

# INDICADORES REPRODUCTIVOS DE *Pinus leiophylla* Schltdl. et Cham. EN LA CUENCA DEL RÍO ANGULO, MICHOACÁN

## REPRODUCTIVE INDICATORS OF *Pinus leiophylla* Schltdl. et Cham. OF THE ANGULO RIVER BASIN, MICHOACAN

María Guadalupe Morales-Velázquez<sup>1</sup>, Carlos Alberto Ramírez-Mandujano<sup>2</sup>, Patricia Delgado-Valerio<sup>1</sup> y  
Javier López-Upton<sup>3</sup>

### RESUMEN

La pérdida de la masa forestal es un problema serio en México. Las especies con menor calidad de madera y que ofrecen un producto no maderable como *Pinus leiophylla* sobreviven en mayor proporción y pueden llegar a ser importantes en la conservación de la cubierta forestal. Como esta especie generalmente no forma masas puras y las poblaciones están constituidas por árboles dispersos, su potencial reproductivo puede ser bajo. Se realizó un análisis de conos para determinar indicadores reproductivos y posibilidades de éxito en programas de propagación. Se recolectaron diez conos en cada uno de los 48 árboles muestreados en cuatro rutas representativas de su distribución natural en el suroeste de la cuenca del río Angulo, Michoacán. Los valores medios obtenidos por cono fueron: 61 semillas potenciales, 72.9% de óvulos abortivos y 27.1% de semillas desarrolladas, esto es 16.6 por cono, de las cuales 7.3% fueron llenas, 89.2% vanas y 3.6% dañadas por insectos, lo que representa sólo 1.2 semillas llenas por cono, esto es 1.97% de eficiencia de semillas llenas. La eficiencia reproductiva media fue de 2.49 mg de semilla por g de cono, que son valores bajos comparados con otros estudios y con otras especies de coníferas. El volumen del cono estuvo asociado positivamente con el potencial de semillas, pero negativamente con el porcentaje de semillas llenas; esto significa que la selección de conos de mayor tamaño no produce la mayor cosecha de semillas. Estos resultados pueden ser atribuidos a una baja densidad de población y escasez de polen.

**Palabras clave:** Análisis de conos, endogamia, éxito en propagación, indicadores reproductivos, *Pinus leiophylla*, producción de semillas.

### ABSTRACT

Woodland loss is a serious problem in Mexico. Species such as *Pinus leiophylla* with low wood quality, and that offers a non timber product, survive in greater proportion and can be important in the conservation of forests. Since this specie grows in mixed stands and populations are conformed by scattered trees, their reproductive potential may be low. Thus, a cone analysis was made in order to find reproductive indicators and possibility of success in propagation programs. Ten cones were collected from each of the 48 assessed trees in four representative routes of the natural distribution of this species in the Southwest of the Rio Angulo watershed in Michoacan State. The mean values by cone were: 61 seeds as potential, 72.9% of abortive ovules and 27.1% of developed seeds, this is 16.6 per cone, of which 7.3% were filled, 89.2% empty and 3.6% with insect damage, this means only 1.2 filled seeds per cone or 1.97% of filled seed efficiency. Mean reproductive efficiency was 2.49 mg of seed by gram of cone. These values are low compared to similar reports in the same and in different conifer species. Cone volume has a positive correlation with seed potential but negative with filled seed per cent. Selection of the largest cones does not produce the biggest seed harvest. These results can be due to a low population density and scarcity of pollen.

**Key words:** Cone analysis, inbreeding, propagation success, reproductive indicators, *Pinus leiophylla*, seed production.

Fecha de recepción: 09 de febrero de 2010

Fecha de aceptación: 20 de octubre de 2010

<sup>1</sup>Facultad de Agrobiología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Correo-e: batwoman\_111084@hotmail.com

<sup>2</sup>Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

<sup>3</sup>Programa Forestal, Colegio de Posgraduados.

## INTRODUCCIÓN

La pérdida de la masa forestal por la agricultura, la ganadería y el aprovechamiento ilegal es un problema serio en México. La subcuenca del río Angulo forma parte de la cuenca Lerma-Chapala en la porción correspondiente al estado de Michoacán. En el suroeste de ésta, dentro de los municipios de Zacapu, Nahuatzen y Coeneo existen zonas montañosas pertenecientes al Eje Volcánico Transversal, que contribuyen a la captación de agua pluvial, y no escapan al problema de la fuerte deforestación de lo cual no ha sido ajeno el género *Pinus*. En este escenario, las especies con menor calidad de madera sobreviven en mayor proporción y la explotación de productos no maderables como la resina favorece la permanencia del arbolado. *Pinus leiophylla* Schltdl. et Cham. es una especie que combina estas dos características y puede llegar a ser trascendente en la conservación de la cubierta forestal y la recarga de acuíferos. Se han detectado poblaciones en Michoacán que son importantes por su relativo buen desarrollo en ensayos de progenies a nivel internacional (Dvorak *et al.*, 2007).

*Pinus leiophylla* crece de forma silvestre en cuatro de las cinco principales cadenas montañosas del país (Sánchez, 2008), desde los 1700 hasta los 2800 msnm y en lugares con precipitaciones entre 600 y 1300 mm (Eguiluz, 1982). Para conocer su potencial en programas locales de restauración y repoblación artificial es necesario determinar su capacidad reproductiva. Esta especie normalmente no forma masas puras, integran pequeños grupos, con árboles distribuidos de manera dispersa y es probable la escasez de polen y un nivel de endogamia alto (Saccheri *et al.*, 1998; Mosseler *et al.*, 2000; Rajora y Mosseler, 2001). El patrón descrito, por tanto, puede tener consecuencias relevantes en la producción de semilla llena por cono.

Un alto nivel de endogamia es producto de la autofecundación o del apareamiento entre parientes cercanos, lo que es común en poblaciones de tamaño reducido y lleva a un incremento en la homocigosis, que provoca depresión en vigor originado, principalmente, por la presencia de alelos recesivos deletéreos (Charlesworth y Charlesworth, 1999). En las coníferas causa un aumento en el porcentaje de semillas vanas, así como un decremento en la germinación y en la tasa de crecimiento de la planta (Yazdani y Lindgren, 1991; Mosseler *et al.*, 2000). Este hecho ya ha sido observado en agrupaciones con pocos ejemplares y aisladas de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco en diferentes localidades, en particular, del centro de México (Mápula *et al.*, 2007), así como en *Picea mexicana* Martínez (Flores *et al.*, 2005).

El análisis de conos es una herramienta muy utilizada para conocer el estado reproductivo de las coníferas (López y Donahue, 1995; Flores *et al.*, 2005; Owens *et al.*, 2008;

## INTRODUCTION

Forest mass loss due to agriculture, game and illegal harvesting is a serious problem in Mexico. The small basin of the Angulo river is a part of the Lerma-Chapala basin in the section that belongs to the state of Michoacan. At the Southwest, in Zacapu, Nahuatzen and Coeneo municipios there are mountain zones that belong to the Mexican Transverse Volcanic Axis, that help to attract rain water, and are not exempt of the severe deforestation as well as the *Pinus* genus.

In this scene, the species with lower wood quality survive in a higher proportion and the harvesting of non-wood products such as rosin, favour tree conservation. *Pinus leiophylla* Schltdl. et Cham. combines these two conditions and might be very meaningful in keeping the forest cover and water reload. Some populations have been detected in Michoacan and are very important as they show good development in progeny essays at an international scale (Dvorak *et al.*, 2007).

*Pinus leiophylla* grows in four out of the five main mountain chains of the country (Sánchez, 2008), at an altitude of 1,700 up to 2,800 m and where annual rainfall is from 600 to 1,300 mm (Eguiluz, 1982). In order to know the potential possibilities of local restoration and artificial regeneration programs it is important to determine its reproductive abilities. Usually this species does not form pure masses, they gather into small groups with trees dispersedly distributed, with a rather low pollen amount and a high endogamic level (Saccheri *et al.*, 1998; Mosseler *et al.*, 2000; Rajora and Mosseler, 2001). The described pattern, thus, may have relevant consequences in full seed production per cone.

A high endogamic degree is the result of self-fecundation or of close family members mating, which is rather common in small populations and implies a homocygosis increment, which leads to vigour depression, due, mainly, to the presence of deleterious recessive alleles (Charlesworth and Charlesworth, 1999). In evergreens, it causes the rise of the empty seed per cent, as well as a decrease in the germination and plant growth rate (Yazdani and Lindgren, 1991; Mosseler *et al.*, 2000). This fact has already been observed in groups with a few isolated specimens of *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco in different locations of central Mexico (Mápula *et al.*, 2007), as well as in *Picea mexicana* Martínez (Flores *et al.*, 2005).

Cone analysis is a very usual tool to determine the reproductive condition of evergreens (López and Donahue, 1995; Flores *et al.*, 2005; Owens *et al.*, 2008; Sivacioglu and Ayan, 2008), as it shows the potential production of seeds, the damage proportion of them due to insects and their efficiency (Bramlett *et al.*, 1977). It is mandatory to determine those variables in order to diagnose the viability of natural populations and their seeding areas.

Sivacioglu y Ayan, 2008); indica la producción potencial de semillas, la proporción de daños en éstas por insectos y su eficiencia (Bramlett *et al.*, 1977). Determinar dichas variables es indispensable para diagnosticar la viabilidad de poblaciones naturales y de áreas semilleras.

El objetivo de este trabajo fue determinar el estado actual de indicadores reproductivos en conos de *Pinus leiophylla* y su implicación en un programa de manejo en la cuenca del Río Angulo en Zacapu, Michoacán, bajo la hipótesis de que en su estado actual, las poblaciones disminuidas y dispersas de esta especie en el área de estudio deben tener valores bajos en este concepto.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Colecta de material

En enero de 2009 se recolectaron 10 conos en cada uno de los 48 árboles maduros a una distancia mínima de 300 m

The aim of this research was to know the present state of the reproductive indicators of *Pinus leiophylla* cones and their implication in a management program of the Angulo river basin in Zacapu, Michoacan, following the hypothetical statement that in their present state, the undermined and dispersed populations of this species in the study area must have low endogamic depression.

## MATERIALS AND METHODS

### Collection of samples

In January 2009, ten cones were collected from the 48 mature trees with a 300 m minimum distance among them, following four representative routes of their natural distribution at the Zacapu region of Michoacan state (Figure 1). *P. leiophylla*'s density in the stands is scarce and trees have not been affected by the extraction of resin.



Figura 1. Ubicación de las rutas de muestreo de *Pinus leiophylla* en el suroeste de la Cuenca del río Angulo, Michoacán (área sombreada a la izquierda).

Figure 1. *Pinus leiophylla* sampling routes of the Angulo river basin, Michoacan

entre ellos, en cuatro rutas representativas de su distribución natural en la región de Zacapu, Michoacán (Figura 1). La densidad de *P. leiophylla* en los rodales es escasa y los árboles no están resinados.

### Obtención de datos y análisis

Se midió la longitud y el diámetro máximo de los estróbilos maduros en cm con vernier de plástico marca Scala y se calculó su volumen con la fórmula para el cono ( $1/3 (3.1416 r^2 h)$ ) (Baldor, 2004); los conos se secaron en estufa eléctrica marca Barnstead/Lab-Line Imperial V, modelo 3471, a 65°C por 36 h, de lo que resultó el peso del cono seco en gramos.

### Data and their analysis

Length and maximum diameter of the mature strobili were measured (cm) with a plastic Scala vernier and their volume was calculated through the cone formula  $1/3 (3.1416 r^2 h)$  (Baldor, 2004); the cones were dried in an electric Barnstead/ Lab-Line Imperial V 3471 model oven, at 65°C for 36 h, from which came the dry weight of cones in grams.

According to the cone analysis method of Bramlett *et al.* (1977), the following reproductive indicators were obtained: number of fertile and infertile scales, number of full seeds and

De acuerdo con el método de análisis de conos de Bramlett *et al.* (1977), se obtuvieron los siguientes indicadores reproductivos: número de escamas fértiles e infértiles, número de semillas llenas, vanas (separadas por flotación en solución de alcohol etílico al 10%), y dañadas por insectos. Se calculó el potencial de semillas como número de escamas fértiles x 2. La eficiencia de semillas como semillas llenas/potencial de semillas x 100. El porcentaje de semillas vanas, llenas y dañadas por insectos respecto al total de semillas desarrolladas. Se pesaron las semillas llenas y la eficiencia reproductiva resultó del peso de semillas llenas/peso del cono seco (mg/g). Se evaluó el número de óvulos abortivos mediante la diferencia entre el potencial de semillas y el número de semillas desarrolladas y se calculó su porcentaje como óvulos abortivos/potencial de semillas x 100.

Para determinar la variación de los indicadores reproductivos entre los árboles se utilizó el procedimiento PROC GLM, y para las asociaciones entre los caracteres medidos se hizo un análisis de correlación mediante el procedimiento PROC CORR, del paquete SAS®, con el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + a_i + \partial_{ij}$$

Donde:

- $Y_{ij}$  = observación en el j-ésimo cono del i-ésimo árbol
- $\mu$  = es la media general
- $a_i$  = es el efecto del i-ésimo árbol
- $\partial_{ij}$  = error experimental.

Cuando no hubo escamas fértiles los datos fueron eliminados.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Indicadores reproductivos

Los valores medios fueron los siguientes: 30.5 escamas fértiles por cono, lo que equivale a un potencial de semillas de 61, con un mínimo de dos y máximo de 162. El valor es inferior al registrado para 96 semillas potenciales (Owens *et al.*, 2008) en dos poblaciones silvestres de *Pinus albicaulis* Engelm.; 104 que obtuvieron López y Donahue (1995) en poblaciones naturales de *Pinus greggii* Engelm.; 172 y 226 en dos años consecutivos de análisis en *P. oaxacana* Mirov (Alba *et al.*, 2001); 106 de Alba y Márquez (2006) en *P. oaxacana* y 155 de Ramírez *et al.* (2007) en una plantación de *P. greggii*. Pero es comparable al resultado de 53 semillas potenciales que dio a conocer Delgado (1994) en esta misma especie, con los datos de Mápula *et al.* (2007) de 56 en *Pseudotsuga menziesii*, y de 30 referido por Sivacioglu y Ayan (2008) en un huerto semillero clonal de 13 años de *Pinus sylvestris* L. Estos dos últimos estudios coinciden en que sus valores son bajos comparados con los de otros autores.

empty seeds (divided by flotation on an ethylic alcohol solution at 10 per cent), and damaged by insects. Seed potential was calculated through the number of fertile scales x 2. Seed efficiency, by seeds/ seed potential x 100. The empty, full and insect -damaged seed per cent, as well as the empty, full and insect -damaged seeds in relation to the total amount of developed seeds. Full seeds were weighed and the reproductive efficiency was the result of that weight/ dry cone weight (mg g<sup>-1</sup>). The number of abortive ovules was assessed through the difference between seed potential and the number of developed seeds, and its percentage was calculated as abortive ovules/ seed potential x 100.

In order to determine the variability of the reproductive indicators among the trees, a PROC GLM procedure was followed and for the associations among the measured characters, a correlation analysis was made through the SAS® PROC CORR, according to the model:

$$Y_{ij} = \mu + a_i + \partial_{ij}$$

Where:

- $Y_{ij}$  = observation in the j- cone of the i- tree
- $\mu$  = general average value
- $a_i$  = effect of the i- tree
- $\partial_{ij}$  = experimental error

Data were eliminated when there were non fertile scales.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Reproductive indicators

The average values were: 30.5 fertile scales per cone, which equals a seed potential of 61, 2 as the lower limit and 162 as the upper limit. Such a value is lower than 96 potential seeds in two wild *Pinus albicaulis* Engelm populations (Owens *et al.*, 2008); 104 that López and Donahue (1995) obtained in natural populations of *Pinus greggii* Engelm.; 172 and 226 in two consecutive years of *P. oaxacana* Mirov analyzed data (Alba *et al.*, 2001); 106 from Alba and Márquez (2006) of *P. oaxacana* and 155 from Ramírez *et al.* (2007) in a *P. greggii* plantation. But it is closer to the 53 potential seeds that Delgado (1994) found in this same species, as well as to the 56 *Pseudotsuga menziesii* seeds from Mápula *et al.* (2007) and to the 30 referred by Sivacioglu and Ayan (2008) in a *Pinus sylvestris* L. 13 year old clonal seed orchard. The two last ones have in common that their values are rather low compared with those from other authors.

The average value of the full seeds efficiency was 1.97 per cent, with a variation between 0 and 60, which is contrasting with the 17 per cent value of the same species (Delgado, 1994); 62.6 per cent of *Pinus greggii* (López and Donahue, 1995);

El valor promedio de la eficiencia media de semillas llenas fue de 1.97%, con una variación de cero a 60%, lo que contrasta con el 17% en la misma especie (Delgado, 1994); 62.6% de *Pinus greggii* (López y Donahue, 1995); 53.8% en *P. oaxacana* (Alba y Márquez, 2006); 40.3% en una plantación de *P. greggii* (Ramírez et al., 2007); 25.5% en *Pseudotsuga menziesii* (Mápula et al., 2007); 47.9% en dos poblaciones silvestres de *Pinus albicaulis* (Owens et al., 2008) y 17.9% en un huerto semillero clonal de *P. sylvestris* (Sivacioglu y Ayan, 2008). La población estudiada está muy por debajo de estos resultados.

La media de óvulos abortivos por cono fue de 44.5 que equivale a 72.9%, con una mínima de cero y máxima de 100%, resultado que es superior al 54.7% obtenido por Delgado (1994) en la misma especie en otra región de Michoacán, 39% en *Pinus greggii* (López y Donahue, 1995), y 34% en *Pseudotsuga menziesii* (Mápula et al., 2007). Esto se puede interpretar como consecuencia de la escasez de polen. Se identificaron 16.6 semillas desarrolladas por cono (llenas, vanas y plagadas), con una media de 1.2 semillas llenas con un mínimo de cero y un máximo de 19, inferior a 24 que contabilizó Delgado (1994), 65 que encontraron López y Donahue (1995) y 11.6 de Sivacioglu y Ayan (2008). De las semillas desarrolladas, se encontraron 89.2% de semillas vanas y 7.25% de llenas. Este último resultado es inferior a 37.8% que Delgado (1994) obtuvo también en *Pinus leiophylla*, 38% en *Pseudotsuga menziesii* (Mápula et al., 2007) y 43.6% en *Pinus sylvestris* (Sivacioglu y Ayan, 2008). La baja proporción de semillas llenas podría atribuirse a la manifestación de alelos recesivos letales originada por la autopolinización y cruzamiento entre parientes cercanos (Mosseler et al., 2000).

El porcentaje de semillas dañadas por insectos del total de semillas desarrolladas fue de 3.6%, con un mínimo de cero y máximo de 100%. A partir de este porcentaje el daño por insectos no es un problema significativo. La eficiencia reproductiva media fue de 2.49 mg g<sup>-1</sup>, valor también inferior a 29.6 mg g<sup>-1</sup> determinado por Mápula et al. (2007) en *Pseudotsuga menziesii*.

En general, las variables medidas en *Pinus leiophylla* tuvieron valores menores a los indicadores reproductivos respecto a otras especies de pino y de otras coníferas, como se aprecia en la Figura 2, en la que se comparan las cifras promedio calculadas con los datos de los autores mencionados en los párrafos anteriores, con los correspondientes al presente estudio; coinciden con los materiales evaluados en Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán (Delgado, 1994), pero en el actual, los resultados fueron aún más bajos a los de esta última investigación, lo que puede atribuirse a una densidad de población más escasa, ya que en el citado estudio se menciona que al elegir los sitios de colecta se buscaron masas puras o dominantes.

53.8 per cent in *P. oaxacana* (Alba and Márquez, 2006); 40.3 per cent in a plantation of *P. greggii* (Ramírez et al., 2007); 25.5 per cent in *Pseudotsuga menziesii* (Mápula et al., 2007); 47.7 per cent in two wild populations of *Pinus albicaulis* (Owens et al., 2008) and 17.9% in the *Pinus sylvestris* clonal seed orchard afore mentioned. The present population is quite under these results.

The abortive ovule average per cone was 44.5, which is equivalent to 2.9 per cent, with a 0 minimum and a 100 per cent maximum, that is a higher result than the 54.7 per cent obtained by Delgado (1994) with the same species in a different region of the state of Michoacan, to the 39 per cent in *P. greggii* (López and Donahue, 1995) and 34 per cent in *Pseudotsuga menziesii* (Mápula et al., 2007). This can be understood as a consequence of pollen scarcity. 16.6 developed seeds per cone (full, empty or insect-damaged), with an average of 1.2 full seeds with zero as a minimum and 19 as a maximum value, which is lower than the 24 counted by Delgado (1994), 65 found by López and Donahue (1995) and 11.6 by Sivacioglu and Ayan (2008). Of the fully developed seeds, 89.2 per cent were empty and 7.35 per cent, full. This last result is lower than the 37.8 per cent that Delgado (1984) recorded too in *Pinus leiophylla*; to the 38 per cent in *Pseudotsuga menziesii* by Mápula et al. (2007) and to the 43.6 per cent in *Pinus sylvestris* (Sivacioglu and Ayan, 2008). The low full seed proportion could be explained by the recessive lethal alleles from autopolinization and inbreeding between close relatives (Mosseler et al., 2000).

Of the total amount of fully developed seeds, 3.6 per cent were insect-damaged, with zero as minimum and 100 per cent as maximum. From this percentage, damage inflicted by insects is not a significant problem. The average reproductive efficiency was 2.49 mg g<sup>-1</sup>, a lower value to 29.6 mg g<sup>-1</sup> determined by Mápula et al. (2007) in *Pseudotsuga menziesii*.

In general terms, the variables measured in *Pinus leiophylla* had lower values than the reproductive indicators compared to other pine and conifer species; which the average numbers of the actual study assessed in are compared with the data of the former authors, are coincident with the materials assessed at Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán (Figure 2) (Delgado, 1994); however, they are even lower, a fact that can be attributed to a more scarce population, as the selected sites should have dominant or pure tree masses.

Insect damage, potential and seed efficiency and reproductive state were low, which can be related to pollen scarcity and self-pollination, which can be due to the small size of populations, or to high endogamic levels.

There were significant differences (p<0.01) among trees, which might be due, at least partially, to heterogeneous population densities between the collection sites.

Como el daño por insectos, el potencial y la eficiencia de semillas y el estado reproductivo fueron bajos, puede estar relacionado con escasez de polen y autopolinización, lo que, a su vez, puede deberse al tamaño reducido de las poblaciones, o bien a niveles de endogamia altos y depresión.

Para todas las variables medidas hubo diferencias altamente significativas entre árboles ( $p < 0.01$ ), lo que puede responder, al menos parcialmente, a densidades de población heterogéneas entre los sitios de colecta.

### Correlación entre variables

La mayor parte de las variables estuvieron asociadas significativamente (Cuadro 1). La excepción fue el porcentaje de semillas dañadas por insectos. Como se podía esperar, el correspondiente a semillas llenas estuvo asociado positivamente con su eficiencia ( $r = 0.780$ ), y con la reproductiva ( $r = 0.446$ ) y negativamente con el de semillas vanas ( $r = -0.833$ ).

El volumen del cono mostró una tendencia a una asociación positiva con el potencial de semillas ( $r = 0.332$ ). El porcentaje de semillas llenas tuvo una tendencia a la asociación negativa ( $r = -0.346$ ) con el mismo. Estos resultados coinciden con los de Sivacioglu y Ayan (2008) en *Pinus sylvestris*, quienes concluyen que los conos de mayor volumen tienen un mayor número de

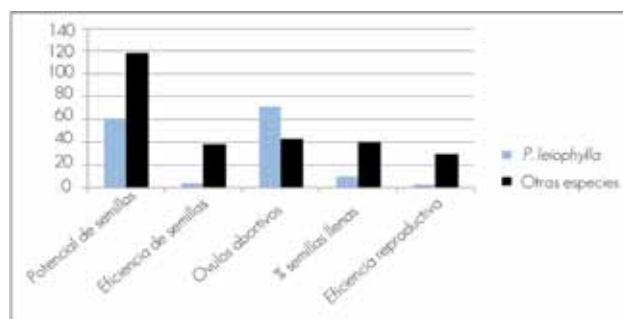


Figura 2. Valores de variables medidas en *Pinus leiophylla* y valores promedio en otras especies de coníferas y de *Pinus*.

Figure 2. Values of the measured variables in *Pinus leiophylla* and average values in other conifer and in different *Pinus* species.

### Variable co-relation

Most of the variables were significantly associated (Table 1), except for the insect-damaged seed per cent. As expected, the corresponding number for full seeds was positively associated with its efficiency ( $r = 0.780$ ) and with the reproductive ( $r = 0.446$ ) and in the negative form with the empty seeds ( $r = -0.833$ ).

Cuadro 1. Valores de correlación de Pearson entre los indicadores reproductivos medidos en *Pinus leiophylla*.  
Table 1. Pearson's correlation values among the reproductive indicators measured in *Pinus leiophylla*.

	Volumen del cono	Potencial de semillas	Eficiencia de semillas	Porcentaje de semillas vanas	Porcentaje de semillas llenas	Porcentaje de semillas dañadas por insectos	Eficiencia reproductiva	Porcentaje de óvulos abortivos
Peso Seco	0.535**	0.384**	-0.162**	0.177**	-0.181**	-0.036ns	-0.175**	-0.044ns
Vol Cono		0.332**	-0.166**	0.154**	-0.170**	-0.011ns	-0.135**	0.228**
Pot Sem			-0.416**	0.276**	-0.346**	0.045ns	-0.155*	0.165**
Ef Sem				-0.641**	0.780**	-0.064ns	0.406**	-0.472**
% Vanas					-0.833**	-0.500**	-0.371**	0.093*
% Llenas						-0.062ns	0.446**	-0.194**
% Dañadas							-0.028ns	0.136**
Ef Repr								-0.131**

Vol Cono = Volumen del cono; Pot Sem = Potencial de semillas; Ef Sem = Eficiencia de semillas; % Vanas = Porcentaje de semillas vanas; % Llenas = Porcentaje de semillas llenas; % Dañadas = Porcentaje de semillas dañadas por insectos; Ef Repr = Eficiencia reproductiva; \*\* =  $p < 0.01$ ; \* =  $p < 0.05$ ; ns = no significativo.  
VolCono=volume; Pot Sem = Seed potential; EfSem = Seed efficiency; % Vanas = Empty seed per cent; % Llenas = Full seed per cent; % Dañadas = Insect-damaged seed per cent; Ef Repr = Reproductive efficiency; \*\* =  $p < 0.01$ ; \* =  $p < 0.05$ ; ns = non significant.

escamas fértiles (mayor potencial de semillas) y Mápula *et al.* (2007) que encontraron asociación positiva y significativa entre longitud de cono y escamas fértiles en *Pseudotsuga menziesii*.

Sin embargo, respecto al porcentaje de semillas llenas, los primeros autores encontraron en un huerto semillero clonal de

The volume of the cone showed a tendency to a positive association with the seed potential ( $r = 0.332$ ). The full seed per cent had a negative association tendency ( $r = -0.346$ ) with it. These results are coincident with what Sivacioglu and Ayan (2008) found in *Pinus sylvestris*, who concluded that the cones with larger volume have a higher number of

*Pinus sylvestris* una fuerte asociación positiva con el volumen del cono, mientras que los segundos, al trabajar con poblaciones pequeñas y aisladas de *Pseudotsuga menziesii*, coinciden con el presente trabajo en que no hay una asociación significativa con la longitud y el peso seco del cono. Por su parte Nieto de Pascual et al. (2003) trabajando con *Abies religiosa* (HBK.) Schltdl. et Cham. obtuvieron una asociación positiva y significativa entre las dimensiones del cono y el número total de semillas, pero no con la viabilidad de las semillas.

Esto puede reforzar la hipótesis de que el problema principal es la escasez de polen por la baja densidad de población; sin embargo, existe la posibilidad de que aun habiendo polen, la polinización pueda fallar, como lo evidencian los resultados de Zavala y Méndez (1996) en *Pseudotsuga macrolepis* Flous, quienes trabajaron bajo polinización artificial controlada e identificaron diferencias pequeñas y no significativas entre conos polinizados y no polinizados.

Desde el punto de vista de la recolección de semilla, es común que se prefiera a los conos de mayor tamaño, lo que generalmente está asociado a un mayor porcentaje de semillas llenas y viabilidad. Podemos concluir que ese procedimiento es el correcto cuando la densidad de población es alta, pero los resultados esperados no concuerdan cuando las poblaciones han sido mermadas y los árboles se distribuyen de manera dispersa.

## CONCLUSIONES

Los valores reproductivos son muy bajos con relación a los determinados en otras especies de coníferas y los obtenidos para la misma especie en un estudio previo. Estos resultados probablemente se deben a la baja producción de polen por área, asociada a la baja densidad de árboles de *P. leiophylla* y a la existencia de procesos de endogamia. Se descartaron problemas importantes por insectos plaga. Las poblaciones locales de esta especie no pueden ser candidatas para programas de repoblación y mantenimiento de la cubierta forestal. Por el contrario, se sugiere el desarrollo y aplicación de un programa de rescate de estas poblaciones remanentes.

## AGRADECIMIENTOS

A la Coordinación de Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo por el financiamiento del proyecto número 15.6, clave 37 - RMCA. Al Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología del Estado de Michoacán por el financiamiento del proyecto con clave 08-02/50.

fertile scales (more seed potential) and Mapula et al (2007) who found a positive and significant association between the length of the cone and the fertile scales of *Pseudotsuga menziesii*.

In regard to the full seed per cent, the first authors determined a strong positive association with the volume of the cone in a clonal seeding *Pinus sylvestris* orchard, while the second ones, when they worked with small and isolated populations of *Pseudotsuga menziesii*, coincided with the actual work in that there is no significant association with the length and dry weight of the cone. Nieto de Pascual et al. (2003) determined a positive and significant relation between the size of the cone and the total number of seeds, but not with their viability.

The former data strengthen the hypothesis that the main problem is the lack of pollen due to a low population density; however, there is a possibility that, even if there is enough pollen, pollination might fail, as the results of Zavala and Méndez (1996) confirm with *Pseudotsuga macrolepis* Flous, and who worked with controlled artificial pollination and identified non-significant small differences between pollinated and non-pollinated cones.

From the view point of seed recollection, it is common that larger cones are preferred, since it is generally associated with a greater per cent of full and viable seeds. Thus, it is possible to conclude that this is the right procedure when there is a high population density, but these results do not accord when populations have been diminished and the trees are disperse.

## CONCLUSIONS

The reproductive values are very low in regard to those determined for other conifer species and those obtained for the same specie in a previous study. Probably, these results are due to the low pollen production per area, which is associated to the low *Pinus leiophylla* tree density and the presence of endogamic processes. Severe insect problems were not important. Local populations of the species are not good options for reforestation and cover conservation programs. On the contrary, it is suggested to develop and apply a program to rescue the remaining populations.

## ACKNOWLEDGEMENTS

To the Scientific Research Coordination of the Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo for the financial support provided to the project number 15.6, key 35-RMCA. To the Science and Technology State Council of Michoacan State for the financial support of the project with key number 08-02/50.

End of the English version

## REFERENCIAS

- Alba L., J., L. C. Mendizábal H. y J. Márquez R. 2001. Comparación del potencial de producción de semillas de *Pinus oaxacana* Mirov de dos cosechas en Los Molinos, Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 3(1): 35-38.
- Alba L., J. y J. Márquez R. 2006. Potencial y eficiencia de producción de semillas de *Pinus oaxacana* Mirov de Los Molinos, Perote, Veracruz. *Foresta Veracruzana* 8(1): 31-36.
- Baldor, J. A. 2004. Geometría plana y del espacio y trigonometría. Vigésima reimpresión. Publicaciones Cultural, S. A. de C. V. México, D. F. México. 268 p.
- Bramlett, D. L., E. W. Belcher Jr., G. L. DeBarr, J. L. Hertel, R. P. Karrfalt, C.W. Lantz, T. Miller, K. D. Ware, and H. O. III Yates. 1977. Cone analysis of southern pines: a guidebook. Gen. Tech. Rep. SE-13. USDA For. Serv., Southeastern For. Exp. Stn. Asheville, N.C. USA. 28 p.
- Charlesworth, B. and D. Charlesworth. 1999. The genetic basis of inbreeding depression. *Genetical Research* 74: 329-340.
- Dvorak, W. S., G. R. Hodge and J. E. Kietzka. 2007. Genetic variation in survival, growth, and stem form of *Pinus leiophylla*. *Southern Hemisphere Forestry Journal* 69(3): 125-135.
- Delgado V., P. 1994. Evaluación de la capacidad reproductiva y eficiencia de semillas para tres especies del género *Pinus* (*P. montezumae* Lamb., *P. pseudostrobus* Lind. y *P. leiophylla* Schl. & Cham.), en la zona boscosa de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, México. *Bol. Soc. Bot. Méx.* 54: 267-274.
- Eguiluz P., T. 1982. Clima y distribución del género *Pinus* en México. *Ciencia Forestal* 7 (38): 30-44.
- Flores L., C., J. López U. y J. J. Vargas H. 2005. Indicadores reproductivos en poblaciones naturales de *Picea mexicana* Martínez. *Agrociencia* 39: 117-126.
- López U., J. and J. K. Donahue. 1995. Seed production of *Pinus greggii* Engelm. in natural stands in Mexico. *Tree Planters' Notes* 46(3):86-92.
- Mápula L., M., J. López U., J. J. Vargas H. and A. Hernández L. 2007. Reproductive indicators in natural populations of Douglas-fir in Mexico. *Biodiversity and Conservation* 16: 727-742.
- Mosseler A., J. E. Major, J. D. Simpson, B. Daigle, K. Lange, Y. S. Park, K. H. Johnsen and O. P. Rajora 2000. Indicators of population viability in red spruce, *Picea rubens*. I. Reproductive traits and fecundity. *Canadian Journal of Botany* 78: 928-940.
- Nieto de Pascual P., C., M. A. Musalem y J. Ortega A. 2003. Estudio de algunas características de conos y semillas de *Abies religiosa* (HBK) Schl. et Cham. *Agrociencia* 37: 521-531.
- Owens, J. N., T. Kittirat and M. F. Mahalovich. 2008. Whitebark pine (*Pinus albicaulis* Engelm.) seed production in natural stands. *Forest Ecology and Management* 255 (3-4): 803-809.
- Rajora, O. P. and A. Mosseler. 2001. Challenges and opportunities for conservation of forest genetic resources. *Euphytica* 118: 197-212.
- Ramírez G., E. O., J. Márquez R. y O. Hernández C. 2007. Estudio de conos de *Pinus greggii* Engelm. de una plantación en el municipio de Naolinco, Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 9(2): 39-44.
- Saccheri, I., M. Kuussaari, M. Kankare, P. Vikman, W. Fortelius and I. Hanski. 1998. Inbreeding and extinction in a butterfly metapopulation. *Nature* 392: 491-494.
- Sánchez G., A. 2008. Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos de México. *Madera y Bosques* 14(1): 107-120.
- Sivacioglu, A. and S. Ayan. 2008. Evaluation of seed production of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) clonal seed orchard with cone analysis method. *African Journal of Biotechnology* 7 (24): 4393-4399.
- Yazdani, R. and D. Lindgren. 1991. The impact of self-pollination on production of sound selfed seeds. In: Fineschi, S., M. E. Malvolti, F. Cannata and H. H. Hattmer (eds), *Biochemical Markers in the Population Genetics of Forest Trees*. SPB Academic Publishing bv, The Hague, The Netherlands. pp. 143-147.
- Zavala Ch., F. y J. T. Méndez M. 1996. Factores que afectan la producción de semilla en *Pseudotsuga macrolepis* Flous en el estado de Hidalgo, México. *Acta Botánica Mexicana* 36: 1-13.