

INDICADORES DE MADURACIÓN EN CONOS DE *PSEUDOTSUGA MENZIESII* (MIRB.) FRANCOINDEXES OF MATURATION IN CONES OF *PSEUDOTSUGA MENZIESII* (MIRB.) FRANCO

**Gabriel Martínez Cantera<sup>1</sup>, Javier López Upton<sup>1\*</sup>, J. Jesús Vargas Hernández<sup>1</sup>,  
Jesús Jasso Mata<sup>1</sup> y Vidal Guerra de la Cruz<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Programa Forestal, Campus Montecillo, Colegio de Postgrados. Km 36.5. Carr. México-Texcoco, Montecillo, Edo de Mexico. Tel. y Fax: 01 (595) 952-0256. <sup>2</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas Pecuarias y Forestales, Tlaxcala. Km. 2.5 Carr. Tlaxcala-Santa Ana Chiautempan, Tlaxcala, Tlax.

\* Autor para correspondencia (uptonj@colpos.mx)

## RESUMEN

El pinabete (*Pseudotsuga menziesii*) es una conífera valiosa para la producción de árboles de navidad, lo que requiere un abasto continuo de semilla. El límite austral de la distribución natural de esta especie se ubica en México, donde se desconoce el momento adecuado para la colecta de los conos que garantice la máxima calidad de semillas. En este estudio se hicieron tres colectas cada 15 d a partir de la última semana de septiembre, en 52 árboles de tres rodales naturales de pinabete en los Estados de Hidalgo y Tlaxcala. Se evaluó color, densidad relativa y contenido de humedad de los conos como criterios de maduración, que variaron con las fechas de colecta. Las características de peso unitario de semilla, peso seco de cono y relación entre estas dos, no difirieron significativamente entre fechas de colecta ni con los indicadores de maduración. La apertura de los conos en la etapa de beneficio es ligeramente más fácil con conos colectados en la última fecha, cuando los conos cambian de color verde a café. La capacidad y velocidad de germinación fue similar entre las fechas de colecta y entre las categorías de los criterios de maduración usados, y varió de 22 a 30 % entre poblaciones; la colecta más temprana de todos los sitios tuvo menor germinación. En las localidades de *Pseudotsuga menziesii* del centro de México es posible colectar conos hasta cuatro semanas antes de la dispersión de la semilla de buena calidad (finales de septiembre), aunque el beneficio de la semilla es ligeramente más difícil.

**Palabras clave:** *Pseudotsuga*, maduración del cono, pinabete, semillas.

## SUMMARY

Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) is a valuable tree for Christmas tree production, and continuous seed supply is required. The southernmost limit of its natural distribution is located in México, where the appropriate window time for cone collection to obtain the best seed quality is unknown. In this research cone collections were made every 15 d, starting in late-September, on 52 trees from three natural stands of Douglas-fir with contrasting conditions in the states of Hidalgo and Tlaxcala, México. Color, relative density and moisture content of cones were evaluated as maturity criteria. Cone maturation varied across collection date. Seed weight, cone dry weight, and the relationship of these two traits did not vary significantly

across dates and neither across categories of the maturity criteria. However, seed extraction from the cones was easier as cones became mature, turning from green color to brown. The seed germination capacity and velocity was also similar across collection dates or as the maturity criteria changed, with values of 22 to 30 % among locations, but the earliest collection in one location had the lowest germination percentage. For *Pseudotsuga menziesii* located at central México is possible to collect cones up to four weeks (late September) before seed dispersion to obtain good quality seed, even though the cost in cone processing will increase a little.

**Index words:** *Pseudotsuga*, Douglas-fir, maturity of cone, seeds.

## INTRODUCCIÓN

En México se ubica el extremo austral de la distribución natural del género *Pseudotsuga* en el Continente Americano. En esta región se ha reconocido que las poblaciones naturales del llamado pinabete pertenecen a la especie *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco (Reyes-Hernández *et al.*, 2006), que se distribuye principalmente en la parte norte de la Sierra Madre Occidental y de la Sierra Madre Oriental, y raramente en la zona este del Eje Volcánico Transversal, y en la Sierra Madre del Sur (Domínguez, 1994; Del Castillo *et al.*, 2004). Aunque esta conífera no es de gran importancia maderable en México debido a que no ocupa grandes extensiones, sí representa un gran valor ecológico y genético puesto que las poblaciones, especialmente del centro del país, ocupan hábitats específicos, en cañadas situadas en elevaciones mayores a 2500 m. Pese al uso doméstico que le dan los pobladores, la especie ha cobrado mayor importancia en plantaciones para árboles de navidad.

Para el uso de esta especie en plantaciones comerciales y en programas de repoblación, es deseable que se utilice semilla de buena calidad, dado que su reproducción es por

este medio. Las poblaciones de *Pseudotsuga* del centro del país son de tamaño reducido, aisladas, de baja capacidad reproductiva (Zavala y Méndez, 1996; Mápula *et al.*, 2007), y con escasa regeneración, por lo que es necesaria la repoblación artificial para incrementar el número de individuos; dicha repoblación además permitiría intercambiar materiales entre poblaciones cercanas y contrarrestar los efectos de la deriva genética y la endogamia. Ambos factores son comunes en poblaciones de coníferas aisladas, de baja densidad y tamaño reducido (Yazdani y Lindgren, 1991), con la consecuente reducción del número de semillas llenas por cono y de su capacidad germinativa (Mápula *et al.*, 2007).

Para la obtención del germoplasma se requiere conocer la fecha aproximada de maduración del cono y la semilla, puesto que los conos maduran en diferentes fechas entre localidades, y entre y dentro de árboles, dependiendo de las condiciones ambientales de cada lugar y de factores genéticos. Los estróbilos femeninos comienzan a madurar durante agosto, con una reducción de peso al perder humedad, y cambian lentamente de un color verde a café (Owens, 1973). Si las condiciones ambientales son de baja humedad y alta temperatura es muy probable que los conos aceleren su maduración y la apertura de las escamas, y ocurra una temprana dispersión de la semilla. En condiciones opuestas (*i.e.*, alta humedad relativa y temperaturas bajas) se retrasará la maduración del cono y la apertura de las escamas. Se ha reportado que la dispersión de la semilla de esta especie en poblaciones del centro de México inicia en el mes de octubre (Velasco *et al.*, 2007), aunque el momento preciso varía entre años y entre árboles. Otro factor que reduce la cantidad de semilla es la depredación por roedores e insectos, la que se evita mediante colectas antes de la completa maduración de los conos.

Por otro lado, la dificultad para llegar a poblaciones lejanas o de difícil acceso hace costosa la colecta de conos en el momento adecuado; por ello es común que se obtengan conos que no se encuentran plenamente maduros (de

color verde), lo que puede reducir la calidad de la semilla (Allen y Owens, 1972). Por ello, es importante conocer con precisión la fecha de maduración de los conos de diferentes árboles e identificar signos externos que distingan un cono suficientemente maduro para la cosecha. Los estróbilos femeninos que están cercanos a su madurez pueden manejarse en la etapa de beneficio para que estos terminen de madurar bajo condiciones de sombra (Kolotelo, 1997); sin embargo, para evitar costos altos en esta etapa, los conos deben abrir plenamente.

Por lo anterior, el presente estudio tuvo como objetivos determinar la época adecuada de colecta de conos en tres poblaciones de *Pseudotsuga* del centro del país con base en la producción de semillas por cono y la germinación de éstas, e identificar características de los conos que pueden ser utilizadas como indicadores de madurez de conos y semillas para la especie.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del área de estudio

A finales del mes de agosto del año 2003 se hicieron visitas previas a tres poblaciones de *Pseudotsuga menziesii* (Cuadro 1) para programar tres colectas en cada población. Dos cosechas antes de la maduración completa y una en esta etapa, lo que ocurrió durante septiembre y octubre. El intervalo entre cada cosecha fue de dos semanas, de modo que entre la primera y la tercera colecta transcurrieron aproximadamente cuatro semanas. Debido a la elevada y variable precipitación en agosto y septiembre de 2003 la maduración de los conos se retrasó y causó diferencias en la fecha de maduración de cada localidad. Se eligieron al azar de 16 a 20 árboles en cada población, que tuvieran suficientes conos para garantizar tres colectas por árbol. Se estableció una distancia mayor a 50 m entre cada árbol, para reducir la posibilidad de parentesco y aumentar la representatividad de las condiciones ambientales en la población.

Cuadro 1. Ubicación, datos climáticos y fechas de colecta de conos en las tres poblaciones de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco en los Estados de Hidalgo y Tlaxcala.

Población		
San José Capulines, Mineral del Chico, Hidalgo	El Salto, Singuilucan, Hidalgo	Zapata, Zapata, Tlaxcala
Latitud Norte	20° 11' 25''	20° 04' 34''
Longitud Oeste	98° 47' 42''	98° 32' 37''
Altitud (msnm)	2855	2955
Temperatura media (°C) <sup>†</sup>	12.5	12.0
Precipitación anual (mm) <sup>†</sup>	850	850
Primera colecta	21 / 09 /2003	18 / 09 /2003
Segunda colecta	07 / 10 /2003	26 / 09 /2003
Tercera colecta	24 / 10 /2003	14 / 10 /2003

<sup>†</sup>Fuente: INEGI (1988).

### Variables evaluadas en conos y semillas

Se evaluaron dos grupos de variables: el primero comprendió criterios de maduración de los conos: densidad relativa, contenido de humedad y color; el segundo grupo corresponde a variables de respuesta asociadas con la calidad de la semilla: peso seco de cono, peso unitario de semilla llena, relación peso unitario de semilla llena/peso seco de cono, apertura de cono y germinación de semilla. Se colectaron 15 conos sanos por árbol en cada fecha; en cinco de ellos se determinó el color exterior mediante una escala de colores para plantas (Tabla Munsell), y luego se hizo un análisis destructivo del cono para determinar la consistencia de la semilla. Inicialmente se obtuvieron diecinueve tipos de color, pero hubo colores que ocurrieron con baja frecuencia, por lo que se hicieron siete clases de colores para el análisis. El valor de 1 correspondió a los conos de color verde ("inmaduro") y así sucesivamente hasta llegar a los conos de color café oscuro que correspondió al valor 7 ("maduro").

En los restantes diez conos por árbol se determinaron los otros criterios de maduración y las variables asociadas a la calidad de la semilla. La densidad relativa de los conos se evaluó en una solución de alcohol (alcohol etílico 98%) y agua destilada en diferentes proporciones (Cuadro 2). Puesto que los conos inmaduros presentan mayor densidad que los conos maduros, se utilizó el alcohol que es de menor densidad que el agua destilada. Los estróbilos, de acuerdo con su madurez, se hunden o flotan en la solución; por ejemplo, los conos muy inmaduros se sumergen en el agua destilada, pero a medida que maduran no se sumergen en ésta, y es necesario usar las mezclas con alcohol.

*Cuadro 2. Mezclas de agua destilada y alcohol etílico usadas para obtener la densidad relativa de conos de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco.*

Valor densidad	Agua destilada	Alcohol etílico (98 %)
1	50 %	50 %
2	60 %	40 %
3	80 %	20 %
4	100 %	0 %
5	*	

Del 1 al 4 los conos se hunden parcial o totalmente; \* El cono no se sumergió en agua destilada.

El contenido de humedad del cono se obtuvo con base en su peso verde y seco como:

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = \frac{[(\text{Peso verde} - \text{Peso seco}) / \text{Peso seco}] \times 100}{}$$

El peso verde del cono se obtuvo en laboratorio inmediatamente después de la colecta, con una balanza analítica (Ohaus Scout). Después de extraer la semilla, los estróbi-

los sin semilla se secaron en una estufa a 70 °C por 72 h y se pesaron en la misma balanza analítica.

Para determinar el grado de apertura del cono, los diez conos por árbol fueron identificados y puestos en bolsas hechas de malla mosquitero, las que fueron colocadas en un lugar a media sombra, colgadas, con suficiente aeration durante cuatro meses (de noviembre a febrero) para provocar la apertura del cono y obtener la semilla. Esta apertura se evaluó mediante un índice con valores de 1 a 5, donde 1 = cono cerrado, 2 = 25 % de escamas abiertas, 3 = 50 % de escamas abiertas, 4 = 75 % de escamas abiertas, y 5 = 100 % de escamas abiertas dispuestas para liberar la semilla. Con la balanza analítica se determinó el peso unitario de la semilla con base en el número de semillas por cono y su peso a 10 % de humedad. Se obtuvo una relación entre el peso de la semilla llena (unitario) y el peso seco del cono; se consideró semilla llena aquella con embrión y megagametofito.

Con las semillas llenas se evaluó la capacidad y la velocidad germinativa. La capacidad germinativa se determinó como el porcentaje de plantas que emergieron del sustrato en un periodo de 30 d. La velocidad de germinación se determinó como el número de días transcurridos para que 50 % de las plántulas emergieran del sustrato. Dado que la producción de semilla llena fue escasa y altamente variable por cono y fecha (desde 1 a 22 semillas llenas), con el fin de tener repeticiones y mantener el control por árbol dentro de cada población, se estableció un arreglo para controlar las fechas y poblaciones, con los árboles considerados como repeticiones de esos dos factores. La siembra se hizo en septiembre de 2004 en contenedores cónicos de polietileno de 250 cm<sup>3</sup> (5.5 cm de diámetro por 18 cm de largo), en un sustrato compuesto por turba, vermiculita y agrolita en proporción 50:30:20, con un total de 10 062 semillas llenas. Antes de la siembra, las semillas se remojaron en agua destilada durante 20 h a 21 °C y se estratificaron a 2 °C durante siete semanas (El-Kassaby y Thompson, 1996). Para la germinación, los contenedores con las semillas se colocaron dentro de un invernadero, con una temperatura media de 22 °C en el día y 13 °C en la noche, y aplicación de riego cada 2 d.

### Análisis estadístico

Primero se analizaron los criterios de maduración: densidad relativa, contenido de humedad y color del cono, para identificar el más eficiente para detectar la fecha de colecta más adecuada. El peso seco de cono, peso unitario de semilla llena, relación peso semilla llena (unitario)/peso seco del cono y grado de apertura de cono se consideraron como variables de respuesta para identificar el criterio de madurez más eficiente. Con el propósito de cumplir con

los supuestos estadísticos para realizar un análisis de varianza, se hizo una prueba de normalidad a todas las variables mediante el procedimiento Proc Univariate (SAS Institute, 1988). Con excepción de la apertura, todas las variables se transformaron con arcoseno (valor)<sup>-2</sup> o con (valor)<sup>-2</sup>. Se verificó que esas transformaciones dieran el mayor ajuste de acuerdo con la prueba de Shapiro-Wilk.

Para detectar diferencias asociadas a los criterios de maduración en relación a la fecha de recolección, en todas las variables se usaron valores promedio por árbol, después de remover el efecto de poblaciones y de árboles dentro de poblaciones, mediante un análisis de varianza con medidas repetidas (Gumpertz y Brownie, 1993) con el siguiente modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + P_i + \alpha_{ij} + F_k + PF_{ik} + \varepsilon_{ijk} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:  $Y_{ijkl}$  = valor observado de la variable en la  $k$ -ésima fecha en el  $j$ -ésimo árbol de la  $i$ -ésima población;  $\mu + P_i + \alpha_{ij}$  = efectos entre los sujetos (poblaciones), con  $\mu$  = media general,  $P_i$  = efecto de la  $i$ -ésima población y  $\alpha_{ij}$  = error asociado al  $j$ -ésimo valor promedio en el árbol;  $F_k + PF_{ik} + \varepsilon_{ijk}$  = efectos dentro de sujetos asociados al patrón de colecta anual, con  $F_k$  = efecto de la  $k$ -ésima fecha de muestreo;  $PF_{ik}$  = efecto de la interacción del  $i$ -ésima población con la  $k$ -ésima fecha de colecta;  $\varepsilon_{ijk}$  = error asociado a la  $k$ -ésima fecha de colecta en el  $j$ -ésimo árbol de la  $i$ -ésima población (error de muestreo).

Para comparar la consistencia de los criterios de maduración de conos entre poblaciones se hicieron análisis por población, con el modelo anterior pero sin incluir el efecto de poblaciones. Para determinar posibles diferencias asociadas con la densidad y con el color de los conos en las variables de respuesta medidas en los conos y semillas independientemente de la fecha de colecta, se hicieron análisis de varianza cuyas variables categóricas fueron color y densidad de cono, con el modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + C_k + P_j + A(P)_{ij} + CP_{jk} + E_{ijk} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:  $Y_{ijk}$  = valor observado de la característica en el  $i$ -ésimo árbol de la  $j$ -ésima población en el  $k$ -ésimo criterio de madurez;  $\mu$  = valor promedio general;  $C_k$  = efecto del  $k$ -ésimo criterio de madurez;  $P_j$  = efecto de la  $j$ -ésima población;  $A(P)_{ij}$  = efecto del  $i$ -ésimo árbol dentro de poblaciones;  $CP_{jk}$  = efecto de la interacción criterio de madurez con población, y  $E_{ijk}$  = error aleatorio de muestreo dentro de árboles.

Debido a que el contenido de humedad del cono es una variable continua se hizo análisis de correlación con las

variables de respuesta en conos y semillas. Las dos variables de germinación se analizaron con los valores promedio por árbol, así que se usó la Ec. 1 para detectar diferencias entre fechas de colecta, y la Ec. 2 para determinar su relación con los criterios de madurez, densidad relativa y color del cono.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Criterios de maduración de conos

Se encontraron diferencias significativas ( $P \leq 0.001$ ) entre fechas de colecta en la densidad relativa, el contenido de humedad y el color de los conos. El análisis por cada población mostró los mismos resultados que el análisis conjunto. La densidad relativa del cono (Figura 1A) y el contenido de humedad del cono (Figura 1B) descendieron conforme avanzó la fecha de colecta. Dado que el contenido de humedad se comportó como la densidad relativa con respecto a la maduración del cono y con las variables respuesta (peso unitario de semilla, peso seco del cono, relación peso unitario de semilla llena/peso seco de cono, y el grado de apertura de las escamas del cono), sólo se discutirá la densidad relativa. En la primera fecha la densidad relativa tuvo un valor promedio de 4.5, con el mayor en El Salto con 5; esto es, todos los conos se hundieron en la solución. En la tercera fecha de colecta el valor de densidad promedio fue de 1.3, que indica que en una mezcla de 50 % de agua destila y 50 % de alcohol los conos están en flotación de equilibrio. El color de cono fue esperado, ya que del tono verde que presentaron los conos en las primeras colectas fue cambiando al café, lo que es indicio de madurez fisiológica total (Allen y Owens, 1972) (Figura 1C). Sin embargo, se debe tener precaución con el color pues los conos atacados por insectos cambian de color en forma repentina con relación a un cono sano (Cibrián *et al.*, 1995).

### Características de conos y semillas

No se encontraron diferencias entre fechas en el peso unitario de semilla llena ni en la relación peso unitario de semilla llena/peso seco de cono, en el análisis conjunto de todos los sitios (Figura 2A y B). Se encontraron diferencias en el peso seco de cono y en la apertura de las escamas, pero no hubo una tendencia clara entre fechas en el peso seco del cono, ya que el comportamiento de esta variable fue diferente en cada localidad (Figura 2C). En general, la apertura de los conos fue mayor conforme la fecha fue más tardía (Figura 2D) ( $r = -0.26$ ,  $P < 0.01$ ).

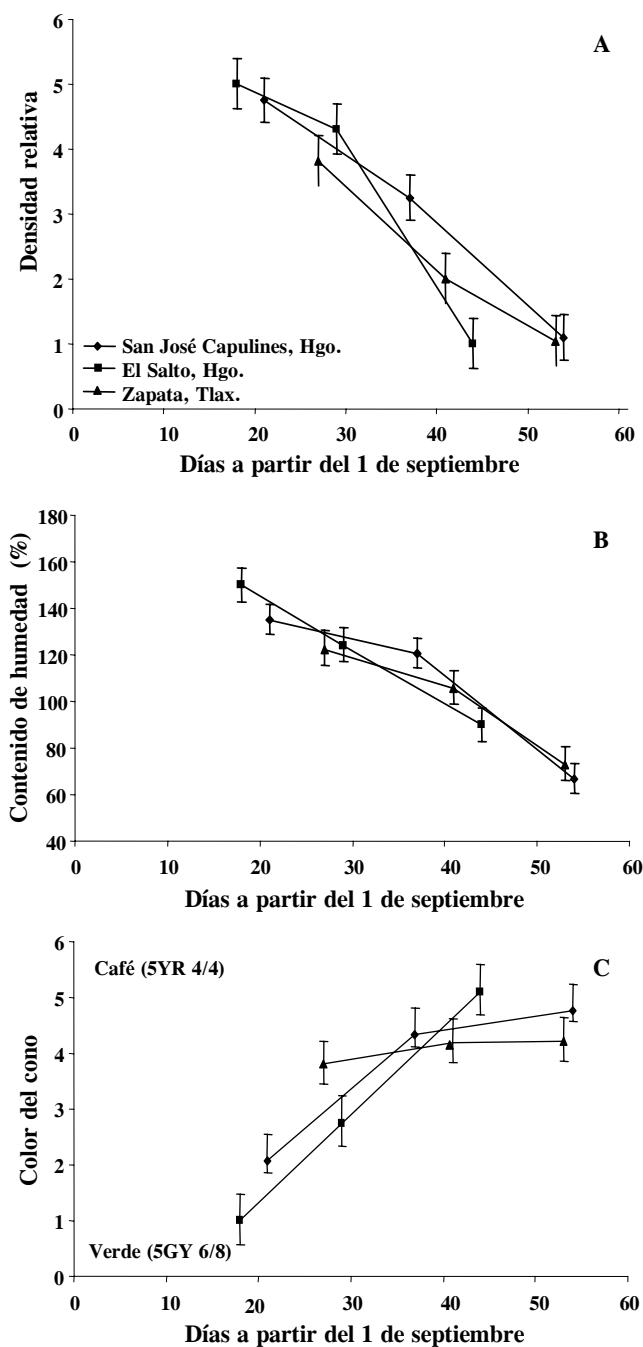


Figura 1. Densidad (A), contenido de humedad (B) y color de cono (C) promedio de *Pseudotsuga menziesii* en tres fechas de colecta en tres poblaciones del centro de México.

#### Relación entre características de conos y semillas y los criterios de madurez

Aunque se encontraron diferencias ( $P < 0.05$ ) en algunas características de los conos (peso seco y grado de apertura), en general no hubo una marcada relación entre las variables medidas en las semillas y la densidad relativa

de los conos al momento de la cosecha. Por ejemplo, el peso unitario de semilla llena se comportó de manera similar entre las diferentes clases de densidad de los conos, lo que indica que la semilla ya presentaba su máximo desarrollo desde la primera fecha de colecta (Figura 3A). Este resultado concuerda con Owens (1973) quien indica que la semilla y el embrión de *Pseudotsuga menziesii* en EE.UU. están plenamente desarrollados a finales de agosto. El peso seco del cono tampoco se modificó al cambiar la categoría de densidad relativa (Figura 3C). En cambio, en la relación peso unitario de semilla llena/peso seco de cono se observó cierta tendencia asociada con la densidad del cono ( $P = 0.0501$ ), ya que en conos de menor densidad aumenta esta relación (Figura 3E). La apertura de los conos también aumentó ligeramente al reducirse la densidad relativa del cono ( $P < 0.01$ ).

Al comparar las diferentes categorías de color del cono también se encontraron diferencias ( $P < 0.01$ ) en el peso y la apertura de los conos, pero no en el peso de la semilla ni en la relación de peso semilla/peso seco del cono. El peso unitario de semilla llena no tuvo un comportamiento definido con el color del cono (Figura 3B). El peso seco del cono se comportó en forma similar entre los varios colores del cono, aunque en Zapata el peso disminuyó en los conos de color café de la tercera colecta por haber sido conos chicos (Figura 3D). En este lugar se cosecharon conos de menor tamaño en la última cosecha, ya que no hubo modo de elegir conos más grandes, porque las ardillas habían dejado poco estróbilos en los árboles, que es otra razón para efectuar colectas tempranas. Para la característica proporción peso unitario de semilla/peso seco de cono, no se observó un patrón definido al relacionarla con el color del cono (Figura 3F).

#### Capacidad y tasa germinativa de la semilla

No hubo diferencias entre fechas de colecta para el porcentaje y la velocidad de germinación (Figura 4A y B), excepto en la germinación en el Salto ( $P \leq 0.05$ ), que tuvo el menor valor en la primera colecta (13.6 %) que fue la más temprana (18 de septiembre). Así, los mayores porcentajes se presentaron en las últimas colectas, realizadas entre el 30 de septiembre y el 10 de octubre (Figura 4A). El promedio de germinación entre poblaciones varió de 23 a 30 %. Juárez-Agís *et al.* (2006) encontraron para San José Capulines una germinación de 63 % y una velocidad de 12.8 d (para alcanzar la mitad de ese 63 %), lo que es mayor a lo encontrado en este estudio de 29 %, aunque más lento porque para esta población fueron 11 d. Esos mismos autores encontraron 68 % y 9.4 d para la capacidad y la tasa germinativa en La Rosa, Tlaxcala, que se

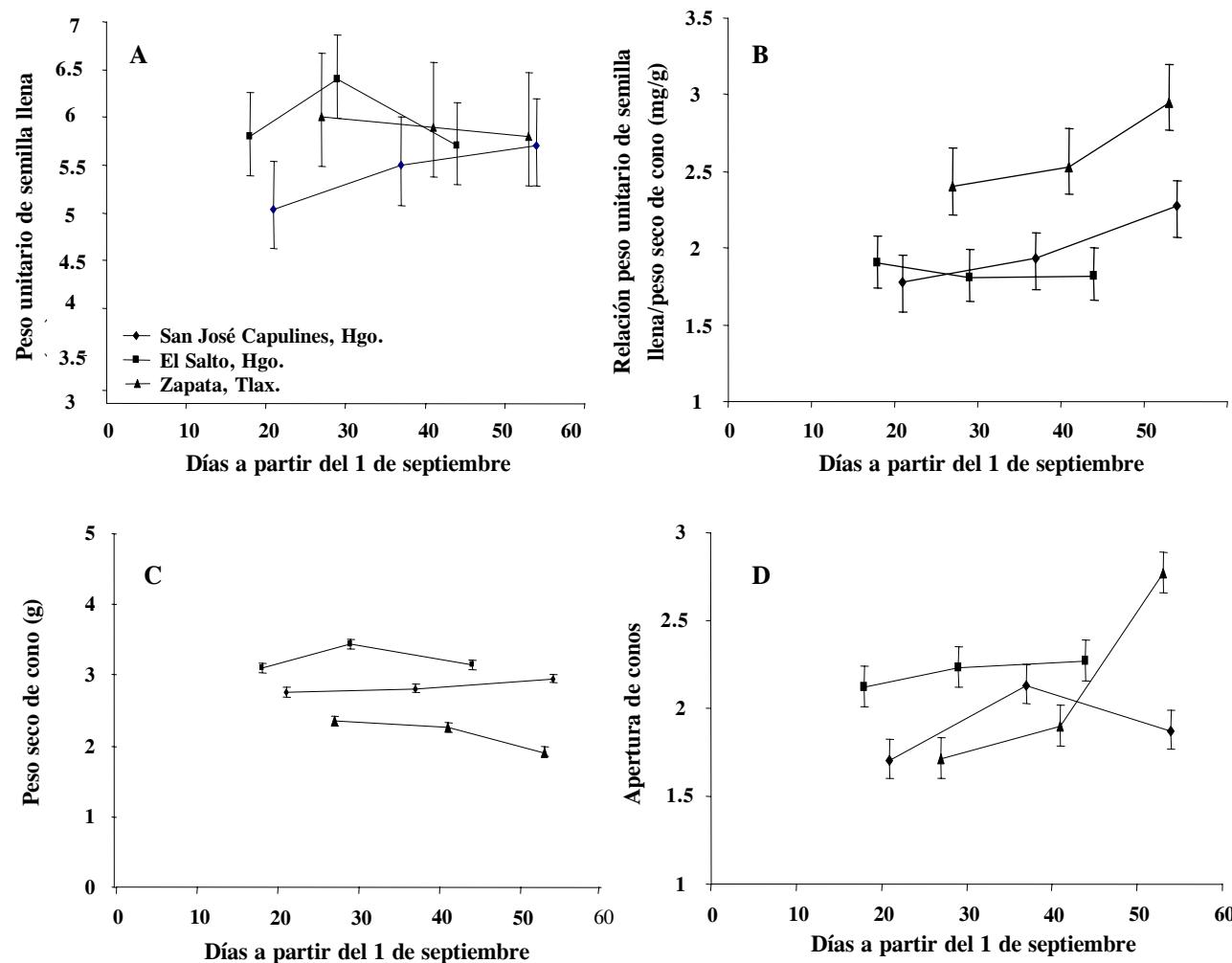


Figura 2. Comportamiento del peso unitario de semilla llena (A), proporción peso unitario de semilla llena/peso seco de cono (B), peso seco de cono (C) y apertura de cono (D) en tres fechas de colecta de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco en dos poblaciones naturales de Hidalgo y una de Tlaxcala.

ubica a escasos 5 km de Zapata. La semilla de esta última tuvo en promedio 30 % y 10 d en esos criterios.

#### Relación entre criterios de madurez y la capacidad y tasa germinativa de la semilla

No se encontraron diferencias significativas entre las categorías de densidad relativa de los conos en el porcentaje de germinación ni en la velocidad de germinación de las semillas, a pesar de que la capacidad germinativa varió de 13 a 36 % (Figura 5A) y la velocidad de germinación de 6 a 12 d (Figura 5B). El análisis conjunto no indica diferencias entre los colores del cono y la germinación obtenida, con un intervalo de 23 % hasta 36 %. No se observó un patrón definido en el comportamiento de ambas variables con respecto al color del cono (Figuras 5C y 5D).

#### Implicaciones del estudio

Si se considera que en la madurez de los conos intervienen factores climáticos que pueden variar de un año a otro, la fecha de colecta más apropiada puede variar entre años. En lo particular durante el año del 2003, hubo alta precipitación en septiembre y octubre, especialmente en Zapata, Tlax. y en San José de Capulines, Hgo., por lo que la maduración de los conos se retrasó un poco hasta la tercera semana de octubre, mientras que en El Salto, Hgo., que es una localidad más seca y con una exposición sur-este la madurez completa de los conos se logró en la segunda semana de octubre. Estas diferencias ambientales entre poblaciones también se reflejan en las respuestas diferentes en algunas de las variables evaluadas. Las diferencias entre fechas de madurez indican que cada localidad debe ser observada previamente.

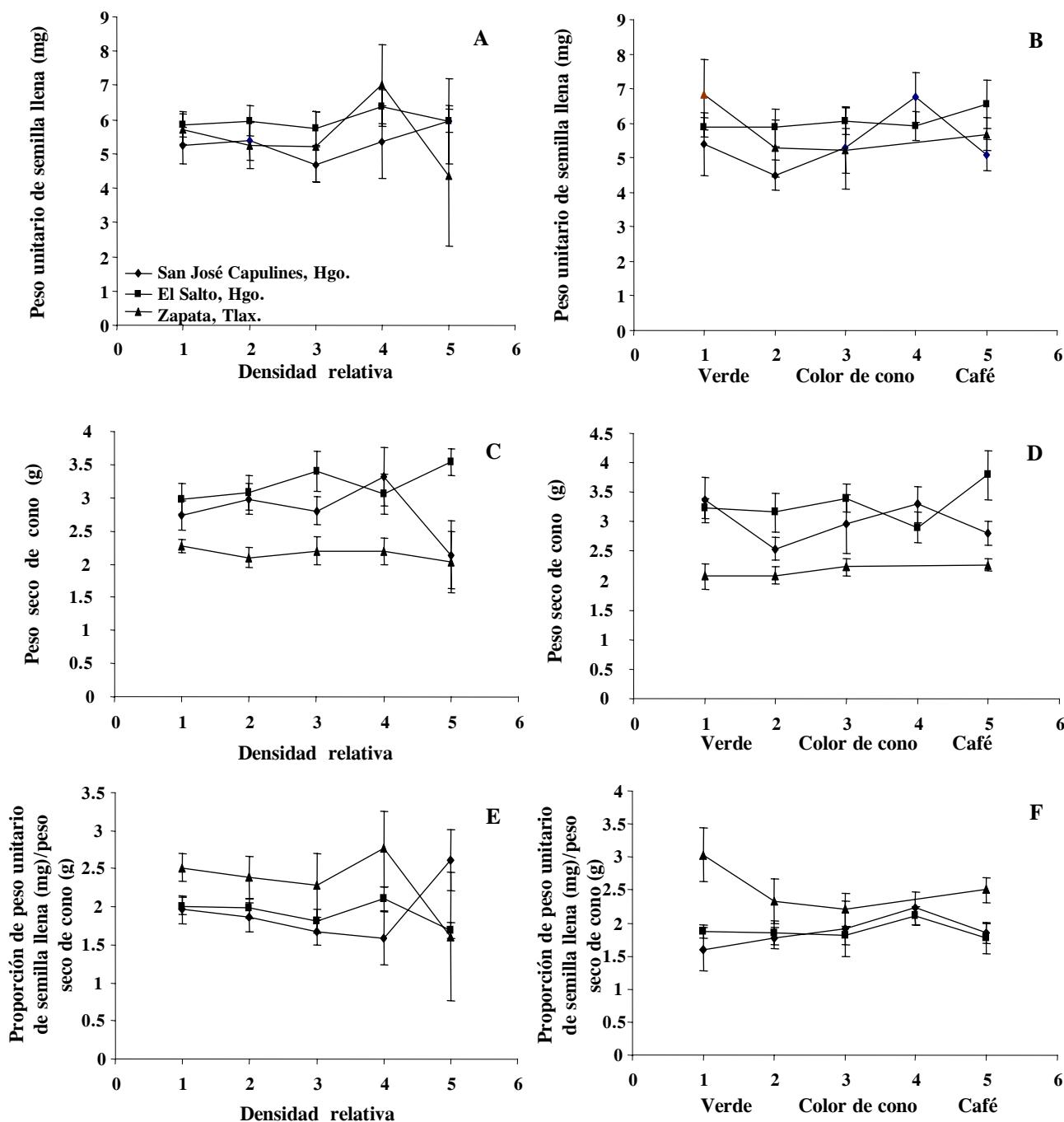


Figura 3. Relación entre el peso unitario de semilla llena (A, B), el peso seco del cono (C, D) y la proporción peso unitario de semilla llena/peso seco de cono (E, F) con la densidad relativa y el color del cono en tres fechas de colecta de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco en dos poblaciones naturales de Hidalgo y una de Tlaxcala.

En la región de Oregon, EE.UU. el embrión de *Pseudotsuga menziesii* está plenamente desarrollado en el mes de agosto (Owens, 1973), y la dispersión de la semilla ocurre en septiembre, mientras que en el centro de México es en octubre. Ching y Ching (1962) y Owens *et al.* (1991) señalaron que de manera segura se pueden recolectar co-

nos dos semanas antes de la dispersión de la semilla. Las diferencias en fechas de madurez entre localidades y entre árboles son comunes en especies de coníferas, incluyendo *Pseudotsuga menziesii* en el norte de América (Kolotelo, 1997), por lo que debe identificarse morfológicamente alguna característica externa del cono que indique el grado

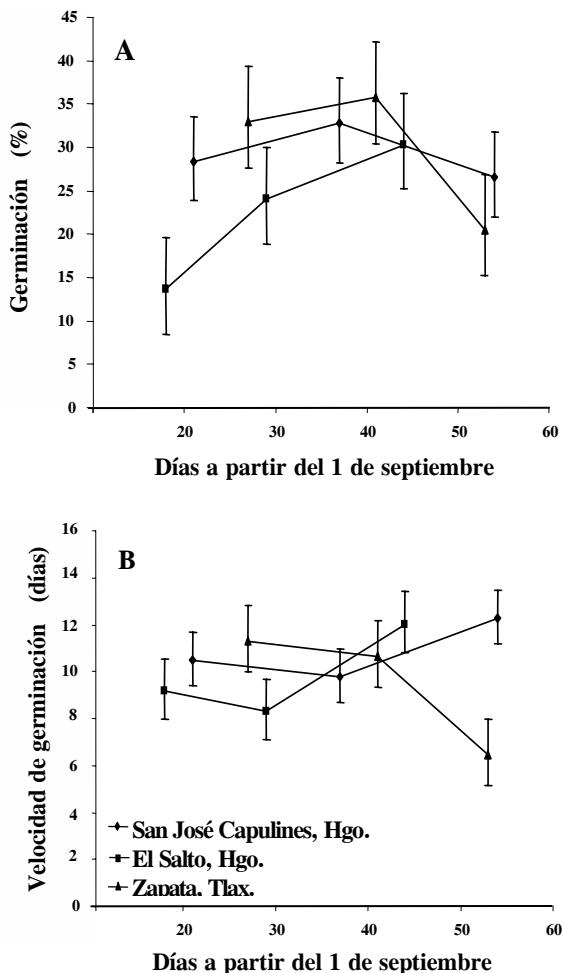


Figura 4. Porcentaje (A) y velocidad de germinación (B) en tres fechas de colecta de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco en dos poblaciones naturales de Hidalgo y una de Tlaxcala.

de madurez; los resultados de este trabajo muestran que el cambio de color y la densidad relativa de los conos, son buenos criterios de maduración de los conos.

Según Owens (1973), los estróbilos femeninos de *Pseudotsuga menziesii* inician su desarrollo con un color verde claro; posteriormente, cuando el cono alcanza su máximo desarrollo longitudinal los conos se vuelven a un color verde con tintes de color morado. Después de este punto los conos se tornan de un color verde oscuro. La colecta de conos en el presente estudio se inició cuando los conos tenían generalmente un color verde oscuro, que aparece después del verde-morado indicado. Se encontró que en las colectas realizadas el peso unitario de semilla llena fue el mismo desde la primera colecta con conos que presentan un color verde oscuro antes de pasar a tonos cafés, lo que indica que la semilla ya estaba completamente desarrollada y no hubo una asignación posterior de biomasa a estas estructuras.

Los resultados obtenidos indican que los conos colectados a inicios o mediados de la madurez tiene un color verde oscuro (5Y4/6 en la clave Munsell de tejidos vegetales) y una densidad relativa menor a 4, contienen semillas de calidad similar, pero se requerirá mayor esfuerzo y costo para extraer la semilla porque los conos deben ser secados bajo sombra y con aireación. La apertura de los conos será menor en colectas tempranas, por lo que requerirá un poco de más esfuerzo para la apertura manual de los conos. De cualquier forma, los conos maduros o inmaduros de *Pseudotsuga menziesii* de México requieren apertura manual para extraer todas las semillas (Mápula *et al.*, 2007).

El hecho de que no hubo diferencias entre fechas de colecta en el peso de la semilla, es importante desde el punto de vista de calidad de semilla, ya que generalmente mayores pesos de semillas producen plántulas más vigorosas (Mápula *et al.*, 2007). Lo anterior corrobora que la semilla y el cono ya están plenamente desarrollados a cuatro semanas antes de la dispersión natural, y que después de la última semana de septiembre se puede obtener semilla con la mejor calidad germinativa posible en esta conífera, la que naturalmente es baja en la poblaciones del centro de México (Juárez-Agís *et al.*, 2006).

Los criterios de maduración densidad relativa, color y contenido de humedad del cono son indicadores que mostraron asociación a la fecha de colecta, lo que era esperado conforme se acerca la maduración. Por tanto, estos criterios son recomendables para los programas de colecta de semilla de *Pseudotsuga*. Se recomienda el uso de una solución de 10 % de alcohol etílico (98 % de pureza) en agua para determinar la densidad apropiada del cono; en esta solución los conos deben flotar o estar en equilibrio de flotación. El color del cono es un indicador práctico en el campo, y se ha señalado que en los estróbilos con color verde-botella o verde-oscuro (5Y4/6 clave Munsell), la semilla está completamente desarrollada (Allen y Owens, 1972) y en condiciones de ser colectada y madurada completamente en la etapa de beneficio. En este color y humedad se va a requerir mayor esfuerzo para secar los conos, separar las escamas y extraer la semilla, pero también se evitan pérdidas de conos por el ataque de ardillas o insectos (Cibrián *et al.*, 1995).

## CONCLUSIONES

Los criterios de maduración utilizados como la densidad relativa, el color y el contenido de humedad del cono mostraron cambios significativos asociados con las fechas de colecta, y los tres ayudan a predecir la maduración de

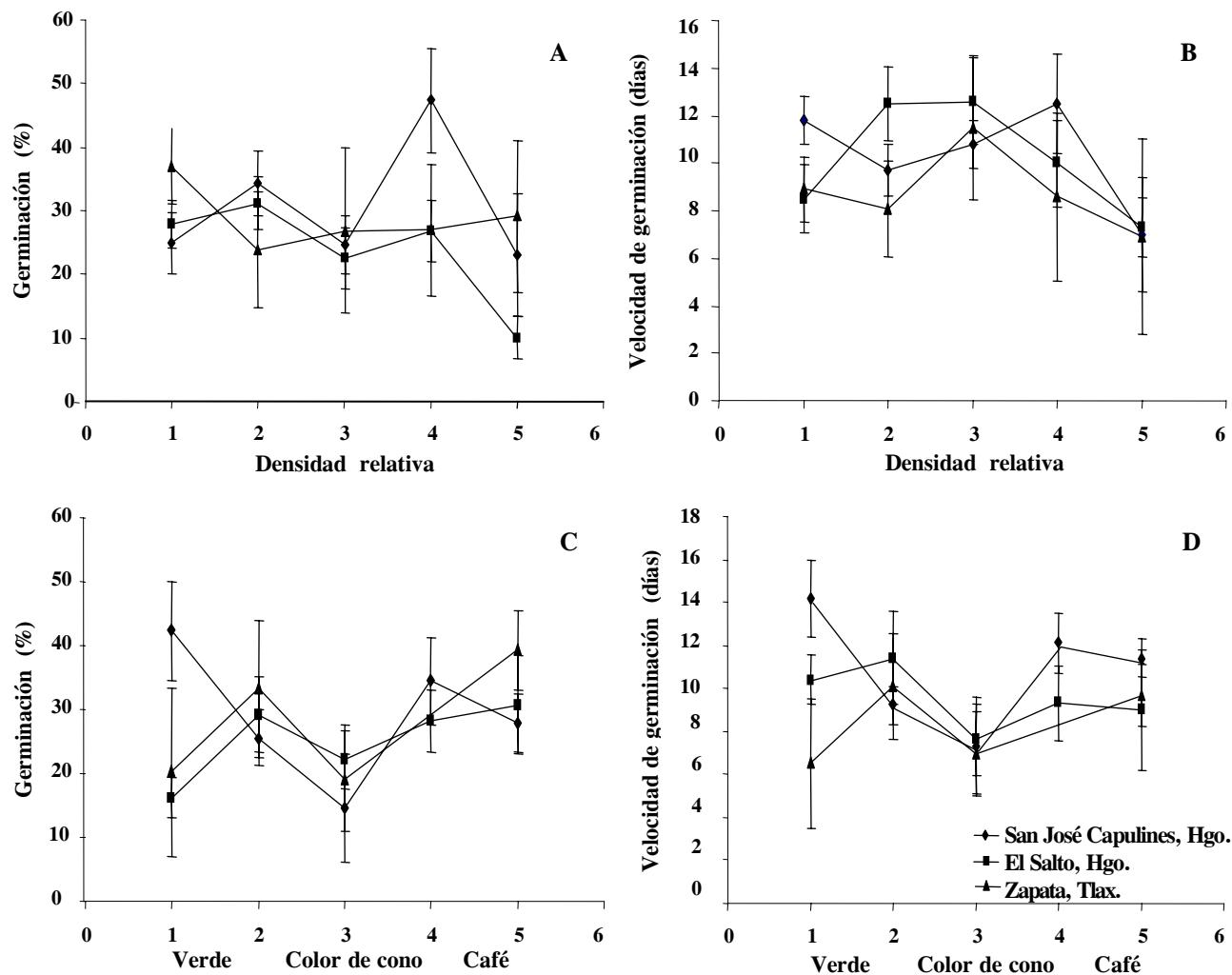


Figura 5. Relación de la densidad relativa (A y B) y del color del cono (C y D) con el porcentaje y la velocidad germinativa en tres fechas de colecta de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco en dos poblaciones naturales de Hidalgo y una de Tlaxcala.

los conos; los dos primeros se pueden determinar en campo. Las semillas estaban completamente maduras desde la primera fecha de colecta la semilla, por lo que no se encontraron diferencias entre fechas de colecta con respecto a la relación peso unitario de semilla llena/peso seco del cono ni en el peso unitario de la semilla. El porcentaje y velocidad de germinación no varió significativamente entre fechas de colecta, ni entre las categorías de densidad relativa y de color del cono. Sin embargo, en la población El Salto la colecta más temprana (18 de septiembre) presentó el menor porcentaje de germinación. Aunque el periodo de maduración de los conos es diferente para cada población, es apropiado iniciar la colecta de semilla a fines del mes de septiembre y durante el mes de octubre, aunque las colec-

tas tempranas requerirán mayor trabajo para obtener las semillas del cono, ya que su apertura es menor.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte del proyecto de investigación “Conservación y Mejoramiento Genético de *Pseudotsuga* spp. Conífera Estratégica del Estado de Tlaxcala y la Región Central del País”, con apoyo económico del Fondo Sectorial CONAFOR-CONACYT proyecto 2002-C01-6416.

## BIBLIOGRAFÍA

- Allen G S, J N Owens (1972)** The Life History of Douglas-fir. For. Serv. Environ. Can. Ottawa, Canada. 139 p.
- Ching T M, K K Ching (1962)** Physical and physiological changes in maturing Douglas-fir cones and seed. For. Sci. 8:21-31.
- Cibrián T D, J T Méndez M, R Campos B, H O Yates III, J Flores L (1995)** Insectos Forestales de México. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 453 p.
- Del Castillo R F, J A Pérez de la R, G Vargas A, R Rivera G (2004)** Coníferas. In: Biodiversidad de Oaxaca. A J García M, M J Ordoñez, M Briones S (eds). Instituto de Biología UNAM-Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza. World Wildlife Foundation. pp:141-158.
- Domínguez A F A (1994)** Análisis Histórico-Ecológico de los Bosques de *Pseudotsuga* en México. INIFAP-CIR Golfo Centro. Folleto Técnico N° 23. México. 43 p.
- El-Kassaby Y A, A J Thompson (1996)** Parental rank changes associated with seed biology and nursery practices in Douglas-fir. For. Sci. 42:228-235.
- Juárez-Agú A, J López-Upton, J J Vargas-Hernández, C Sáenz-Romero (2006)** Variación geográfica en la germinación y crecimiento inicial de plántulas de *Pseudotsuga menziesii* de México. Agrociencia 40:783-792.
- Gumpertz M L, C Brownie (1993)** Repeated measures in randomized block and split-plot experiments. Can. J. For. Res. 23:625-639.
- Kolotelo D (1997)** Anatomy and Morphology of Conifer Tree Seed. Forest Nursery Technical Series 1.1. Ministry of Forests, British Columbia. Canada. 60 p.
- Mápula L M, J López U, J J Vargas H, A Hernández L (2007)** Reproductive indicators in natural populations of Douglas-fir in Mexico. Biodivers. Conserv. 16:727-742.
- Owens J N (1973)** The Reproductive Cycle of Douglas-fir. Pacific Forest Research Centre. Victoria British Columbia, Canada. 23 p.
- Owens J N, A M Colangeli, S J Morri (1991)** Factors affecting seed set in Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*). Can. J. Bot. 69:229-238.
- Reyes-Hernández V J, J J Vargas-Hernández, J López-Upton, H Vazquez-Huerta (2006)** Similitud fenotípica de poblaciones mexicanas de *Pseudotsuga* Carr. Agrociencia 40:545-556.
- Velasco G M V, J López-Upton, G Ángeles-Pérez, J J Vargas-Hernández, V Guerra de la Cruz (2007)** Dispersión de semillas de *Pseudotsuga menziesii* en poblaciones del centro de México. Agrociencia 41:121-131.
- SAS Institute (1988)** SAS User's Guide: Statistics. Release 6.03 ed. SAS Institute, Inc. Cary, N.C. USA. 1028 p.
- Yazdani R, D Lindgren (1991)** The impact of self-pollination on production of sound selfed seeds. In: Biochemical Markers in the Population Genetics of Forest Trees. S Fineschi, M E Malvolti, F Cannata, H H Hattemer (eds). SPB Academic Publishing bv. The Hague, The Netherlands. pp:143-147.
- Zavala Ch F, J T Méndez M (1996)** Factores que afectan la producción de semilla en *Pseudotsuga macrolepis* Flous en el Estado de Hidalgo, México. Acta Bot. 36:1-13.