

FENOLOGÍA REPRODUCTIVA EN UN ENSAYO DE PROGENIES DE *Pinus greggii* var. *australis*REPRODUCTIVE PHENOLOGY IN A PROGENY TEST OF *Pinus greggii* var. *australis*Daniel de G. Ruiz-Farfán<sup>1</sup>, Javier López-Upton<sup>1\*</sup>, Carlos Ramírez-Herrera<sup>1</sup>  
y Dante A. Rodríguez-Trejo<sup>2</sup><sup>1</sup>Posgrado en Ciencias Forestales, Colegio de Postgraduados. Km 36.5 Carr. México-Texcoco. 56230, Montecillo, Texcoco, Estado de México. <sup>2</sup>División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 Carr. México-Texcoco. 56230, Chapingo, Texcoco, Estado de México.

\*Autor para correspondencia: (jlopezupton@gmail.com)

## RESUMEN

Los huertos semilleros deben proveer semilla a edad temprana, en intervalos regulares, en cantidad suficiente y de calidad genética superior. La falta de sincronía floral disminuye la diversidad genética del lote de semillas y aumenta el porcentaje de óvulos abortivos y semillas vacías. Este trabajo reporta la sincronía y la variación temporal de la fenología floral de un ensayo de progenies de *Pinus greggii* var. *australis* establecido en dos sitios en el Centro de México: Cuauhtépec, Hidalgo y Terrenate, Tlaxcala, que se convierten en huertos semilleros sexuales. Se monitorearon 23 familias de medios hermanos de cinco procedencias durante dos años, con al menos cuatro árboles por familia por sitio. En 2012 se realizaron observaciones cada dos semanas de marzo a junio de la copa del árbol completa y dos veces por semana entre febrero y junio del 2013 a 24 brotes por árbol, en la copa completa, estratos y orientación de rama. Se determinaron las etapas de desarrollo de estróbilos y las fechas de inicio y término de floración femenina y masculina, y su duración. La sincronización de los periodos de floración (PO<sub>0</sub>) fue de 0.31 en Terrenate en 2012 y de 0.34 en Cuauhtépec en 2013, niveles normales al considerar el origen sexual del ensayo; en Cuauhtépec 2012 fue considerablemente alto (0.57). Todas las familias tuvieron algún grado de sincronización entre sí, excepto en Terrenate. La floración fue más precoz y de mayor duración en Cuauhtépec que en Terrenate 2012. No hubo floración femenina y la masculina fue muy escasa en Terrenate 2013, lo que se asoció con sequía. Únicamente se detectó variación significativa entre familias en Terrenate para la mayoría de variables, y en general hubo gran variación dentro de familias. La dispersión de polen mostró diferencias significativas entre estratos de copa, pero no entre orientaciones de ramas.

**Palabras clave:** *Pinus greggii* var. *australis*, dispersión de polen, fenología floral, huerto semillero, receptividad, sincronización.

## SUMMARY

Seed orchards should provide sufficient seed at an early age with superior genetic quality and at regular intervals. Lack of flowering synchrony generates decrease in genetic diversity of the seed lot and a high percentage of abortive ovules and empty seeds. This work reports synchrony and temporal variation in floral phenology in a progeny test of *Pinus greggii* var. *australis* set at two sites in Central México: Cuauhtépec, Hidalgo and Terrenate, Tlaxcala. These tests turned into sexual seed orchards. Twenty-three half-sib families, with at least four trees per family per site, from five provenances were monitored for two years. Observations were conducted on the whole tree crown every two weeks from March to June of 2012, and twice a week between February and June of 2013 on 24 selected buds per tree, based on full crown, crown layers and branch orientation. Stages of strobili

development were identified and the start and end dates of male and female flowering, and their durations were determined. Synchronization of flowering periods (PO<sub>0</sub>) was 0.31 in Terrenate 2012 and 0.34 in Cuauhtépec 2013, considered normal values taking in account the sexual origin of the test; however, in Cuauhtépec 2012 it was considerably high (0.57). All families showed some degree of synchronization with each other, except for Terrenate 2012. Flowering in Cuauhtépec was significantly earlier and longer than in Terrenate 2012. There was no female flowering, and male was very low in Terrenate 2013 which was associated with drought. Only significant variation between families was detected in Terrenate for most variables, and large variation within families. Significant differences between crown layers, but not for branch orientation in pollen dispersion were observed.

**Index words:** *Pinus greggii* var. *australis*, floral phenology, pollen shedding, receptivity, seed orchard, synchronization.

## INTRODUCCIÓN

*Pinus greggii* Engelmann ex Parlatore var. *australis* Donahue & López es endémico de México, y tiene un alto valor ecológico y económico, local e internacionalmente. Este pino se distribuye en poblaciones aisladas y dispersas sobre la Sierra Madre Oriental en los estados de Hidalgo, Querétaro, y raramente en los estados de Puebla, San Luis Potosí y Veracruz, región que se localiza entre los 20° 13' y 21° 30' de latitud norte y de 1200 a 2700 msnm (Donahue y López-Upton, 1999; López-Upton *et al.*, 2004; Ramírez-Herrera *et al.*, 2005). *P. greggii* var. *australis* presenta precocidad en la floración y altas tasas de crecimiento en altura y diámetro (López *et al.*, 1993; Azamar *et al.*, 2000), además de tener un alto potencial para adaptarse a condiciones limitantes de humedad y a bajas temperaturas (Vargas y Muñoz, 1988; López y Muñoz, 1991; Dvorak *et al.*, 2000). Estas características favorecen su uso en plantaciones comerciales y de restauración (Ramírez-Herrera *et al.*, 2005), lo que ha generado el interés por probarla con fines de mejoramiento genético en México y en otros países (Dvorak *et al.*, 2000; Hodge y Dvorak, 2012).

El germoplasma a usar debe provenir de huertos semilleros destinados a producir suficiente semilla de calidad genética superior a edades tempranas y en intervalos regulares (Zobel y Talbert, 1988). La fenología de la floración es

probablemente el factor más importante en el manejo de un huerto semillero, debido a que afecta la magnitud del evento y el patrón de cruzamiento y, por tanto, la composición genética de la semilla producida (Burczyk y Chalupka, 1997; Burczyk y Prat, 1997). La falta de sincronía floral genera disminución de la diversidad genética del lote de semillas y aumenta el porcentaje de óvulos abortivos y semillas vacías (Burczyk y Chalupka, 1997). Es necesario conocer la variación en la sincronía de la floración para implementar actividades de manejo que contribuyan a contrarrestar el efecto de la desincronización (El-Kassaby y Ritland, 1986; Blush *et al.*, 1993).

El componente genético y el ambiente influyen en la formación, desarrollo y sincronización de estróbilos femeninos y masculinos (Owens y Blake, 1985). Las condiciones climáticas tienen la capacidad de generar al interior de la planta descompensaciones en los niveles de agua y minerales, en la cantidad de asimilados y en la producción y reacciones de los reguladores de crecimiento endógenos, de los cuales depende la diferenciación de yemas florales (Lyndon, 1992). Varias técnicas se han desarrollado para cuantificar la variación de la fenología reproductiva en coníferas, la sincronización de las estructuras reproductivas y la participación de los pares coincidentes de clones o familias, entre las que destacan los índices de sincronización reproductiva (Askew y Blush, 1990; Matziris, 1994; Gömöry *et al.*, 2000).

Como parte de un programa de mejoramiento regional de *P. greggii* var. *australis*, en los estados de Hidalgo, México, Puebla, Tlaxcala y Veracruz, se establecieron ensayos de progenies que se están convirtiendo a huertos semilleros sexuales. Con base en lo anterior y del papel que juega la floración en la calidad de la semilla, en esta investigación se evalúa la fenología reproductiva de uno de estos ensayos. Para conseguirlo: i) se determina el grado de sincronización entre los periodos de receptividad de los estróbilos femeninos y de dispersión del polen, y ii) se analiza la variación de estos periodos en diferentes niveles de estudio.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Material genético

El estudio se realizó en un ensayo de progenies de *P. greggii* var. *australis* en dos sitios de evaluación: Cuatetzenco, Cuauhtémoc de Hinojosa, Hidalgo (19° 56' 56.1" N, 98° 21' 06.6" O, a 2790 msnm); y en Toluca de Guadalupe, Terrenate, Tlaxcala (19° 27' 47.5" N, 97° 57' 55.8" O, a 2680 msnm). El ensayo en Cuauhtémoc se estableció en julio de 2004 con 63 familias, sobre terrenos de uso agrícola en una zona forestal con la presencia de *P. teocote* Schiede ex Schltdl. *et* Cham., *Quercus* sp., *P. montezumae* Lamb. y *Abies religiosa* Kunth, Schltdl. *et* Cham. El de Terrenate se estableció en

julio de 2005 con 57 familias, en un terreno de uso agrícola, suelo somero con una capa de tepetate de entre 0.4 a 1.0 m, y en una zona con vegetación dispersa dominada por *Juniperus deppeana* Steud. y *Pinus rudis* Endl. Ambos ensayos se dispusieron bajo un diseño de parcelas de un árbol con dieciocho repeticiones. Para este trabajo se seleccionaron, con base en volumen del fuste, 23 familias agrupadas como superiores e inferiores provenientes de cinco procedencias, presentes en los dos sitios, y con al menos cuatro árboles por familia. El total de individuos muestreados fue de 146 árboles en Cuauhtémoc y 168 en Terrenate.

### Selección de las unidades de muestreo

Evaluación del periodo de dispersión de polen. En 2012, las observaciones se registraron como etapa fenológica general por árbol, al tomar como referencia la etapa de desarrollo en la que se encontraban la mayoría de los estróbilos por individuo. En 2013, para garantizar un monitoreo representativo del árbol, la copa se dividió en estrato alto y bajo, y en cada estrato se eligieron aleatoriamente dos verticilos y en cada uno de éstos se seleccionaron y marcaron dos ramas, una con orientación norte y la otra al sur; en cada rama seleccionada se marcaron tres brotes, el terminal y dos laterales. En total se tomaron observaciones del desarrollo fenológico de 24 brotes por árbol para obtener datos generales por copa, por estrato de copa (dos) y por orientación de rama (dos).

Evaluación de receptividad de estróbilos femeninos. En cada inspección se hizo un conteo del número total de estróbilos por árbol y el registro de la etapa fenológica de cada uno. Estas inspecciones se hicieron principalmente en el estrato superior del árbol, que es donde más abundaron.

### Monitoreo de la fenología de estructuras reproductivas

La inspección se llevó a cabo durante dos años consecutivos (2012 y 2013). El desarrollo de los estróbilos masculinos se observó directamente por su accesibilidad. El desarrollo de los femeninos se evaluó mediante binoculares (7 x 35 mm). El registro de los datos en el 2012 se hizo cada dos semanas, del 23 de marzo al 9 de junio, con un total de siete inspecciones por sitio. En 2013 se marcaron los estratos, las ramas y los brotes en los árboles seleccionados durante la primera mitad de febrero, y las observaciones se hicieron del 15 de febrero al 8 de junio, con inspecciones dos veces por semana a cada sitio, para un total de 30 en Cuauhtémoc y 26 en Terrenate. La evaluación de cada etapa fenológica se hizo con base en las clasificaciones de Matziris (1994) para estróbilos femeninos, y en la de Codesido y Merlo (2001) modificada para los masculinos (Figura 1).





Figura 1. Etapas del desarrollo fenológico de estróbilos femeninos (F) y masculinos (M) de *Pinus greggii* var. *australis*. Los valores de la escala de identificación están dados por: 0, brote no diferenciado; 1, formación y desarrollo inicial; 2, desarrollo final y maduración; 3, receptividad (F)/dispersión de polen (M); y 4, término de receptividad (F)/marchitamiento (M).

a) Estróbilos femeninos. *Etapa 1 - Formación y desarrollo inicial*: una vez que se forma, la yema aumenta de tamaño en sentido longitudinal y adopta una forma tipo cilíndrica, y el conillo se encuentra totalmente cubierto por los catáfilos de la yema. *Etapa 2 - Desarrollo final y maduración*: el ápice de la yema cilíndrica se abre y aparecen las primeras escamas ovulíferas que continúan en desarrollo (receptividad en 20 %). *Etapa 3 - Receptividad*: las escamas del conillo se separan gradualmente y forman un ángulo casi recto con relación al eje del conillo (receptividad en 100 %). *Etapa 4 - Término de receptividad e inicio del desarrollo del cono*: las escamas ovulíferas aumentan de tamaño y grosor, se con-

traen hacia el ápice e impiden la entrada de granos de polen, de modo que la receptividad del estróbilo termina.

b) Estróbilos masculinos. *Etapa 1 - Formación y desarrollo inicial*: (1.0) los estróbilos están cubiertos por las escamas de la yema que se observa hinchada; (1.2) los estróbilos se distinguen como pequeñas protuberancias cubiertas por catáfilos; (1.4) los estróbilos aún cubiertos por catáfilos presentan un tamaño mayor; (1.6) los estróbilos rompen la cubierta de catáfilos; y (1.8) los estróbilos continúan en crecimiento y se han liberado de los catáfilos casi por completo. *Etapa 2 - Desarrollo final y maduración*: (2.0)

los estróbilos alcanzan su mayor crecimiento en diámetro, presentan coloración verde; y (2.5) los estróbilos presentan elongación y cambio en la coloración a amarillo. *Etapas 3 - Dehiscencia o dispersión de polen:* las escamas esporófilas se abren y liberan el polen (dispersión 100 %). *Etapas 4 - Marchitamiento:* la dispersión de polen termina, los estróbilos se marchitan y desprenden del brote.

### Condiciones climáticas

Se obtuvieron datos de estaciones climatológicas del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP, estación Cuauhtepac de Hinojosa) y de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, estación 29, 051), para Cuauhtepac y Terrenate, respectivamente (Figura 2). En Cuauhtepac el clima es Cb(w2)(i)gw”, con temperatura media anual de 12.5 °C y precipitación anual de 738.1 mm. El clima de Terrenate es Cb(w0)(i)gw”, con temperatura media anual de 14.4 °C y precipitación anual de 602.5 mm. Se observaron importantes variaciones en la precipitación registrada entre enero de 2010 y junio de 2013, respecto a la esperada en los dos sitios (normal de 33 años), con déficits acumulados de precipitación de 637 mm (26 %) en Cuauhtepac y 274 mm (15 %) en Terrenate. El 2 de marzo de 2013 en Terrenate se registraron temperaturas inferiores a los -8 °C, que provocaron la mortandad total de los estróbilos femeninos en etapas 1 y 2, por lo que el sitio en ese año no se incluyó para los análisis fenológico y estadísticos.

### Evaluación de sincronía fenológica

La evaluación del desarrollo fenológico de estructuras reproductivas se hizo por familia, la receptividad femenina se consideró a nivel de copa de árbol completa y la dispersión de polen en tres niveles: copa de árbol completa, estrato de copa (alto y bajo) y orientación de rama (norte-sur). Los datos fueron procesados con el programa SYNCHRO.SAS (Zas *et al.*, 2003), un sistema de macroprocesamiento de datos fenológicos elaborada con el procedimiento estadístico SAS/BASE 6.12 (SAS Institute, 2002), de la cual se obtuvieron dos índices de sincronización reproductiva: a) índice  $PO_{jk}$  de sincronización o traslape fenológico (Askew y Blush, 1990), y b) índice de correlación fenológica  $r_{ph}$  (Gömöry *et al.*, 2000).

### Evaluación estadística

Las etapas de desarrollo floral femenino y masculino se expresaron en número de días desde el primer día de enero hasta la fecha de determinación (días julianos). Así se analizaron nueve eventos: inicio (1), término (2) y duración (3) del periodo de dispersión de polen - Etapa 3 masculina; inicio (4) y duración (5) de Etapa 2 femenina; inicio (6), término (7) y duración (8) de la Etapa 3 femenina; y duración

total (9) del periodo de receptividad femenina. Se realizaron análisis de varianza con el procedimiento MIXED y el algoritmo de máxima verosimilitud restringida del paquete SAS (SAS Institute, 2002). Los análisis de variables fenológicas se realizaron en dos partes complementarias:

a) Análisis de variables de receptividad de conillos y dispersión de polen en copa de árbol completa.

$$Y_{ijk} = \mu + S_i + \beta_{j(i)} + F_k + S F_{ik} + e_{ijk}$$

Análisis conjunto (en el 2012)

$$Y_{jk} = \mu + \beta_j + F_k + e_{jk}$$

Análisis por sitio y año

donde:  $Y_{ijk}$  y  $Y_{jk}$  representan el valor observado en el individuo de la  $k$ -ésima familia, en el  $j$ -ésimo bloque anidado en el  $i$ -ésimo sitio (conjunto);  $\mu$  es la media poblacional;  $S_i$  es el efecto fijo del  $i$ -ésimo sitio ( $i = 1$  y  $2$ );  $\beta_{j(i)}$  es el efecto aleatorio de  $j$ -ésimo bloque anidado en el  $i$ -ésimo sitio  $\sim$ NID ( $0, \sigma_{b(s)}^2$ ) ( $j = 1, \dots, 18$ );  $F_k$  es el efecto aleatorio de la  $k$ -ésima familia  $\sim$ NID ( $0, \sigma_f^2$ ) ( $k = 1, \dots, 23$ );  $S F_{ik}$  es el efecto aleatorio de la interacción del sitio por la familia  $\sim$ NID ( $0, \sigma_{sf}^2$ )  $e_{ijk}$ ; y  $e_{ijk}$  es el error asociado  $\sim$ NID ( $0, \sigma_e^2$ ).

b) Análisis individual de la respuesta de variables de dispersión de polen a nivel estrato de copa y orientación de rama (en promedio de los valores de los brotes y ramas muestreadas):

$$Y_{jl} = \mu + \beta_j + T_l + e_{jl}$$

Análisis general

$$Y_{jkl} = \mu + \beta_j + F_k + T_{l(k)} + \beta F_{jk} + e_{jkl}$$

Análisis con efecto de familia

donde:  $Y_{jkl}$  es el valor observado en el  $l$ -ésimo estrato en el individuo de la  $k$ -ésima familia, en el  $j$ -ésimo bloque;  $\mu$  es la media poblacional;  $\beta_j$  es el efecto aleatorio de  $j$ -ésimo bloque  $\sim$ NID ( $0, \sigma_b^2$ ) ( $j = 1, \dots, 18$ );  $F_k$  es el efecto aleatorio de la  $k$ -ésima familia  $\sim$ NID ( $0, \sigma_f^2$ ) ( $k = 1, \dots, 23$ );  $T_{l(k)}$  es el efecto fijo del  $l$ -ésimo estrato anidado en la  $k$ -ésima familia ( $l = 1$  y  $2$ );  $\beta F_{jk}$  es el efecto aleatorio de la interacción del  $j$ -ésimo bloque por la  $k$ -ésima familia  $\sim$ NID ( $0, \sigma_{bf}^2$ )  $e_{jkl}$ ; y  $e_{jkl}$  es el error asociado a dichos efectos  $\sim$ NID ( $0, \sigma_e^2$ ). En el análisis a nivel orientación de rama se sustituyeron los términos donde aparece el efecto de estrato por el de orientación de rama.

Se calculó la correlación de Pearson (fenotípica) entre

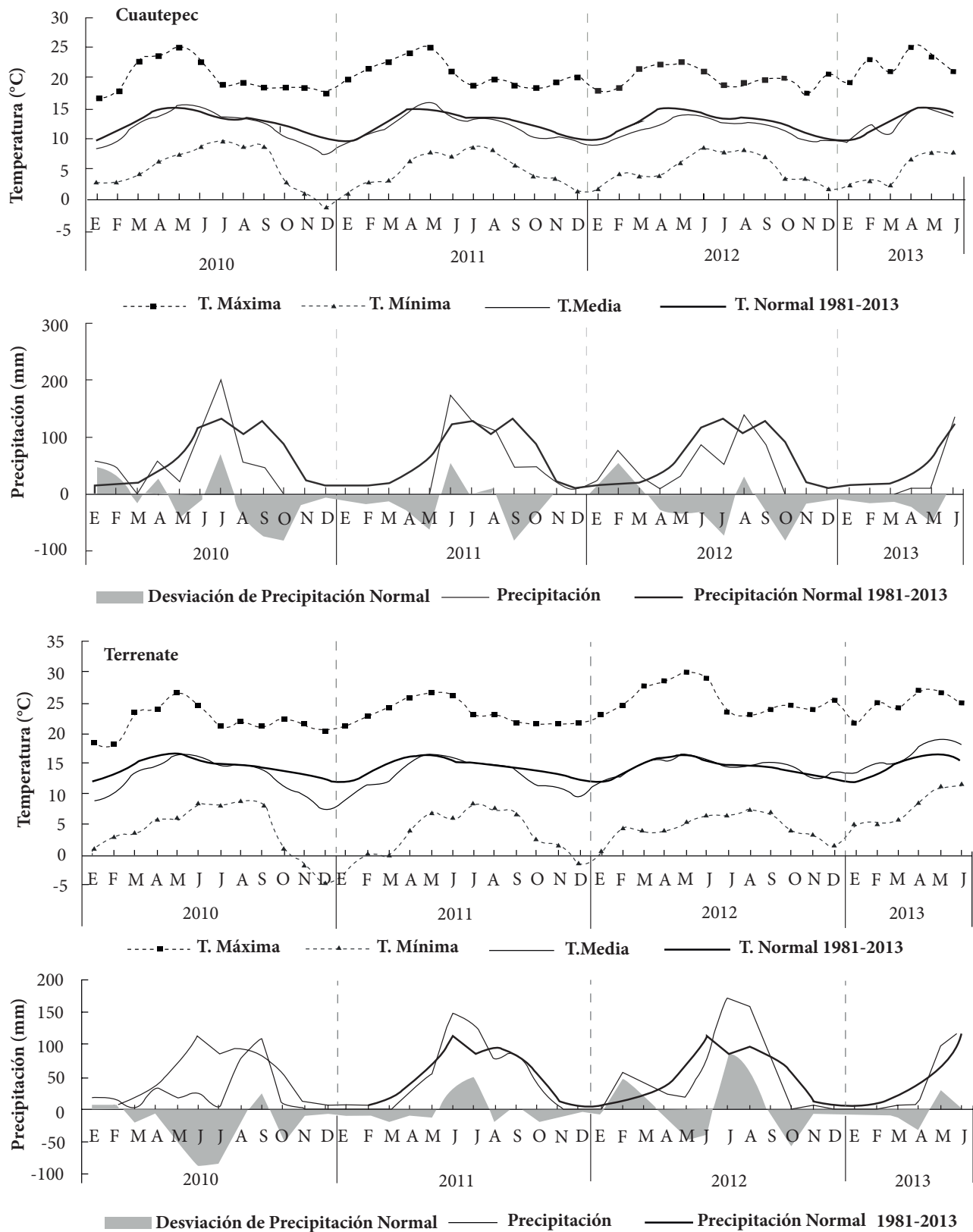


Figura 2. Curvas termoplumiométricas de los sitios de Cuautepec y Terrenate 2010-2013. Fuente estación climatológica de Cuautepec de Hinojosa del INIFAP y de la 29051 de CONAGUA.



diámetro normal y las variables fenológicas evaluadas, mediante el procedimiento CORR de SAS (SAS Institute, 2002).

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

**Sincronización fenológica a nivel sitio**

En Cuauhtec la receptividad de estróbilos femeninos inicio prácticamente en la misma fecha en ambos años (marzo 22-23, Figura 3) y aproximadamente 15 d antes del inicio de la emisión de polen ( $\sigma$ ), mientras el término del periodo reproductivo femenino ( $\varphi$ ) ocurrió alrededor de 14 d después del masculino en ambos años. Se observaron diferencias entre años en la amplitud de dichos periodos y en las fechas de las tasas máximas de receptividad y dispersión de polen. El ciclo 2012 de Cuauhtec resultó más compacto y con máximos reproductivos (abril 19, 93.6 % para  $\varphi$  y 77.3 % para  $\sigma$ ) mejor sincronizados ( $PO_0 = 0.57$ ); en cambio, en 2013 la sincronización fue menor ( $PO_0 = 0.38$ ), y el máximo de receptividad (mayo 17, 87 %) se registró aproximadamente 13 d después que el máximo de dispersión de polen (mayo 4, 86.4 %). La amplitud y la forma gráfica de la tasa de receptividad en 2013 indican una afectación en el periodo de formación y desarrollo de estróbilos femeninos, ocasionada

por la incidencia de heladas tardías en los primeros días del mes de marzo.

En Terrenate se registró un inicio más tardío (5 de abril para  $\varphi$  y 20 de abril para  $\sigma$ , Figura 4), y una respuesta más variable que en Cuauhtec. En 2012 las tasas máximas de receptividad y dispersión de polen fueron de 43.5 % y 45.5 % respectivamente, lo que indica mayor dispersión temporal de estos eventos. La amplitud y la forma gráfica de la tasa de receptividad indican dos periodos principales de producción de estróbilos femeninos, cuyos máximos de receptividad no coinciden con el de dispersión de polen ( $PO_0 = 0.31$ ).

Los valores de sincronización promedio ( $PO_0$ ) encontrados en Cuauhtec en 2013 y Terrenate en 2012 (0.38 y 0.31 respectivamente) son menores a los reportados en huertos semilleros clonales de *Pinus sylvestris* L. con 0.41 (Burczyk y Chalupka, 1997) y en *P. radiata* D. Don con 0.48 y 0.42 (Zas *et al.*, 2003; Codesido *et al.*, 2005). Se considera que la variación que se registra en individuos de origen sexual es mayor que la variación en clones (White *et al.*, 2007); sin embargo, el valor del índice  $PO_0$  fue mayor en Cuauhtec en 2012 (0.57) que los registrados en los trabajos antes mencionados.

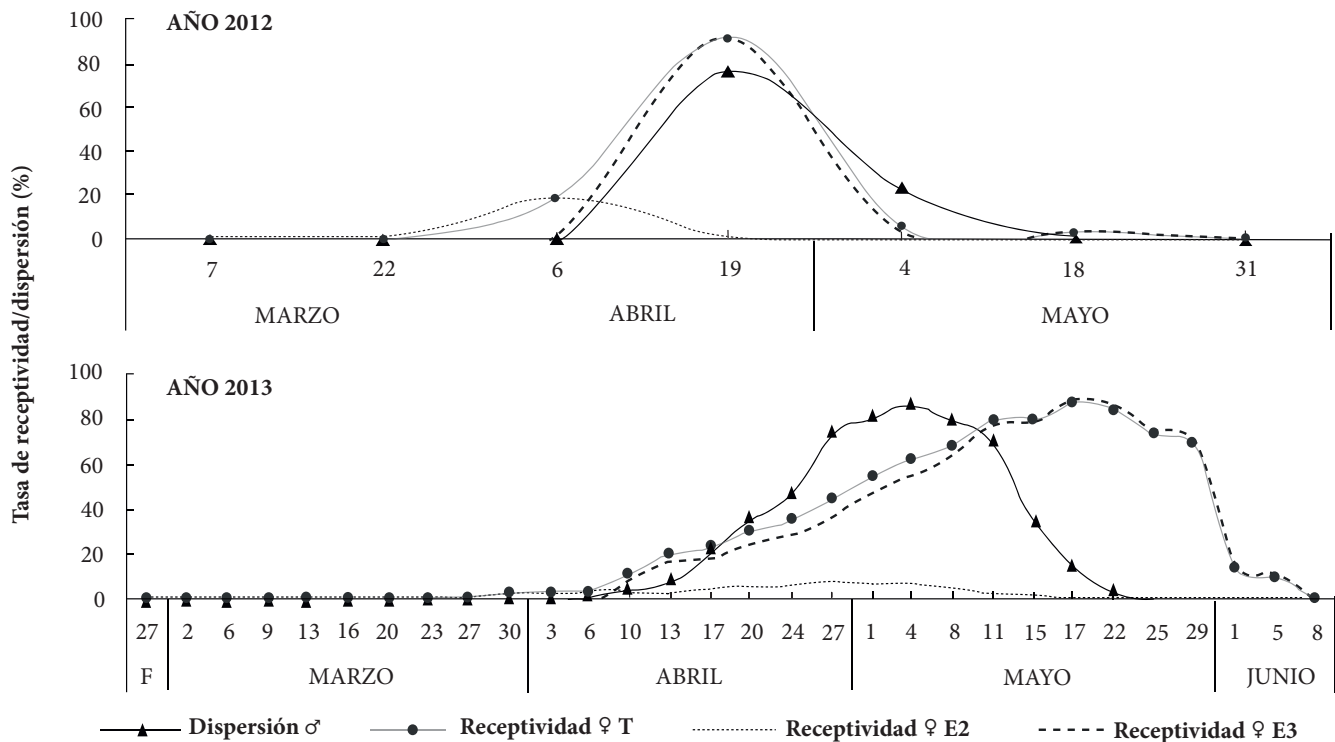


Figura 3. Traslapo fenológico general para *Pinus greggii* var. *australis* en Cuauhtec en 2012 y 2013. T = receptividad total, E2 = receptividad en la Etapa 2, y E3 = receptividad en la Etapa 3.

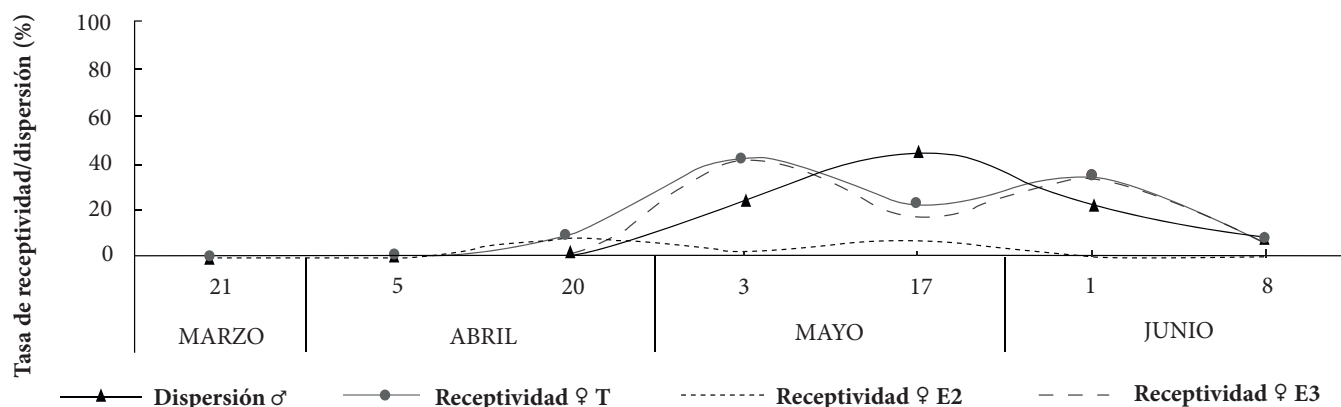


Figura 4. Traslape fenológico general para *Pinus greggii* var. *australis* en Terrenate (S2) en 2012. T = receptividad total, E2 = receptividad en la Etapa 2, y E3 = receptividad en la Etapa 3.

#### Análisis por estrato y orientación

Solo pudo evaluarse la respuesta de la tasa de dispersión de polen a nivel de estrato y orientación en la copa en Cuau-tepec en 2013 (Figura 5). Se registró una respuesta similar entre estratos, y entre éstos y la tasa de dispersión de polen a nivel copa de árbol completa, con un máximo de 86.4 % en todos los casos. El periodo de emisión de polen del estrato alto se caracterizó por iniciar después y finalizar antes que el del estrato bajo, y por una cantidad menor en la producción de amentos de estróbilos masculinos en comparación con este último. El polen del estrato alto se dispersó por seis semanas (del 10 de abril al 22 de mayo) con una sincronización de  $PO_0 = 0.31$ , mientras que en el estrato bajo fue de ocho semanas (3 de abril al 29 de mayo) con un sincroniza-do algo mejor ( $PO_0 = 0.38$ ).

No se detectaron diferencias significativas en la respuesta por orientación de las ramas. La orientación norte presentó un máximo de 80.1 % ( $PO_0 = 0.33$ ) en la tasa de dispersión, mientras que en la sur fue de 73.9 % ( $PO_0 = 0.32$ ). El periodo de dispersión de polen para ambas orientaciones inició el 13 de abril (10 d después que a nivel copa completa) y tuvo una duración de 47 d.

En los dos sitios se observó que el periodo de receptividad de estructuras reproductivas femeninas inició antes y fue más largo que el de dispersión de polen. Esta característica también se ha registrado en otras especies de pinos como *P. nigra* Arn. (Matziris, 1994; Alizoti *et al.*, 2010), *P. radiata* D. Don. (Codesido *et al.*, 2005) y *P. sylvestris* L. (Buczzyk y Chalupka, 1997). El desfaseamiento de los picos máximos de receptividad y dispersión de polen para Cuau-tepec y Terrenate pudo deberse a las condiciones de sequía que incidieron en ambos sitios a lo largo de al menos tres años y seis meses (enero de 2010 a junio de 2013). Esto coincide con

los resultados obtenidos por Alizoti *et al.* (2010), quienes reportaron un desfase de 12 d entre receptividad de conillos femeninos y dispersión de polen (anticipada) en un huerto semillero clonal de *P. nigra*, debido a un incremento en la temperatura entre años y a un déficit de precipitación.

La temperatura y la humedad, así como las condiciones de estrés que se pueden generar a partir de ambas, están considerados como los principales factores que afectan los periodos de diferenciación de yemas florales, iniciación y de posterior desarrollo de estróbilos (Connor *et al.*, 1998; Weber, 2004). En ambos sitios se detectó que la duración del periodo de dispersión de polen puede acortarse debido a exceso de humedad, básicamente por periodos (días) continuos o eventos cortos de abundante lluvia, lo que provoca que en ocasiones el polen se compacte dentro del estróbilo y éste se degrade anticipadamente; en contraste, las condiciones extremas de sequía aceleran la emisión de polen.

#### Sincronización fenológica a nivel familia

En Cuau-tepec todas las familias evaluadas tuvieron participación en el periodo reproductivo durante los dos años; sin embargo, las familias 18, 22 y 31 desarrollaron sólo estróbilos masculinos el primer año, mientras que la familia 18 produjo sólo femeninos en el segundo ciclo. En el 2012 las familias tuvieron un inicio de receptividad y dispersión de polen uniforme entre ellas, con poca variación respecto a la duración del periodo reproductivo, sobre todo para estróbilos femeninos (32 ♀ y 23 ♂ d de duración promedio, Cuadro 1). En contraste, la receptividad y dispersión de polen de las familias registró mayor variabilidad durante el año 2013 cuando el periodo de receptividad fue de 62 d, 30 más que el ciclo anterior y con los máximos sesgados hacia la parte final del periodo reproductivo. La dispersión de polen fue de 32 d en promedio; en esto destaca la familia

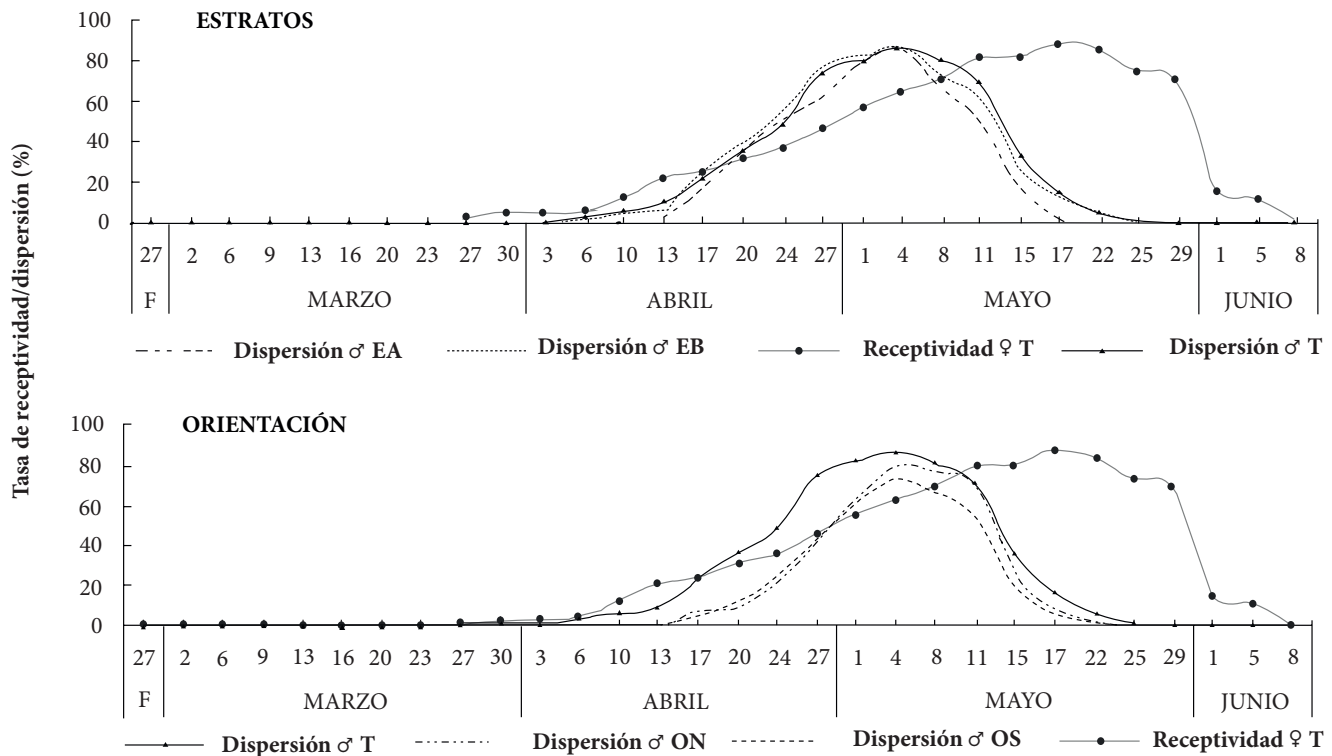


Figura 5. Comparación de la tasa general de dispersión de polen en *Pinus greggii* var. *australis* por estrato y orientación en 2013, en Cuauhtec (S1). T = dispersión o receptividad total, EA = estrato alto, EB = estrato bajo, ON = orientación norte y OS = orientación sur.

21 con un inicio tardío y una menor duración que el resto (mayo 4, y 18 d).

En Terrenate se detectó una respuesta altamente variable en la duración de los periodos de receptividad y emisión de polen de las familias evaluadas (48 ♀ y 30 ♂ d en promedio, Cuadro 1), sin la participación de la familia 30. Sólo las familias 5, 25 y 61 registraron un máximo de receptividad (54.2 % en promedio de las tres, vs. 24.9 % del promedio general) al momento que la tasa de dispersión de polen alcanzó su nivel más alto (48.1 %). Diez familias (4, 7, 12, 17, 18, 28, 32, 35, 36 y 62) presentaron máximos de receptividad dos semanas antes del máximo de dispersión de polen, y nueve familias más la receptividad fue posterior a este evento (familias 9, 16, 21, 22, 26, 27, 29, 31 y 57). Los periodos de floración femenina de ocho familias (4, 12, 18, 21, 28, 29, 32 y 61) y los de floración masculina de diez familias (4, 5, 12, 17, 18, 21, 27, 29, 36 y 61) se desfilaron por completo de sus respectivos periodos de floración masculina y femenina de al menos una de las familias evaluadas restantes; presumiblemente, estas familias aportaron menos genes en el lote de semillas que se generó.

En general, no se detectaron tendencias entre años sobre la respuesta de las familias de medios hermanos como

polinizadores o receptores de polen en los dos sitios, debido a los valores obtenidos el primer ciclo en Cuauhtec y por la caída de la producción de estróbilos en Terrenate en 2013. Sin embargo, las familias 7 ♂ y 61 ♀ presentaron los valores más altos del índice (PO) durante los dos años de evaluación en Cuauhtec. En todos los casos se observó variabilidad entre los individuos de cada una de las familias evaluadas, para estróbilos de ambos sexos, sobre todo en 2012 (rango PO mínimo-máximo, Cuadro 1).

Las correlaciones entre el periodo de receptividad y el de dispersión de polen a nivel familia fueron positivas en todos los casos y muy altas en Cuauhtec en 2012. La variación en la producción de estróbilos y en la sincronización se ha observado en especies del género *Pinus* y otras coníferas regularmente a edades tempranas, y en huertos semilleros de primera generación (El-Kassaby *et al.*, 1988; Matziris, 1994). En estos casos el empleo de reguladores de crecimiento y de cruas controladas son alternativas para maximizar la participación de los individuos de interés.

**Sincronización fenológica en grupos de familias de interés por volumen de fuste**

Se detectó variación en la composición de los grupos de



**Cuadro 1. Índice de sincronización fenológica (PO) promedio a nivel de familias de *Pinus greggii* var. *australis*.**

Fam†	Cuautepec 2012				Cuautepec 2013				Terrenate 2012			
	♀ PO‡	mín-máx	♂ PO	mín-máx	♀ PO	mín-máx	♂ PO	mín-máx	♀ PO	mín-máx	♂ PO	mín-máx
4	0.56	0.18-0.83	0.75	0.38-0.83	0.35	0.22-0.48	0.34	0.26-0.38	0.20	0.00-0.38	0.32	0.00-0.64
5	0.58	0.18-0.83	0.35	0.29-0.83	0.46	0.28-0.66	0.43	0.33-0.60	0.46	0.17-0.69	0.25	0.00-0.76
7	0.50	0.20-0.62	0.76	0.38-0.83	0.44	0.28-0.62	0.52	0.36-0.74	0.23	0.02-0.52	0.39	0.08-0.69
9	0.56	0.18-0.83	0.75	0.38-0.83	0.46	0.29-0.62	0.44	0.25-0.68	0.30	0.03-0.50	0.38	0.08-0.78
12	0.56	0.18-0.83	0.75	0.38-0.83	0.36	0.22-0.52	0.32	0.17-0.54	0.15	0.00-0.83	0.35	0.00-0.83
16	0.57	0.18-0.83	0.59	0.50-0.83	0.41	0.27-0.58	0.41	0.29-0.60	0.38	0.02-0.83	0.34	0.08-0.78
17	0.58	0.18-0.83	0.43	0.38-0.83	0.33	0.18-0.46	0.34	0.18-0.51	0.38	0.17-0.66	0.29	0.00-0.83
18	-	-	0.76	0.38-0.83	0.33	0.19-0.47	-	-	0.33	0.00-0.83	0.13	0.00-0.38
21	0.57	0.18-0.83	0.55	0.50-0.83	0.25	0.12-0.37	0.29	0.22-0.36	0.23	0.00-0.52	0.34	0.00-0.83
22	-	-	0.76	0.38-0.83	0.31	0.18-0.46	0.32	0.19-0.51	0.37	0.02-0.83	0.46	0.20-0.84
25	0.63	0.43-0.83	0.47	0.43-0.74	0.41	0.22-0.56	0.37	0.23-0.55	0.44	0.05-0.83	0.41	0.10-0.77
26	0.57	0.18-0.83	0.59	0.50-0.83	0.42	0.27-0.58	0.35	0.17-0.51	0.27	0.06-0.56	0.41	0.08-0.83
27	0.56	0.18-0.83	0.75	0.38-0.83	0.44	0.25-0.58	0.41	0.26-0.49	0.31	0.08-0.60	0.13	0.00-0.38
28	0.58	0.18-0.83	0.49	0.43-0.83	0.36	0.24-0.50	0.39	0.25-0.53	0.15	0.00-0.83	0.28	0.10-0.65
29	0.58	0.18-0.83	0.43	0.38-0.83	0.45	0.26-0.60	0.39	0.26-0.52	0.28	0.00-0.76	0.17	0.00-0.43
30	0.58	0.38-0.83	0.32	0.29-0.61	0.36	0.23-0.48	0.41	0.25-0.49	-	-	-	-
31	-	-	0.48	0.43-0.83	0.43	0.31-0.56	0.36	0.21-0.51	0.39	0.13-0.68	0.34	0.08-0.78
32	0.58	0.18-0.83	0.35	0.29-0.83	0.36	0.19-0.51	0.30	0.19-0.46	0.30	0.00-0.76	0.30	0.10-0.46
35	0.56	0.18-0.83	0.75	0.38-0.83	0.42	0.30-0.58	0.26	0.11-0.42	0.27	0.03-0.61	0.31	0.08-0.69
36	0.57	0.18-0.83	0.59	0.50-0.83	0.33	0.18-0.47	0.33	0.21-0.44	0.44	0.10-0.84	0.13	0.00-0.38
57	0.58	0.18-0.83	0.43	0.38-0.83	0.40	0.27-0.53	0.52	0.36-0.65	0.43	0.18-0.77	0.36	0.10-0.66
61	0.65	0.36-0.83	0.76	0.38-0.83	0.53	0.30-0.74	0.36	0.20-0.46	0.40	0.00-0.78	0.30	0.00-0.83
62	0.45	0.35-0.50	0.22	0.18-0.61	0.38	0.25-0.52	0.37	0.19-0.52	0.33	0.10-0.63	0.38	0.05-0.68

†Fam = familia; ‡ Valores del índice de sincronización o traslape fenológico (PO) varían entre 0.00 (mínimo) y 1.00 (máximo teórico). - no hay observación porque no floreció.

interés por volumen de madera producido (Cuadro 2). Las familias 4, 5, 9, 16, 17, 21, 28 y 29 fueron superiores en un sitio o inferiores en otro, lo que indica interacción genotipo ambiente. Sin embargo, en ambos sitios las familias 7, 25, 26, 27, 30, 57, 61 y 62 presentaron los mayores volúmenes, y las familias 12, 18, 22, 31, 32, 35 y 36 los menores.

En Cuautepec todas las familias participantes tuvieron la posibilidad de cruzarse entre sí en grados variables durante los dos ciclos de producción. En 2012 se obtuvieron valores altos del índice de sincronización promedio por grupo de probables cruza; sin embargo,

el polen proveniente del grupo de familias de menor volumen tuvo una probabilidad mayor de participar en el proceso de fertilización. En 2013 se obtuvieron valores de PO más bajos para todos los grupos de cruza de interés pero más favorables, debido a que se observó una mayor probabilidad de que el polen del grupo de familias con mayor volumen haya fertilizado los óvulos de todas las familias, respecto a las del grupo de menor volumen.

En Terrenate los valores del índice PO que se obtuvieron en 2012 son los más bajos de ambos sitios, como consecuencia de la variabilidad en los periodos de receptividad

**Cuadro 2. Índice de sincronización fenológica (PO) promedio para cruzas entre grupos de familias de *Pinus greggii* var. *australis* de mayor y menor volumen.**

Sitio	Mayor ♂ x mayor ♀		Mayor ♂ x menor ♀		Menor ♂ x mayor ♀		Menor ♂ x menor ♀	
	Prom. †	mín-máx	Prom.	mín-máx	Prom.	mín-máx	Prom.	mín-máx
Cuautepec 2012	0.53	♀ 0.44-0.64	0.51	♀ 0.51	0.61	♀ 0.44-0.65	0.65	♀ 0.63-0.68
		♂ 0.26-0.70		♂ 0.18-0.83		♂ 0.53-0.69		♂ 0.38-0.83
Cuautepec 2013	0.42	♀ 0.26-0.54	0.40	♀ 0.32-0.48	0.37	♀ 0.22-0.50	0.34	♀ 0.27-0.41
		♂ 0.28-0.54		♂ 0.30-0.52		♂ 0.29-0.47		♂ 0.24-0.43
Terrenate 2012	0.31	♀ 0.12-0.45	0.34	♀ 0.12-0.49	0.28	♀ 0.16-0.43	0.32	♀ 0.18-0.43
		♂ 0.12-0.40		♂ 0.15-0.45		♂ 0.12-0.43		♂ 0.15-0.49

†Prom. = promedio, mín = mínimo, y máx = máximo.

y dispersión de polen de las familias en este sitio; sin embargo, el polen proveniente del grupo de familias de mayor rendimiento tuvo mayor probabilidad de polinizar a todas las familias. Por otro lado, se detectó un número importante de pares de familias no incluidas en la evaluación sin posibilidad de cruzarse entre sí y un patrón de respuesta reproductiva similar de las familias evaluadas; así, en un huerto semillero operativo se requeriría el uso de actividades de manejo complementarias, como la polinización artificial.

A pesar de la relativamente baja diversidad genética de los materiales en el ensayo de progenies, se detectó un nivel adecuado de sincronización entre las fenologías femenina y masculina. La fenología reproductiva del ensayo de progenies estuvo influenciada por las características físicas y climáticas del sitio de plantación a lo largo del tiempo. Las plantaciones se establecieron en lugares más elevados que los lugares de origen de los materiales en prueba, y se mostraron sensibles a temperaturas bajas y la menor precipitación en esos años, por lo que de usarse como huertos semilleros sexuales se deberán establecer actividades culturales para mejorar el vigor de los árboles, como es la fertilización o incluso riegos de auxilio cuando ocurran primaveras muy secas.

Es de notar que se observaron amplias diferencias en la fenología floral dentro del árbol, estadísticamente significativas entre estratos para la dispersión del polen, pero además observable entre ramas, dentro de la misma rama e incluso a nivel de amento de estróbilos, en donde la cantidad, la velocidad y uniformidad de la maduración no fueron iguales. Este hecho da oportunidad para que un mismo árbol pueda polinizar varios árboles que tengan receptibilidad variada.

#### **Análisis de variables fenológicas reproductivas de tiempo**

Se detectó variación significativa en las fechas de inicio

y término y la duración de los periodos reproductivos femenino y masculino de las familias de *Pinus greggii* var. *australis* en distintos niveles (Cuadro 3). Se observaron diferencias significativas entre sitios (2012) para todas las variables, excepto en duración de la Etapa 2 de receptividad femenina; en Cuautepec los periodos de receptividad y de dispersión de polen ocurrieron antes y tuvieron una duración mayor que en Terrenate; las normales climatológicas de los sitios indican que Cuautepec es más frío y húmedo que Terrenate, con diferencias de 1 °C (temperatura media anual) y 136 mm de precipitación.

A nivel de sitio solo se detectó variación significativa en Terrenate 2012, respecto a las fechas de inicio y término de las etapas de receptividad y dispersión de polen, y solo en la duración total del periodo de madurez femenina. Se observó amplia variación entre los individuos de cada familia para las fechas de inicio y término de las etapas reproductivas de ambos sexos (error estándar de las medias de las variables muy grandes) y su duración, con excepción de Cuautepec 2012.

La evaluación del periodo de dispersión de polen en Cuautepec 2013 indicó una respuesta con mayor variación entre estratos que entre orientaciones. El estrato bajo de la copa de los árboles tuvo un inicio temprano y mayor duración en comparación con el estrato alto. Las fechas de inicio y término de dispersión de polen fueron estadísticamente similares entre ramas con orientaciones norte y sur, y únicamente se detectaron diferencias significativas en la duración del periodo reproductivo.

#### **CONCLUSIONES**

Las tasas de sincronización general obtenidas en Cuautepec 2013 y Terrenate 2012 son relativamente bajas pero podrían ser aceptables si se considera el origen sexual del

**Cuadro 3. Prueba de significancia (ANOVAS) para variables fenológicas de tiempo de *Pinus greggii* var. *australis*, años 2012 y 2013.**

Fuente de Variación	Receptividad ♀ (Pr > F) <sup>†</sup>							Dispersión ♂ (Pr > F)			
	G.L. <sup>‡</sup>	Ini E2	Dur E2	Ini E3	Ter E3	Dur E3	Dur T.	G.L.	Ini	Ter	Dur
<b>Análisis conjunto (Sitios-2012)</b>											
Sitio	1	<.0001	0.5985	<.0001	<.0001	0.0002	0.0257	1	<.0001	<.0001	0.0077
Familia	22	0.7313	0.7864	0.7691	0.7471	0.8567	0.6026	22	0.0108	0.0193	0.4064
Sitio x Familia	18	0.4938	0.5769	0.5713	0.5834	0.8142	0.4491	21	0.1469	0.1251	0.2152
<b>Análisis sitio individual - Cuauhtepc 2012</b>											
Familia	19	0.8863	0.9525	0.8875	0.8838	0.8709	0.8312	22	0.3385	0.3385	0.3385
<b>Análisis sitio individual - Terrenate 2012</b>											
Familia	21	0.0487	0.1167	0.0651	0.0689	0.1507	0.0400	21	0.0412	0.0385	0.2416
<b>Cuauhtepc 2013</b>											
Familia	22	0.9374	0.8144	0.9372	0.5838	0.6938	0.4180	21	0.6808	0.4488	0.5116
<b>Análisis sitios individual por estrato de copa - Cuauhtepc 2013</b>											
Estrato	-	-	-	-	-	-	-	1	0.0013	0.0801	<.0001
Estrato (Familia)	-	-	-	-	-	-	-	20	0.1015	0.4753	<.0001
<b>Análisis sitios individual por orientación de rama - Cuauhtepc 2013</b>											
Orientación	-	-	-	-	-	-	-	1	0.4261	0.2788	0.0114
Orientación (Familia)	-	-	-	-	-	-	-	20	0.2727	0.7215	0.1346

<sup>†</sup> Significancia determinada con  $P \leq 0.1$ ; <sup>‡</sup> G.L. = grados de libertad; Ini = inicio, Ter = término, Dur = duración, T = total, E2 = Etapa 2, y E3 = Etapa 3.

ensayo y una mayor variación dentro de este respecto a uno de origen clonal. Sin embargo, el primer año en Cuauhtepc presentó un valor de sincronización fenológica alto, propiciado quizás por el número y la periodicidad de las observaciones durante ese año.

Existe variación significativa en las fechas y los tiempos de madurez de estructuras reproductivas en *Pinus greggii* var. *australis*; entre sitios, Cuauhtepc presentó precocidad respecto a Terrenate; entre sexos, el periodo de receptividad femenina inició siempre antes que el de dispersión de polen; entre familias, principalmente en Terrenate; entre árboles de la misma familia; y entre estratos (2013), donde el estrato alto de la copa del árbol tuvo una menor producción de estróbilos masculinos y un periodo de dispersión más corto que el estrato bajo.

En el caso de haber interés por determinado grupo de individuos o por cruces específicas, será necesaria la implementación de polinización artificial para contrarrestar las afectaciones por condiciones climáticas adversas, y por la variabilidad que se presenta en la formación y desarrollo de estructuras reproductivas.

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el financiamiento para los estudios de posgrado del primer autor. Al Fondo CONAFOR-CONACYT 148425 "Establecimiento de huertos semilleros con material genéticamente superior de *Pinus patula* y *P. greggii*". A Margarito Cruz Castillo, por el apoyo proporcionado. A todos los amigos que participaron en el desarrollo de este trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alizoti P. G., K. Kilimis and P. Gallios (2010) Temporal and spatial variation of flowering among *Pinus nigra* Arn. clones under changing climatic conditions. *Forest Ecology and Management* 259:786-797.
- Askew G. R. and D. Blush (1990) Short note: An index of phenological overlap in flowering for clonal conifers seed orchards. *Silvae Genetica* 39:168-171.
- Azamar O. M., J. López U., J. J. Vargas H. y A. Plancarte B. (2000) Evaluación de un ensayo de procedencias-progenies de *Pinus greggii* y su conversión a huerto semillero. Memorias del 1er. Congreso Nacional de Reforestación. 08-10 Noviembre 2000. Programa Nacional de Reforestación-Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 9 p.
- Blush T. D., D. L. Bramlett and Y. A. El-Kassaby (1993) Reproductive phenology of seed orchards. In: *Advances in Pollen Management*. D.

- L. Bramlett, G. R. Askew, T. D. Blush, F. E. Bridgwater, and J. B. Jett. (eds.). Chap. 2. USDA Agriculture Handbook 698. Washington DC, USA. pp:15-23.
- Burczyk J. and D. Prat (1997)** Male reproductive success in *Pseudotsuga menziesii* (Mirb). Franco: the effect of spatial structure and flowering characteristics. *Heredity* 79:638-647.
- Burczyk J. and W. Chalupka (1997)** Flowering and cone production variability and its effects on parental balance in a Scots pine clonal seed orchard. *Annals of Forest Science* 54:129-144.
- Codesido V. y E. Merlo (2001)** Caracterización fenológica del huerto semillero de *Pinus radiata* de Sergude. III Congreso Forestal Español. 25 al 28 de septiembre 2001, Granada, España. Actas del Congreso. Tomo III. pp: 69-74.
- Codesido V., E. Merlo and J. Fernández-López (2005)** Variation in reproductive phenology in a *Pinus radiata* D. Don seed orchard in northern Spain. *Silvae Genetica* 54:246-255.
- Connor K. F., T. C. Prewitt, F. T. Bonner, W. W. Elam and R. C. Parker (1998)** Environmental stresses and reproductive biology of loblolly pine (*Pinus taeda* L.) and flowering dogwood (*Cornus florida* L.). In: R. A. Mickler and S. Fox (eds.). The Productivity and Sustainability of Southern Forest Ecosystems in a Changing Environment. Ecological Studies 128. pp:103-116.
- Donahue J. K. and J. López-Upton (1999)** A new variety of *Pinus greggii* (Pinaceae) in México. *SIDA Contribution to Botany* 18:1083-1093.
- Dvorak W. S., J. E. Kietzka, J. K. Donahue, G. R. Hodge and T. K. Stanger (2000)** *Pinus greggii*. In: Conservation & Testing of Tropical & Subtropical Forest Tree Species by the CAMCORE Cooperative. Central America & Mexico Coniferous Resources Cooperative. North Carolina State University, Raleigh, NC. pp:52-73.
- El-Kassaby Y. A. and K. Ritland (1986)** The relationship of outcrossing rate to reproductive phenology and supplemental mass pollination in a Douglas fir seed orchard. *Silvae Genetica* 35:240-244.
- El-Kassaby Y. A., K. Ritland, A. M. K. Fashler and D. Devitt (1988)** The role of reproductive phenology upon mating system of a Douglas fir seed orchard. *Silvae Genetica* 37:76-82.
- Gömöry D., R. Bruchánik and L. Paule (2000)** Effective population number estimation of three scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seed orchards based on an integrated assessment of flowering, floral phenology, and seed orchard design. *Forest Genetics* 7:65-75.
- Hodge G. R. and W. S. Dvorak (2012)** Growth potential and genetic parameters of four Mesoamerican pines planted in the Southern Hemisphere. *Southern Forests* 74:27-49.
- López U. J. y A. Muñoz O. (1991)** Selección familiar por tolerancia a sequía en *Pinus greggii* Engelm. I. Evaluación en plántula. *Agrociencia, Serie Fitociencia* 2:111-123.
- López U. J., J. Jasso M., J. J. Vargas H. y J. C. Ayala S. (1993)** Variación de características morfológicas en conos y semillas de *Pinus greggii* Engelm. *Agrociencia, Serie Recursos Naturales Renovables* 3:81-95.
- López-Upton J., C. Ramírez-Herrera, O. Plascencia-Escalante y J. Jasso-Mata (2004)** Variación en crecimiento de diferentes poblaciones de las dos variedades de *Pinus greggii*. *Agrociencia* 38:457-464.
- Lyndon R. F. (1992)** The environment control of reproductive development. In: Fruit and Seed Production. Aspects of Development, Environment, Physiology and Ecology. C. Marshall and J. Grace (eds.). Cambridge University Press. Cambridge, U. K. pp:9-32.
- Matziris D. I. (1994)** Genetic variation in the phenology of flowering in black pine. *Silvae Genetica* 43:321-328.
- Owens N. J. and M. D. Blake (1985)** Forest Tree Seed Production. Canadian Forest Service, Petawawa National Forestry Institute, Chalk River, Ontario, Canada. Information Report PI-X-53. 161 p.
- Ramírez-Herrera C., J. J. Vargas-Hernández y J. López-Upton (2005)** Distribución y conservación de las poblaciones naturales de *Pinus greggii*. *Acta Botánica Mexicana* 72:1-16.
- SAS Institute (2002)** SAS/STAT Computer Software. Release 9.00. SAS Institute Inc. Cary, USA.
- Vargas H. J. J. y A. Muñoz O. (1988)** Resistencia a sequía: II. Crecimiento y supervivencia en plántulas de cuatro especies de *Pinus*. *Agrociencia* 72:197-208.
- Webber J. (2004)** Physiology of sexual reproduction in trees. In: J. Burley, J. Evans and J. A. Youngquist (eds.). Encyclopedia of Forest Sciences. Elsevier. pp:1639-1644.
- White T. L., W. T. Adams and D. B. Neale (2007)** Forest Genetics. CABI. Oxfordshire. 682 p.
- Zas R., E. Merlo and J. Fernández-López (2003)** SYNCHRO: A SAS program for analysing the floral phenological synchronisation in seed orchards. *Silvae Genetica* 52:212-215.
- Zobel B. J. and J. Talbert (1988)** Técnicas de Mejoramiento Genético de Árboles Forestales. Limusa, México. 545