



DOI: 10.29298/rmcf.v15i86.1482

Artículo de investigación

Observaciones fenológicas en clones de *Pinus patula* Schltl. & Cham.

Phenological observations on *Pinus patula* Schltl. & Cham. clones

Sara Irene Velasco Hernández¹, Liliana Muñoz Gutiérrez^{1*}

Fecha de recepción/Reception date: 30 de abril de 2024.

Fecha de aceptación/Acceptance date: 8 de octubre de 2024.

¹Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México.

*Autor para correspondencia; correo-e: gutierrez.liliana@inifap.gob.mx

*Corresponding author; e-mail: gutierrez.liliana@inifap.gob.mx

Resumen

La falta de sincronización floral en un huerto semillero propicia la disminución de la diversidad genética del lote de semillas, aumenta el porcentaje de óvulos abortivos y de semillas vacías. Por lo anterior, es necesario determinar las etapas fenológicas y el grado de sincronización entre la dispersión del polen y la receptividad femenina. En un huerto semillero asexual de *Pinus patula* de generación 1.5, se estimaron las fechas de inicio, fin y duración de cada etapa fenológica de las estructuras reproductivas masculinas y femeninas con el macro *SYNCHRO* de *SAS*[®]. El periodo de receptividad femenina duró 13 días en promedio y el de dispersión de polen 27.5 días. La dispersión de polen y receptividad femenina ocurrieron cuando se acumularon 370.5 y 440 grados-día, respectivamente. El Índice de sincronización general del huerto se considera bajo ($PO=0.24$), por lo que no existe una total sincronización entre los pares de clones. Se verificó correlación positiva entre el inicio y la duración de ambos eventos fenológicos ($r=0.41$) con sincronía de siete días; por tanto, es posible que se lleve a cabo la polinización entre los clones del huerto con índices de sincronización moderados (PO entre 0.30 a 0.60), pero se requiere determinar la variabilidad y control genético de los clones en evaluaciones subsecuentes.

Palabras clave: Dispersión de polen, grados-día, rametos, receptividad femenina, semillas, sincronización fenológica.

Abstract

The lack of floral synchronization in a seed orchard favors a decrease in the genetic diversity of the seed lot, increases the percentage of abortive ovules and empty seeds. Therefore, it is necessary to determine the phenological stages and the degree of synchronization between pollen dispersal and female receptivity. In a 1.5 generation *Pinus patula* clonal seed orchard, the start, end and duration dates of each phenological stage of the male and female reproductive structures were estimated by macro-*SYNCHRO*. The female receptivity period lasted 13 days average, and the pollen dispersal period, 27.5 days. Pollen dispersal and female receptivity occurred when 370.5 and 440 degree-days accumulated, respectively. The general synchronization index of the

orchard is considered low ($PO=0.24$) so there is no total synchronization between clone pairs. A positive correlation was found between the onset and duration of both phenological events ($r=0.41$) with a synchrony of seven days; therefore, it is possible that pollination between clones in the orchard with moderate synchronization indexes (PO between 0.30 to 0.60) can take place, but it is necessary to determine the variability and genetic control of the clones in subsequent evaluations.

Key words: Pollen dispersal, degree-day, ramets, feminine receptiveness, seeds, phenological synchronization.

Introducción

Pinus patula Schltdl. & Cham. es uno de los árboles más utilizados para establecer plantaciones forestales comerciales fuera de su área de distribución natural. En regiones tropicales y subtropicales del mundo, existen plantaciones en Madagascar (Randriambanona *et al.*, 2019), Colombia, Brasil y Sudáfrica (Dvorak *et al.*, 1995) debido a su rápido crecimiento, buena conformación de copa y poda natural, fuste recto y madera de buena calidad (Nyoka, 2002). La superficie plantada con *P. patula* en todo el mundo es de aproximadamente un millón de hectáreas, de las cuales 95 % corresponden a plantaciones en África Central, Oriental y Meridional (Tadesse y Fidalgo, 2022).

En México, existen aproximadamente 4 230 ha plantadas con esta especie (Conafor, 2011). Sin embargo, para producir las plantas demandadas en los programas de plantaciones y programas de reforestación, es necesario tener un suministro abundante de germoplasma de alta calidad genética, plantas más productivas y adaptadas a diferentes ambientes (Di-Giovanni y Kevan, 1991). En función de ello, el objetivo de los huertos semilleros sexuales y asexuales es producir semillas de mayor calidad fisiológica, en cantidad suficiente, con eficiencia genética alta y semilla adaptada a ambientes específicos (Wang *et al.*, 1991); sin embargo, la calidad genética y fisiológica de las semillas producidas es afectada por factores tales como el tamaño de la población, el flujo genético foráneo, efectos de endogamia, el éxito

reproductivo (referido a la contribución de gametos de los progenitores a la siguiente generación) y la fertilidad de la descendencia (Kang *et al.*, 2004).

El desarrollo de estructuras reproductivas y sus periodos de receptividad y dispersión de polen, en particular, pueden variar por el origen de los progenitores, la edad del arbolado, el manejo del huerto y por aspectos ambientales (Chaisurisri y El-Kassaby, 1993; Burczyk y Chalupka, 1997). La sincronía fenológica es uno de los requisitos principales para el cruzamiento aleatorio (panmixia) y el éxito reproductivo entre los pares de clones establecidos en los huertos (El-Kassaby *et al.*, 1984; Matziris, 1994). Las variaciones en la fenología de los progenitores conducen a la reducción de las posibles combinaciones de cruzamiento; pueden presentarse cruza asortativas (selectivas) entre algunos clones; es decir, el cruzamiento preferencial entre individuos con fenotipos similares, lo que implica un desbalance en el éxito reproductivo; cruza no aleatorias e incremento en la proporción de semillas vanas (Codesido *et al.*, 2005).

La fenología reproductiva en huertos semilleros se ha determinado en varias coníferas; la falta de sincronía fenológica es común en *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco (El-Kassaby *et al.*, 1984; Copes y Sniezko, 1991), *Picea sitchensis* (Bong.) Carrière (El-Kassaby y Reynolds, 1990), *Pinus radiata* D. Don. (Griffin, 1984), *Pinus taeda* L. (Askew, 1986) y *Pinus thunbergii* Parl. (Chaix *et al.*, 2007); por el contrario, en huertos semilleros de *Pinus sylvestris* L. (Jonsson *et al.*, 1976), *Picea mariana* (Mill.) Britton, Sterns & Poggenb. (O'Reilly *et al.*, 1982) y *Picea abies* (L.) H. Karst. (Nikkanen, 2001) la sincronía es alta.

Para alcanzar la máxima eficiencia genética en un huerto semillero de polinización abierta se deben cumplir algunas condiciones, entre ellas: que la receptividad de los óvulos femeninos esté sincronizada con la dispersión de polen en todos los clones (Erickson y Adams, 1989), ya que las diferencias en la fenología reproductiva entre clones reducen el tamaño efectivo del huerto, promueven la autofecundación y aumentan el riesgo de contaminación de polen externo (Burczyk y Chalupka, 1997).

Por lo anterior, es importante definir los periodos de inicio, fin y duración de cada etapa del desarrollo de las estructuras reproductivas femeninas y masculinas, ya que se ha observado que el inicio de la receptividad femenina tiene un fuerte control genético a diferencia de su contraparte masculina (Griffin, 1984; Nikkanen, 2001); mientras que la duración de la dispersión del polen está determinada completamente por factores ambientales como la temperatura y la precipitación (Matziris, 1994).

Con base en lo anterior, los objetivos del presente trabajo fueron determinar las etapas fenológicas, el grado de sincronización entre la dispersión de polen y la receptividad femenina y la acumulación de grados-día en un huerto semillero asexual de generación 1.5 de *P. patula*. La hipótesis plantea que las diferencias entre clones, respecto a sus etapas fenológicas están en función de la cantidad acumulada de temperatura (grados-día) durante el proceso de diferenciación y desarrollo posterior de las estructuras reproductivas.

Materiales y Métodos

Área de estudio

Un programa de mejoramiento genético forestal en la región de Aquixtla, Puebla, inició con la selección de 94 fenotipos en rodales naturales de *P. patula* en predios de la Reserva Forestal Multifuncional El Manantial. Un huerto semillero asexual, con planta generada por injertos, se estableció en 2003; posteriormente, en 2005 y 2007 se implementaron los ensayos de progenies con semillas de la población de

selección para determinar los mejores progenitores (Salaya-Domínguez *et al.*, 2012; Escobar-Sandoval *et al.*, 2018). Los 11 mejores clones se seleccionaron con base en su crecimiento y densidad de madera (Escobar-Sandoval *et al.*, 2018); se realizaron cruza controladas, a partir de las cuales se produjo planta patrón y se injertaron, nuevamente, con púas del huerto de primera generación. Así, en agosto de 2016 se estableció el huerto semillero asexual (HSA) de generación 1.5 en el predio Chichicaxtla, Aquixtla, Puebla, México (19°45'14" N, 97°58'20" O; altitud de 2 679 m); se siguió un diseño completamente al azar con un espaciamiento de 3×3 m con diferente número de rametos por clon pertenecientes a 31 clones distintos.

Evaluación de la fenología de las estructuras reproductivas

La fenología de las estructuras reproductivas se registró en una muestra de 25 clones con tres rametos por clon, que fueron seleccionados por su historial de producción de conos en dos años consecutivos. Durante febrero y abril de 2022, se hicieron las observaciones sobre el avance fenológico, con una frecuencia de 4 a 5 días; se marcaron tres ramas desde la parte media hasta la porción alta de la copa para los estróbilos femeninos, y tres ramas de la parte media hacia la baja de la copa para los estróbilos masculinos. Las etapas fenológicas de ambos tipos de estructuras reproductivas se definieron con la metodología de Hernández *et al.* (2016) y de Muñoz-Gutiérrez *et al.* (2019).

Para los estróbilos femeninos se definieron cuatro etapas. E1: la yema vegetativa tiene forma cilíndrica y aumenta de tamaño, en la base aparecen las yemas reproductivas cubiertas por catáfilos; E2: la parte apical de la yema comienza a abrirse, el estróbilo emerge, los óvulos no están receptivos pero los granos de polen

pueden quedarse entre las escamas, y si sobreviven hasta la siguiente etapa, pueden fertilizar, por lo tanto, se consideró con un 20 % de receptividad; E3: las escamas se separan gradualmente hasta formar un ángulo recto con el eje del estróbilo, los granos de polen pueden penetrar con facilidad entre las escamas y alcanzar los óvulos, y corresponde a la etapa de máxima receptividad (100 %); y E4: las escamas aumentan de tamaño y grosor, de manera que el polen ya no puede polinizar, y cesa la receptividad (Figura 1).



Figura 1. Etapas fenológicas de estróbilos femeninos de *Pinus patula* Schltldl. & Cham.

Para los estróbilos masculinos también se definieron cuatro etapas. E1: son visibles los estróbilos masculinos en la base de la yema vegetativa, con los sacos polínicos cubiertos por catáfilos; E2: ocurre el alargamiento de los estróbilos que emergen y quedan al descubierto los catáfilos; E3: los estróbilos continúan alargándose hasta adquirir un color amarillo, y se presenta la máxima dispersión de polen; E4: termina por completo la emisión de polen, los sacos polínicos se marchitan y los estróbilos caen (Figura 2).



Figura 2. Etapas fenológicas de estróbilos masculinos de *Pinus patula* Schtdl. & Cham.

Análisis de datos

Para cada rameto y clon se determinaron las fechas de inicio, fin y duración de cada una de las etapas fenológicas con el macro *SYNCHRO* (Zas *et al.*, 2003) de SAS® versión 9.4 (SAS, 2013); previamente, las fechas en las cuales se realizaron las observaciones se convirtieron a días julianos (número de días a partir del 1 de enero). Con estos datos se calculó el Índice de Sincronización Fenológica (*PO*) entre pares de clones de acuerdo con el procedimiento propuesto por Askew y Blush (1990), el cual es una medida cuantitativa que permite conocer la proporción simétrica de los fenogramas masculinos y femeninos generados por el programa *SYNCHRO*; y se calculó el Coeficiente de Correlación de *Pearson* (r_P) entre los respectivos valores de los índices obtenidos para cada clon en el ciclo reproductivo evaluado.

Para determinar la cantidad de temperatura acumulada (grados-día) en las fechas de inicio y fin de la receptividad femenina y dispersión de polen, se utilizaron las

temperaturas máximas y mínimas registradas en el sitio web AccuWeather (2022) para el municipio Aquixtla, Puebla, durante el periodo de estudio para calcular los grados-día (*GD*) acumulados a partir del primer día de enero hasta finalizar el periodo de receptividad y dispersión. La ecuación utilizada para estimar los *GD* fue la siguiente (Lozada y Angelocci, 1999):

$$GD = \left[\frac{T^{\circ} \text{máx} + T^{\circ} \text{mín}}{2} \right] - T^{\circ} \text{umbral}$$

Donde:

GD = Grados-día

T[°] *máx* = Temperatura máxima diaria (°C)

T[°] *mín* = Temperatura mínima diaria (°C)

T[°] *umbral* = Temperatura umbral inferior de la especie (°C) =6 °C (Muñoz-Gutiérrez *et al.*, 2017).

Resultados

Fenología de las estructuras reproductivas

Los clones evaluados se comportaron como tardíos y precoces; por ejemplo, el inicio y el fin de los periodos de la receptividad y la dispersión de polen en clones

considerados como precoces ocurrió con diferencia de 7.5 días (d) (Cuadro 1). Mientras que la duración de la receptividad fue menor que la dispersión con una diferencia de 14.5 d.

Cuadro 1. Valores promedio de las fechas de inicio, fin y duración de la receptividad femenina y dispersión de polen en *Pinus patula* Schltdl. & Cham.

Evento fenológico	Clones precoces			Clones tardíos		
	Inicio	Fin	Duración (días)	Inicio	Fin	Duración (días)
Receptividad femenina	49.5	62.5	13.0	76.5	86.0	9.5
Dispersión de polen	42.0	69.5	27.5	76.5	86.0	9.5

Por otro lado, hubo clones que iniciaron sus eventos fenológicos de manera tardía, hasta los 76.5 d y con duración de solo 9.5 d (Cuadro 1).

Los coeficientes de correlación fueron de moderados a bajos y no significativos, a excepción del inicio de la receptividad con la duración de la dispersión de polen ($r=-0.474$; $p=0.034$) y entre la duración de ambos eventos $r=0.419$ ($p=0.065$) (Cuadro 2).

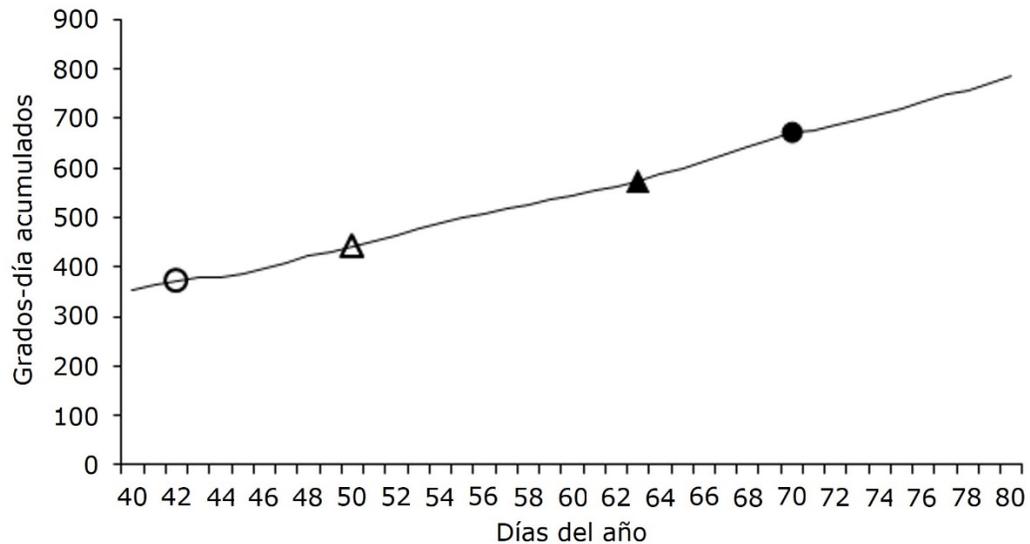
Cuadro 2. Coeficiente de correlación (r_p) (valores de p) entre la receptividad femenina y la dispersión de polen de *Pinus patula* Schltdl. & Cham.

		Dispersión de polen		
		Inicio	Fin	Duración
Receptividad femenina	Inicio	0.410 (0.071)	0.322 (0.165)	-0.474 (0.034)
	Fin	0.064 (0.788)	0.317 (0.172)	-0.004 (0.983)
	Duración	-0.289	-0.087	0.419

(0.216) (0.714) (0.065)

Fenología reproductiva y acumulación de grados-día

El inicio de ambos eventos fenológicos sucedió cuando se acumularon 370.5 *GD* para la dispersión de polen y 440 *GD* para la receptividad femenina; mientras que el fin de las etapas, cuando se acumularon 572.5 *GD* para los estróbilos femeninos y 672 *GD* para las estructuras masculinas (Figura 3).



Receptividad femenina: Inicio (Δ) y fin (▲); Dispersión de polen: Inicio (○) y fin (●).

Figura 3. Grados-día acumulados en el ciclo 2022 (línea continua).

Índice de Sincronización Fenológica (*PO*)

En la mitad del periodo de los eventos fenológicos, solo 22 % de los clones coincidieron en la receptividad y dispersión de polen; después se verificó un segundo pico de dispersión en el que aproximadamente 30 % de los clones participaban, y solo el 8 % estaban receptivos; finalmente, en una tercera fase, los clones siguieron dispersando polen y fue mayor la participación, de 68 %, aproximadamente, pero solo 18 % de los femeninos estaban receptivos (Figura 4). Entre 20 y 70 % de los clones tuvieron máxima dispersión de polen durante 22.5 días en promedio; en este periodo, entre 10 y 15 % de las estructuras femeninas estuvieron receptivas (Figura 4).

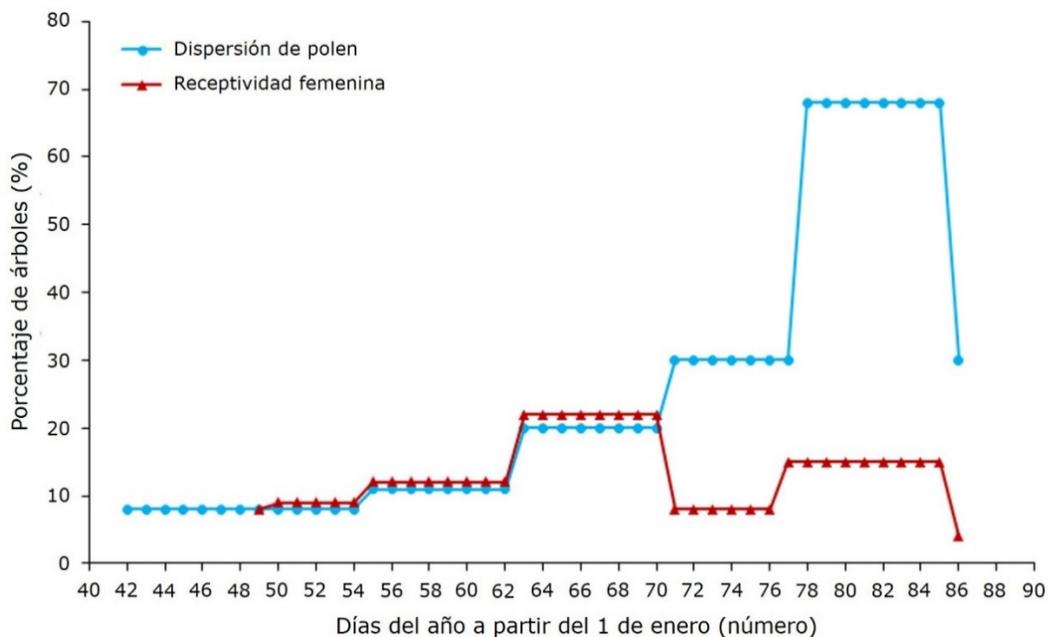


Figura 4. Sincronización fenológica de la receptividad femenina y dispersión de polen.

El Índice de Sincronización Fenológica (*PO*) promedio fue de 0.24 entre los periodos de receptividad femenina y de dispersión de polen. Los índices de sincronización

entre clones para receptividad femenina variaron de 0.03 a 0.54; mientras que, los de la dispersión de polen fueron de entre 0.11 y 0.42, excepto para dos clones con los valores extremos de $PO=0$ (clon 36S) y $PO=1$ (clon 37R), lo que indica que el clon 36S no participó como polinizador; en cambio, el clon 37R tuvo la mayor participación (Cuadro 3).

Cuadro 2. Índice de Sincronización Fenológica (PO) entre la receptividad femenina y la dispersión de polen entre clones de *Pinus patula* Schltdl. & Cham.

ID clon	PO femenina promedio	PO masculina promedio
01Z	0.05	0.42
02R	0.37	0.18
02Z	0.03	0.30
03Z	0.18	0.39
04Z	0.54	0.20
05Z	0.16	0.21
10R	0.35	0.14
10S	0.39	0.18
113C	0.20	0.15
117C	0.16	0.16
12C	0.11	0.14
15R	0.23	0.19
17R	0.17	0.16
17S	0.12	0.21
23S	0.38	0.13
25R	0.15	0.22
34S	0.40	0.11
36C	0.14	0.15
36S	0.36	0.00
37R	0.26	1.00
58C	0.44	0.42
64R	0.10	0.25

72R	0.21	0.41
83S	0.22	0.16
91C	0.25	0.19
General	0.24	0.24

Discusión

De acuerdo con los resultados, la duración de la receptividad femenina fue menor a la referida en un huerto de primera generación de *P. patula* en años consecutivos (2012: 25 d, 2013: 18 d, 2014: 29.8 d, 2015: 32.2 d) (Hernández *et al.*, 2016; Muñoz-Gutiérrez *et al.*, 2019). Para *P. radiata*, la receptividad fue de 35 d (Matziris, 1994; Codesido *et al.*, 2005) y para *P. sylvestris*, de 31 d (Jonsson *et al.*, 1976).

En los clones evaluados se registró mayor duración de la dispersión de polen que la receptividad de los estróbilos; por lo tanto, las diferencias de estos eventos entre clones tienen una gran repercusión en la variabilidad genética de la semilla producida en el huerto, ya que habrá clones que no participen en la producción de semillas, tan solo por la diferencia de 7.5 días en los que el polen comienza a dispersarse y no hay estructuras femeninas receptivas, y por ende, no ocurre la polinización. Sin embargo, el traslape entre ambos eventos es amplio, pero con participación baja de los clones, apenas de 20 %.

Se esperaba alcanzar mayor eficiencia genética en el huerto de generación 1.5, en el cual todos los árboles debían contribuir igualmente a la producción de semilla, y a mayores índices de sincronización entre clones, debido a que están mejor adaptados al ambiente (Jaquish, 2004); sin embargo, las variables fenológicas son factores de observación fenotípica que cambian con la temperatura y la humedad (Webber,

1995); además de la influencia de la edad del arbolado, las condiciones del sitio de plantación, la ubicación de los clones dentro del huerto (Muñoz-Gutiérrez *et al.*, 2019), la exposición, la pendiente, y el espacio entre individuos (Nikkanen, 2001).

La existencia de clones precoces y tardíos indicó que posiblemente hubo variaciones en cuanto a temperatura y humedad relativa (Muñoz-Gutiérrez *et al.*, 2019); los tardíos tendrían mayores probabilidades de ser polinizados por aquellos clones que también se comportaron de igual forma en la dispersión de polen.

No obstante, el hecho de que existan clones precoces en la receptividad y tardíos en la dispersión, aumenta la probabilidad de obtener mayor producción de semillas vanas (Burczyk y Chalupka, 1997). Este mismo comportamiento se observó en el huerto de primera generación, de donde procede el material con el que se estableció el HSA de generación 1.5 (Hernández *et al.*, 2016; Muñoz-Gutiérrez *et al.*, 2019); puesto que son los mismos clones que continúan comportándose como precoces o tardíos, lo que en parte se debe a que algunos de los componentes de la fenología reproductiva tienen un fuerte control genético (Matziris, 1994), ya que los progenitores seleccionados, a partir de las poblaciones de origen, se espera que conserven sus características fenológicas, independientemente de las condiciones *ex situ* en las que se establecieron los huertos de primera y generación 1.5 (Funda y El-Kassaby, 2012).

La fenología reproductiva femenina y el inicio de la receptividad, en particular, presentan un fuerte control genético como se ha observado en *Pinus radiata* (Codesido *et al.*, 2005), *P. nigra* J. F. Arnold (Matziris, 1994) y *Picea abies* (Nikkanen, 2001). Mientras que factores ambientales como la temperatura acumulada (*GD*) y la precipitación influyen sobre el patrón estacional, días antes y durante la dispersión de polen en *Pinus thunbergii* (Matziris, 1994), *Pseudotsuga menziesii* (Erickson y Adams, 1989), *Pinus radiata* (Codesido *et al.*, 2005) y en clones del huerto de primera generación de *Pinus patula*; aunque en este último, el periodo de dispersión de polen presentó un control genético mayor ($r=0.76$) que el

periodo de receptividad femenina, en particular, la fecha de inicio y la duración de la dispersión (Muñoz-Gutiérrez *et al.*, 2017).

Por el contrario, en *P. sylvestris* la dispersión de polen exhibe menor heredabilidad (0.21) (Rodríguez, 2001); se ha determinado que la dispersión está mayormente condicionada por factores climáticos como la cantidad de radiación solar o altas temperaturas (Nikkanen, 2001), además de las condiciones particulares del micrositio que nutren al árbol (Nikkanen y Ruotsalainen, 2000).

La dispersión de polen inició cuando se acumularon 370.5 *GD*, desde el 1 de enero de 2022, más de 100 unidades calor registrado para la misma especie y región en 2014 (255 *GD*) y 2015 (260 *GD*) (Muñoz-Gutiérrez *et al.*, 2017). Además del incremento de temperatura para los periodos de evaluación, hubo ausencia de heladas en 2022, la temperatura mínima registrada fue de 3 °C (AccuWeather, 2022), lo cual fue contrario a los años 2013 y 2014, cuando se tuvieron temperaturas mínimas de hasta -7.1 °C (Hernández *et al.*, 2016). En diferentes estudios se ha demostrado que el inicio de la dispersión de polen está correlacionada con la temperatura y la acumulación de grados-día (Luomajoki, 1993); es decir, una mayor temperatura indicó una fecha de inicio temprana (Torimaru *et al.*, 2013); en el presente trabajo, la dispersión de polen comenzó a los 42 días del año (11 de febrero), con una acumulación de temperatura de 370.5 *GD*; mientras que, en los años 2014 y 2015 la dispersión empezó hasta el día 60 (1 de marzo) y 72 (13 de marzo), respectivamente (Muñoz-Gutiérrez *et al.*, 2017); ello supone que el incremento de temperatura combinado con ausencia de precipitación aceleró los procesos de diferenciación de las estructuras reproductivas.

Los índices de sincronización y el traslape en los periodos de dispersión se deben a cambios en las temperaturas que influyen sobre el desarrollo de las estructuras reproductivas. En el presente trabajo se visualizaron hasta tres fases, en las que no hay total sincronización entre todos los pares de clones, por lo que los índices de sincronización fueron bajos. Este comportamiento es muy inusual; puesto que, en

años anteriores en el huerto de primera generación, los periodos coincidieron en un lapso de siete a 10 días (Hernández *et al.*, 2016; Muñoz-Gutiérrez *et al.*, 2019).

En otras coníferas se registraron valores más altos del Índice de Sincronización; por ejemplo, *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. ($PO=0.38$ y 0.31 ; Ruiz-Farfán *et al.*, 2015), *P. sylvestris* ($PO=0.41$; Burczyk y Chalupka, 1997) y *P. radiata* ($PO=0.42$ y 0.48 ; Zas *et al.*, 2003; Codesido *et al.*, 2005).

Las correlaciones de moderadas a bajas y no significativas entre las fechas de inicio de receptividad femenina y dispersión de polen indicaron que cuando comienza, la mayoría de los estróbilos femeninos en etapa tres (de máxima receptividad) no necesariamente coincide con los picos de máxima dispersión de polen, pero sí aportan cantidades mínimas.

Por otra parte, la correlación positiva entre la duración de ambos eventos explicó el traslape que se verificó en diferentes tiempos, a pesar de que no todos los clones participaron como dispersores o receptores. Posiblemente, las diferencias en la fenología reproductiva entre progenitores del huerto conducen a la reducción de combinaciones de cruzamiento y provocan apareamiento asortativo positivo entre ellos (es decir, la cruce preferencial entre fenotipos similares), pero reducen la contribución clonal a la cosecha de semillas (Funda y El-Kassaby, 2012). La variación en la sincronización se ha observado en especies del género *Pinus* y otras coníferas, por lo regular, a edades tempranas y en huertos semilleros (Matziris, 1994); en estos casos, el uso de reguladores del crecimiento y cruces controladas son alternativas para maximizar la participación de todos los clones del huerto (Ruiz-Farfán *et al.*, 2015; Muñoz-Gutiérrez *et al.*, 2019).

Conclusiones

Los resultados muestran que los eventos fenológicos no empiezan al mismo tiempo, pues la acumulación de calor para iniciar sus procesos de diferenciación es diferente, ya que la dispersión de polen en el huerto comienza antes que la receptividad femenina y con menor acumulación de grados-día. La diferenciación de estróbilos masculinos ocurre antes, maduran más rápido, su dispersión de polen comienza antes y con mayor duración; por lo tanto, con un amplio periodo de dispersión se esperaría que la semilla producida realmente resulte de la cruce entre pares de clones del huerto, ya que alcanza a cubrir los periodos de receptividad. Debido a la rapidez y el corto tiempo del periodo de receptividad de los estróbilos femeninos, no se garantiza que la polinización de todos ellos suceda en su totalidad por las diferencias en la participación de algunos clones; el bajo Índice de Sincronización Fenológica indica que no todos participan al mismo tiempo como femeninos o polinizadores.

Es necesario continuar las evaluaciones en años subsecuentes, para determinar la interacción de los clones y las condiciones climáticas del año en el inicio, fin y duración de la floración, así como el comportamiento de los clones en función de estos factores. De igual manera, definir el nivel de control genético en las etapas de máxima receptividad femenina y máximo periodo de dispersión de polen.

Es recomendable implementar algunas estrategias de manejo del polen, como el control de la polinización entre pares de clones y, a gran escala, para mejorar la calidad de las semillas producidas, así como promover la floración en aquellos individuos que aún no están en floración para incrementar la contribución clonal a la cosecha de semillas.

Agradecimientos

Al Ing. León Jorge Castaños Martínez y al Ing. Salvador Castro Zavala por todas las facilidades para la toma de datos; a Georgina Olivia Velasco por el apoyo en la toma de datos en campo.

Conflictos de interés

Los autores manifiestan que no existen conflictos de interés. Liliana Muñoz Gutiérrez declara no haber participado en ninguna de las etapas del proceso editorial del presente artículo.

Contribución por autor

Sara Irene Velasco Hernández: toma de datos en campo, análisis estadístico, interpretación de resultados y redacción del manuscrito; Liliana Muñoz Gutiérrez: ejecución y supervisión de la investigación, análisis estadístico, interpretación de resultados y corrección del manuscrito.

Referencias

- AccuWeather. 2022. Aquixtla, Puebla.
<https://www.accuweather.com/es/mx/aquixtla/1070130/february-weather/1070130?year=2022>. (30 de mayo de 2023).
- Askew, G. R. 1986. Implications of non-synchronous flowering in clonal conifer seed orchards. *In*: Hatcher, A. V. and R. J. Weir (Eds.). IUFRO conference: A joint meeting of working parties on breeding theory, progeny testing and seed orchards. International Union of Forest Research Organizations (IUFRO). Williamsburg, VA, United States of America. pp. 182-191.

- Askew, G. R. and T. D. Blush. 1990. Short note: An index of phenological overlap in flowering for clonal conifer seed orchards. *Silvae Genetica* 39(3-4):168-171. https://www.thuenen.de/media/institute/fg/PDF/Silvae_Genetica/1990/Vol._39_Hef_t_3-4/39_3-4_168.pdf. (12 de marzo de 2022).
- Burczyk, J. and W. Chalupka. 1997. Flowering and cone production variability and its effect on parental balance in a Scots pine clonal seed orchard. *Annals of Forest Science* 54(2):129-144. Doi: 10.1051/forest:19970201.
- Chaisurisri, K. and Y. A. El-Kassaby. 1993. Estimation of clonal contribution to cone and seed crops in a Sitka spruce seed orchard. *Annals of Forest Science* 50(5):461-467. Doi: 10.1051/forest:19930504.
- Chaix, G., P. Vigneron, V. Razafimaharo and S. Hamon. 2007. Are phenological observations sufficient to estimate the quality of seed crops from a *Eucalyptus grandis* open-pollinated seed orchard? Consequences for seed collections. *New Forests* 33:41-52. Doi: 10.1007/s11056-006-9012-9.
- 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(4-5):246-256. Doi: 10.1515/sg-2005-0035.
- Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2011. Sistema Nacional de información Forestal. <https://snif.cnf.gob.mx/>. (23 de septiembre de 2024).
- Copes, D. L. and R. A. Sniezko. 1991. The influence of floral bud phenology on the potential mating system of a wind-pollinated Douglas-fir orchard. *Canadian Journal of Forest Research* 21(6):813-820. Doi: 10.1139/x91-114.
- Di-Giovanni, F. and P. G. Kevan. 1991. Factors affecting pollen dynamics and its importance to pollen contamination: a review. *Canadian Journal of Forest Research* 21(8):1151-1170. Doi: 10.1139/x91-163.
- Dvorak, W. S., J. K. Donahue and J. A. Vasquez. 1995. Early performance of CAMCORE introductions of *Pinus patula* in Brazil, Colombia and South Africa. *South African Forestry Journal* 174(1):23-33. Doi: 10.1080/00382167.1995.9629875.

El-Kassaby, Y. A. and S. Reynolds. 1990. Reproductive phenology, parental balance, and supplemental mass pollination in a Sitka spruce seed-orchard. *Forest Ecology and Management* 31(1-2):45-54. Doi: 10.1016/0378-1127(90)90110-W.

El-Kassaby, Y. A., A. M. K. Fashler and O. Sziklai. 1984. Reproductive phenology and its impact on genetically improved seed production in a Douglas-fir seed orchard. *Silvae Genetica* 33(4-5):120-125. https://www.thuenen.de/media/institute/fg/PDF/Silvae_Genetica/1984/Vol._33_Hef_t_4-5/33_4-5_120.pdf. (12 de marzo de 2022).

Erickson, V. J. and W. T. Adams. 1989. Mating success in a coastal Douglas-fir seed orchard as affected by distance and floral phenology. *Canadian Journal of Forest Research* 19(10):1248-1255. Doi: 10.1139/x89-190.

Escobar-Sandoval, M. C., J. J. Vargas-Hernández, J. López-Upton, S. Espinosa-Zaragoza y A. Borja-de la Rosa. 2018. Parámetros genéticos de calidad de madera, crecimiento y ramificación en *Pinus patula*. *Madera y Bosques* 24(2):e2421595. Doi: 10.21829/myb.2018.2421595.

Funda, T. and Y. A. El-Kassaby. 2012. Seed orchard genetics. *CAB Reviews* 7:1-23. Doi: 10.1079/PAVSNNR20127013.

Griffin, A. R. 1984. Clonal variation in radiata pine seed orchards. II* Flowering phenology. *Australian Forest Research* 14:271-281. <https://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=9264944>. (25 de agosto de 2022).

Hernández Z., O., J. López U., J. J. Vargas H. y M. Jiménez C. 2016. Variación clonal de la fenología reproductiva en un huerto semillero de *Pinus patula*. *Bosque* 37(2):255-264. Doi: 10.4067/S0717-92002016000200004.

Jaquish, C. B. 2004. Abasto y manejo de semillas a partir de la recolección en rodales naturales, áreas de producción y huertos semilleros. *In: Vargas H., J. J., B. Bermejo V. y F. T. Ledig (Edits.). Manejo de recursos genéticos forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco de Mora, Edo. Méx., México. pp. 78-89.*

- Jonsson, A., I. Ekberg and G. Eriksson. 1976. Flowering in a seed orchard of *Pinus sylvestris* L. *Studia Forestalia Suecica* (135):1-38. <https://pub.epsilon.slu.se/5612/1/SFS135.pdf>. (5 de febrero de 2022).
- Kang, K. S., D. Lindgren and T. J. Mullin. 2004. Fertility variation, genetic relatedness, and their impacts on gene diversity of seeds from a seed orchard of *Pinus thunbergii*. *Silvae Genetica* 53:202-206. <https://intapi.sciendo.com/pdf/10.1515/sg-2004-0037>. (12 de marzo de 2022).
- Lozada, B. I. e L. R. Angelocci. 1999. Determinação da temperatura-base e de graus-dia para estimativa da duração do subperíodo da sementeira à floração de um híbrido de milho (*Zea mays*). *Revista Brasileira de Agrometeorologia* 7(1):31-36. <https://www.sbagro.org/files/biblioteca/198.pdf>. (22 de octubre de 2022).
- Luomajoki, A. 1993. Climatic adaptation of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Finland based on male flowering phenology. *Acta Forestalia Fennica* 237:5-27. <http://hdl.handle.net/1975/9343>. (22 de octubre de 2022).
- Matziris, D. I. 1994. Genetic variation in the phenology of flowering in Black pine. *Silvae Genetica* 43(5-6):321-328. https://www.thuenen.de/media/institute/fg/PDF/Silvae_Genetica/1994/Vol._43_Hef_t_5-6/43_5-6_321.pdf. (22 de octubre de 2022).
- Muñoz-Gutiérrez, L., J. J. Vargas-Hernández, J. López-Upton, C. Ramírez-Herrera, ... y R. Díaz-Ruíz. 2017. Variación espacial y temporal en la dispersión de polen en un huerto semillero y en rodales naturales cercanos de *Pinus patula*. *Bosque* 38(1):169-181. Doi: 10.4067/S0717-92002017000100017.
- Muñoz-Gutiérrez, L., J. J. Vargas-Hernández, J. López-Upton, C. Ramírez-Herrera, M. Jiménez-Casas and A. Aldrete. 2019. Variation on reproductive phenology in a *Pinus patula* seed orchard and risk of genetic contamination from nearby natural stands. *New Forests* 50:1027-1041. Doi: 10.1007/s11056-019-09712-1.
- Nikkanen, T. 2001. Reproductive phenology in a Norway spruce seed orchard. *Silva Fennica* 35(1):39-53.

<https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/532525/Nikkanen.pdf?sequence=1>.
(15 de marzo de 2023).

Nikkanen, T. and S. Ruotsalainen. 2000. Variation in flowering abundance and its impact on the genetic diversity of the seed crop in a Norway spruce seed orchard. *Silva Fennica* 34(3):205-222. Doi: 10.14214/sf.626.

Nyoka, B. I. 2002. *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. In: CAB International (Comp.). Pines of silvicultural importance. CABI Publishing. Oxon, OX, United Kingdom. pp. 303-316.

O'Reilly, C., W. H. Parker and J. E. Barker. 1982. Effect of pollination period and strobili number on random mating in a clonal seed orchard of *Picea mariana*. *Silvae Genetica* 31(2-3):90-94.
https://www.thuenen.de/media/institute/fg/PDF/Silvae_Genetica/1982/Vol._31_Hef_t_2-3/31_2-3_90.pdf. (22 de marzo de 2023).

Randriambanona, H., J. R. Randriamalala and S. M. Carrière. 2019. Native forest regeneration and vegetation dynamics in non-native *Pinus patula* tree plantations in Madagascar. *Forest Ecology and Management* 446:20-28. Doi: 10.1016/j.foreco.2019.05.019.

Rodríguez M., J. A. 2001. Variabilidad reproductiva y sus implicaciones en el incremento de la producción de semilla en un huerto semillero de *Pinus sylvestris*. Tesis Doctoral. Departamento de Silvopascicultura, Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, MD, España. 153 p.

Ruíz-Farfán, D. de G., J. López-Upton, C. Ramírez-Herrera y D. A. Rodríguez-Trejo. 2015. Fenología reproductiva en un ensayo de progenies de *Pinus greggii* var. *australis*. *Revista Fitotecnia Mexicana* 38(3):285-296. Doi: 10.35196/rfm.2015.3.285.

Salaya-Domínguez, J. M., J. López-Upton y J. J. Vargas-Hernández. 2012. Variación genética y ambiental en dos ensayos de progenie de *Pinus patula*. *Agrociencia* 46:519-534. <https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v46n5/v46n5a9.pdf>.
(15 de marzo de 2023).

Statistical Analysis Software (SAS). 2013. User's guide statistics version 9.4. SAS Institute Inc. Cary, NC, United States of America. 5136 p.

Tadesse, W. and T. Fidalgo F. 2022. *Pinus patula* plantations in Africa: An overview of its silvicultural traits and use under SDG. In: Gonçalves, A. C. and T. Fidalgo F. (Edits.). Conifers-Recent Advances. IntechOpen. London, LND, United Kingdom. pp. 1-13.

Torimaru, T., U. Wennström, B. Andersson, C. Almqvist and X. R. Wang. 2013. Reduction of pollen contamination in Scots pine seed orchard crop by tent isolation. Scandinavian Journal of Forest Research 28(8):715-723. Doi: 10.1080/02827581.2013.838298.

Wang, X., D. Lindgren, A. E. Szmidt and R. Yazdani. 1991. Pollen migration into a seed orchard of *Pinus sylvestris* L. and the methods of its estimation using allozyme markers. Scandinavian Journal of Forest Research 6(1-4):379-385. Doi: 10.1080/02827589109382675.

Webber, J. E. 1995. Pollen management for intensive seed orchard production. Tree Physiology 15(7-8):507-514. Doi: 10.1093/treephys/15.7-8.507.

Zas A., R., E. Merlo and J. Fernández L. 2003. SYNCHRO: A SAS program for analysing the floral phenological synchronisation in seed orchards. Silvae Genetica 52(5-6):212-215. <http://hdl.handle.net/10261/101387>. (15 de mayo de 2022).



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional)*, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.