almacenamiento, longevidad y temperatura, dado que estos factores son considerados importantes por los productores para estimar sus costos.

En relación con algunos procedimientos, Trejo (1991) reporta un 70% de germinación 90 días después de la siembra, para semillas sumergidas en agua por 20 días. Moreno (1991) obtuvo 75% en 66 y 88 días con agua oxigenada al 5% durante 15 min, sembradas en una mezcla de sustrato de materia orgánica y tierra con proporción 2:1 y a una profundidad de 0.5 cm. Investigaciones realizadas por Poole *et al.* (1975) indican que con semilla almacenada a 27°C se alcanzan valores de 34% en germinación.

Con base en lo anterior, este estudio se llevó a cabo con el objetivo fundamental de ubicar, dentro de un grupo de tratamientos pregerminativos, aquel que mostrara los mejores resultados en la reducción del periodo de germinación en semillas de palma camedor sin almacenamiento previo.

Se llevó a cabo una colecta de frutos maduros en una plantación localizada en la región de Orizaba, Veracruz, y fueron colocados en bolsas de plástico considerándolos como lote muestra. Cada fruto se maceró para eliminar el exocarpio y el mesocarpio, dejando sólo el endocarpio, de tal forma que se facilitara la extracción de la semilla, la cual se secó bajo techo durante cuatro días a temperatura ambiente para eliminar su exceso de humedad. Se realizó un análisis físico del lote según las normas de la International Seed Testing Association (ISTA) y la Asociación de Analistas de Semillas (AOSA) señaladas por Bonner (1974).

La prueba de pureza consistió en determinar la proporción de la muestra de la semilla de la palma camedor, a la que se le separaron los componentes de otras especies y materia inerte. La pureza se calculó a partir de un kilogramo de semilla tomada de la muestra de trabajo.

Del lote puro se escogieron al azar ocho muestras de 100 semillas cada una, las que fueron pesadas para obtener el peso promedio y la cantidad por kilogramo. El contenido de humedad se determinó en cuatro muestras de 5 g cada una a partir del componente puro. Cada una de ellas fue colocada en cajas de petri, se registró su peso individual y se sometieron a un proceso de secado en una estufa por 16 hrs a una temperatura de 105°C, para luego calcular el contenido de humedad a partir del promedio de los valores previamente obtenidos.

Para la prueba de viabilidad del lote puro –y antes de aplicar algún tratamiento pregerminativo– se tomaron cuatro muestras de 50 semillas cada una; que fueron remojadas por 24 hrs y se seccionaron a la mitad para dejar expuesto el embrión adherido a una de las mitades del endospermo; a continuación, se colocaron en cajas de petri en una solución ácida (pH 6, 5.5) de cloruro de tetrazolio a 0.1-1% durante dos horas, a una temperatura de 38°C. La viabilidad se determinó en función de la coloración del embrión (Besnier, 1989).

Por otro lado, los tratamientos pregerminativos, aplicados en cinco repeticiones de 20 semillas cada uno (500 en total) fueron: 1) inmersión de la semilla por 15 min en peróxido de hidrógeno a una concentración de 5% y lavado con agua común; 2) aplicación de ácido giberélico a 100 ppm durante 24 hrs y lavado inmediato; 3) remojo en agua a una temperatura de 35°C por un día; 4) escarificación mecánica mediante la eliminación manual de la testa cerca del embrión y 5) testigo.

Las semillas se colocaron en papel secante (sanitas®), humedecido con agua destilada y 1.5 g/L de captán®; luego se enrollaron y se pusieron en bolsas de plástico en forma vertical dentro de una cámara de germinación de ambiente controlado tipo "conviron", con un fotoperiodo de ocho horas luz (fluorescente) y regímenes de temperaturas de 30 y 27°C en el día y la noche, respectivamente.

Se contó como germinada, la semilla que presentara una radícula de igual o mayor tamaño que su longitud total.

El experimento se estableció bajo un diseño completamente aleatorio. Se efectuó un análisis de varianza para detectar diferencias entre tratamientos, para después llevar a cabo una prueba de comparación de medias de Tukey. La germinación se evaluó cada semana a partir de los 20 días, después de haber instalado el experimento hasta los 84 días. En este estudio se consideraron plantas normales y anormales. Se presentaron torceduras en las raíces y en el epicotilo, debido a la variabilidad de la posición del micrópilo en la semilla con respecto al hilio. Por lo anterior, el porcentaje total de germinación (PGT) se obtuvo a partir de la suma del porcentaje de plántulas normales y anormales.

Los datos expresados en términos porcentuales para la germinación, fueron transformados a la función arco seno, con la finalidad de disminuir la heterogeneidad de la varianza y asegurar la normalidad de los valores registrados; con ellos se realizaron los análisis estadísticos.

La pureza total fue de 99.81%, con un número promedio de 6,027 semillas por kilogramo y un contenido de humedad de 33.21%. Sin embargo, Hodel (1992) obtiene 4,400 semillas por kilogramo, aunque se desconoce la pureza y el contenido de humedad del lote que utilizó. Durante la prueba de germinación, el endospermo de algunas simientes presentó una consistencia blanda y de color rosado, lo que podría ser indicador del ataque de alguna plaga o enfermedad. Al auscultar algunos endospermos, se encontraron larvas de insectos que no pudieron identificarse. Se observaron también galerías de escarabajos (gorgojos), que emergieron a los pocos días después de la siembra, así como mariposas pequeñas (palomillas).

La prueba con cloruro de tetrazolium expuso un 99.5% de viabilidad. El análisis de varianza (Cuadro 1) mostró la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ( $\alpha = 0.01$ ); se observó que las semillas escarificadas de manera mecánica fueron las primeras en germinar (49 días después de establecido el experimento); mientras que en las que se utilizó peróxido de hidrógeno lo hicieron a los 70 días y, en último lugar, las manejadas con ácido giberélico y las remojadas en agua común. La escarificación mecánica fue el tratamiento que presentó un promedio más alto en el porcentaje de germinación (80.22%), seguido por el remojo en peróxido de hidrógeno, con 32.81% (Cuadro 2).

Los tratamientos de remojo en agua y aplicación de ácido giberélico así como el testigo muestran los porcentajes de germinación más bajos, con 7.58, 3 y 14.58%, respectivamente y no presentan diferencias estadísticas entre ellos (Cuadro 2). Al respecto, algunos autores reportan que dicho porcentaje en semillas

Cuadro 1. Análisis de varianza de la germinación de semillas de palma camedor (*Chamaedorea elegans* Mart.).

FV	GL	CMT	CME	F	Pr > F
Repetición	4	0.05269132	0.01317283		
Tratamiento	4	2.74880751	0.68720188	21.85	0.0001
Error	16	0.50314486	0.03144655		

Significancia:  $\alpha = 0.01$

de esta especie es menor de 80% (Hodel 1992; Poole *et al.*, 1975). De acuerdo a los resultados, la mayoría de los valores se ubican por debajo del máximo; sin embargo, la escarificación mecánica proporciona un porcentaje de germinación bastante alto, superior al obtenido por Moreno (1991), quien informa 60% de germinación después de aplicar un tratamiento similar al utilizado en este estudio.

Cuadro 2. Valores promedio de germinación de semillas de palma camedor (*Chamaedorea elegans* Mart.) sometidas a diferentes tratamientos.

Tratamiento	Germinación (%) <sup>1</sup>
Escarificación mecánica	80.22a
Agua oxigenada al 5% por 15 min	32.82b
Testigo	14.58bc
Remojo en agua a 35°C durante 24 hrs	7.58bc
Remojo en (24 h) ácido giberélico a (100 ppm)	3.00c

<sup>1</sup> Valores promedio con letra similar son estadísticamente iguales (Tukey  $\alpha = 0.05$ )

Moreno (1991) obtuvo 75% de germinación al remojar la semilla en peróxido de hidrógeno al 5%, resultados opuestos a los de este trabajo con el tratamiento mencionado. Es importante señalar que la calidad de los lotes de semilla, las condiciones ambientales u otros factores pudieron haber influido en los resultados, puesto que el autor citado refiere 48.5% de germinación, porcentaje más elevado que el conseguido en este estudio (14.6%).

Trejo (1991) alude que el remojo de la semilla de palma camedor en agua caliente (de 80 a 100°C por 10 min) tiene efectos negativos sobre su germinación; dicho autor obtuvo 70% de germinación después de 100 días de remojo en agua común. Moreno (1991) reporta evidencias de inhibición en la germinación al aplicar agua caliente a temperaturas de 75°C por 10 min.

Por otro lado, Huchin *et al.* (1999) informan resultados positivos en la germinación de *Chamaedorea oblongata* Mart. al usar un tratamiento de ácido sulfúrico al 2% por 45 min; Pérez (1998) al utilizar ácido sulfúrico en *Chamaedorea tepejilote* Liemb., indica 4.6% de germinación en semillas de reciente cosecha, y 92.66% en aquellas con tres meses de almacenamiento previo. Moreno (1991) y Trejo (1991) señalan que las aplicaciones de ácido sulfúrico en concentraciones de 30 y 50% durante 10 a 30 min tienen un efecto negativo sobre la germinación de *Chamaedorea elegans* Mart. Algunos autores reportan que el ácido sulfúrico fragmenta la cubierta delgada pero no la gruesa de la semilla (Moreno, 1991; Trejo, 1991; Ramírez, 1995) y apuntan que dicho ácido afecta el endocarpio que es delgado y está unido a la semilla recién cosechada y es quebradizo cuando aquella está seca.

Los mejores porcentajes de germinación en el presente trabajo (80%) se dieron al emplear la escarificación mecánica; Moreno (1991) obtuvo 61% y Ramírez (1995) 37% a una temperatura de 30°C al usar el mismo tratamiento, aunque eliminando previamente el endocarpio. Puede inferirse la probable existencia de alguna sustancia inhibitoria para la germinación en el endocarpio, y que se elimina cuando la semilla pierde humedad al desprenderse éste. Los resultados del presente estudio son similares a los obtenidos por Pérez *et al.* (1998) quienes utilizaron semillas secas y almacenadas por tres meses.

En semillas recién cosechadas, al quitar el mesocarpio, el endocarpio queda adherido, se observa el opérculo y en el centro el micrópilo con abertura estrecha; la pérdida de humedad después de cuatro u ocho semanas, ocasiona una reducción en el tamaño del endospermo, que se separa de manera significativa; se aprecia entonces que el opérculo y la abertura del micrópilo es mayor tanto en el endocarpio como en la semilla. Esta característica puede favorecer el intercambio de gases del pericarpio hacia las semillas, rompiéndose la latencia fisiológica que en ocasiones es causada por los bloqueos metabólicos y la baja permeabilidad de las cubiertas a los gases (Camacho, 1994).

Hernández (2000) sugiere que la semilla de palma camedor almacenada bajo condiciones ambientales debe utilizarse dentro de los siguientes cuatro meses a partir de la cosecha, ya que después disminuye su viabilidad; el mismo autor señala que la especie presenta una latencia de hasta siete meses, por lo que para acortar esta fase, las semillas deben sumergirse en una solución de agua oxigenada al 5% por 15 min, removiéndolas en forma constante, para lavarlas



con agua corriente por cinco minutos; después, se ponen a la sombra por una o dos horas, y pueden sembrarse hasta por los siguientes dos o tres días; mediante este proceso se garantiza un 75% de germinación en los tres primeros meses.

Los resultados del presente estudio confirman la latencia en las semillas de *Chamaedorea elegans*, la cual puede romperse a través del almacenamiento en seco por lapsos cortos y con la posterior escarificación mecánica, para conseguir así semilla lista para la siembra.

## CONCLUSIONES

En semillas recién cosechadas de palma camedor la escarificación mecánica es el tratamiento con el que resultaron los porcentajes más altos de germinación.

Si se tienen semillas con distintos tiempos de almacenamiento, es conveniente probar los tratamientos utilizados en este trabajo, simultáneamente con métodos alternativos ya que, como se mencionó, la eliminación paulatina de la humedad puede favorecer, si la hubiere, la supresión de sustancias inhibitorias.

Se recomienda el uso de la escarificación mecánica como tratamiento pregerminativo en las semillas recién cosechadas, con lo cual se garantiza, al menos, 75% de germinación.

## LITERATURA CITADA

- Aguilar A., R. 1986. El género *Chamaedorea* Willd. (Palmae). Tesis Profesional. Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver. 138 p.
- Besnier R., F. 1989. Semillas. Biología y tecnología. Mundi Prensa. Madrid, España. 637 p.
- Bonner T., F. 1974. Análisis de semillas forestales. Traducción libre del inglés. Serie de apoyo académico núm. 47. Universidad Autónoma Chapingo. 54 p.
- Camacho M., F. 1994. Dormición de semillas: causas y tratamientos. Trillas. México. 125 p.
- Doselman, H. 1982. Palm seed germination studies. Proc. Fla. State Hort. Soc. (95):256-257.
- Hernández P., L. 2000. Manual para la producción de palma camedor. INIFAP-CIRGOC. Campo Experimental El Palmar. Folleto técnico núm. 26. Veracruz. 23 p.
- Hodel D., R. 1992. *Chamaedorea* palms. The species and their cultivation. The International Palm Society. Allen Press, Lawrence, Kansas. 308 p.
- Huchin Ch. J., J. L. Sandoval, J. Carvajal y C. Chel. 1999. Diferentes tratamientos para acelerar la germinación del Xiat (*Chamaedorea oblongata*). Quinta Reunión de Investigación Científica en el Sureste de México. Mérida, Yucatán. 79 p.

- Moreno H., M. G. 1991. Pruebas de escarificación en semillas de palma camedor (*Chamaedorea elegans* Mart.) con el objeto de reducir su periodo de latencia. Tesis Profesional. Facultad de Biología. Universidad Veracruzana. Córdoba, Veracruz. 43 p.
- Pérez F. J., A. López, V. y L. B. Alanís. 1998. Plantas del sureste de México con potencial ornamental. Palmas. In: Sánchez S., S., N. del Rivero, B., M. Domínguez D., A. Sol, S. y C. J. Vázquez, N. (Eds.). Avances de investigación del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Cárdenas, Tabasco. México. 138 p.
- Pérez F., J. 1998. Germinación de semilla de palma tepejilote. (*Chamaedorea tepejilote* Liemb.). In: Resúmenes del XVII Congreso de Fitogenética. Acapulco, Guerrero. pp. 85.
- Poole R., T. C. Conover A. and R. W. Henley. 1975. Parlour palm seed germination. Florists Review. November. pp. 89-106.
- Ramírez L., V. 1995. Evaluación de métodos de escarificación en semillas de palma camedor (*Chamaedorea elegans* Mart.). Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, Edo. de México. 54 p.
- Rao K., V. and F. M. Álvarez. 1984. The sapogenin of *Chamaedorea elegans*. University of Florida, Gainesville. Journal of Natural Products (47): 413-418.
- Trejo G., B. 1991. Escarificación de semilla de palma camedor *Chamaedorea elegans* Mart. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Veracruzana. Córdoba, Veracruz. 82 p.