

INFLUENCIA DE FACTORES CLIMÁTICOS EN LAS FECHAS DE INICIO DE FLORACIÓN Y BROTAÇÃO DE CLONES DE ÁLAMO EN EL DELTA DEL PARANÁ, ARGENTINA

A. GARAU ¹, S. FILIPPINI DE DELFINO ², G. BERRONDO ³

¹ Cátedra de Dasonomía

² Cátedra de Estadística. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Av. San Martín 4453 (1417) Capital Federal. Argentina.
agarau@mail.agro.uba.ar

³ Estación Experimental Delta del Paraná, INTA. Otamendi. Buenos Aires. Argentina.

RESUMEN

Se estudia el efecto conjunto de diferentes factores climáticos sobre el inicio de floración y brotación de distintos clones de álamo a través de técnicas de análisis multivariado. Se analizaron seis clones de *Populus deltoides* de amplio cultivo en Argentina y los registros fenológicos se realizaron durante seis años. La información agrometeorológica comprendió fotoperíodo, horas de frío (temperaturas iguales o menores a 7 °C), precipitaciones y temperatura, evaluada con el modelo de grado-día. Se analizaron cuatro temperaturas base y dos fechas de inicio de suma de temperaturas. Se utilizaron métodos estadísticos univariados y multivariados.

La suma de temperaturas a partir del 1 de julio, sobre una temperatura base de 4 °C, es el factor de mayor influencia para el inicio de las fenofases. En menor grado también afectan las horas de luz, las precipitaciones y las horas de frío.

Se discute la importancia relativa de los distintos factores climáticos en relación al origen geográfico del *Populus deltoides*.

PALABRAS CLAVE: Bioclimatología
Álamos
Populus deltoides
Floración
Brotación

Recibido: 10-6-99

Aceptado para su publicación: 28-10-99

INTRODUCCIÓN

El bioclima representa la diversidad de cualidades ambientales necesarias para completar el ciclo ontogénico de una especie y los elementos bioclimáticos importantes para el desarrollo de las plantas son aquellos con un carácter continuo, como temperatura y fotoperíodo, actuando como condicionantes para cada estado de la planta (Pascale, 1975). La Fenología, ciencia que relaciona los eventos biológicos periódicos con los cambios climáticos estacionales es, por otro lado, un tópico de múltiple interés, ya que la época de floración afecta aspectos críticos del ciclo de vida de las plantas y su conocimiento puede servir, por ejemplo, a los genetistas forestales en sus trabajos de mejoramiento o a los técnicos en la identificación clonal (FAO, 1980).

Los factores climáticos más comunes que influyen los patrones fenológicos son el fotoperíodo, la temperatura y la precipitación (Smith-Ramírez y Armesto, 1994). Factores tales como fotoperíodo, requerimientos de frío o temperatura tienen distinta importancia relativa en la ruptura de la dormición (Hunter y Lechowicz, 1992). En algunas comunidades vegetales el fotoperíodo o la precipitación son más importantes (Bowers y Dimmit, 1994), pero la temperatura ha sido considerada como el principal factor para determinar el comienzo de la actividad vegetativa.

La dependencia de la fenología de los árboles a las señales climáticas está bien estudiada y la alteración de la coordinación del fotoperíodo y el régimen térmico en un clima cambiante puede tener efectos adversos sobre el desarrollo de los árboles (Hanninen, 1995).

En este trabajo se analizó el posible efecto conjunto de diferentes factores climáticos sobre el inicio de las fases de floración y brotación en distintos clones de álamo de plantación comercial en el Delta del Paraná (Argentina).

MATERIAL Y MÉTODOS

El Delta del río Paraná es un área inundable que cubre más de un millón de hectáreas localizadas alrededor de los 34° S y 58° O en las provincias de Buenos Aires y Entre Ríos (Argentina). El clima de la región es templado, con una temperatura media de enero (verano) de 22,6 °C, 10,5 °C en julio (invierno) y 16,3 °C como media anual. Las temperaturas extremas están entre 36,0° y 38 °C en verano y 0° a -10 °C en invierno. Las últimas heladas pueden ocurrir hasta el mes de octubre y el período libre de heladas es de 200 días aproximadamente (Berrondo y Gurini, 1990).

Las precipitaciones anuales son de 1.000 mm con ligera predominancia en los meses de verano.

La producción forestal es una de las principales actividades económicas de la zona. Las plantaciones monoclonales de álamos (*Populus deltoides* Bart) y sauces (*Salix* sp) destinadas a aserradero y pulpa para papel cubren 60.000 ha.

Clones de álamo estudiados: Se seleccionaron 6 clones de *Populus deltoides* pertenecientes a la colección de la Estación Experimental Agropecuaria Delta del Paraná del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y que presentan, además, amplia difusión en plantaciones comerciales de la zona. Los clones de álamo estudiados fueron:

Catfish 2, INTA Delta Paraná Miní (107/68), INTA Delta Paraná Guazú (125/68), 48/69, 208/68 e INTA Delta Paraná de las Palmas (151/68).

Registros fenológicos: El estudio observacional de floración y brotación se realizó sobre dichos clones en tres plantaciones adultas localizadas en el campo experimental de la Estación Experimental Agropecuaria Delta del Paraná (INTA) (34° 09' S, 58° 57' W). Los registros fenológicos se realizaron durante seis años.

En cada plantación se seleccionó al azar un mínimo de cinco plantas por clon y cada árbol individual (considerado como unidad experimental) se marcó con pintura y las sucesivas observaciones fueron realizadas siempre sobre el mismo individuo. Las observaciones fenológicas se realizaron cada 2-3 días (Garau y Murphy, 1993) utilizando binoculares para visualizar las flores y brotes (copas de más de 20 m de altura). Se registraron las fechas de ocurrencia de distintos estados fenológicos para las fases: primeros órganos aislados, inicio de fase, plenitud y fin de fase. Cada fecha fue transformada en día juliano. En los modelos que se presentan en este trabajo sólo se ha considerado la fecha de inicio de fase.

Registros microclimáticos: La información agrometeorológica se obtuvo de la Estación Agrometeorológica de la Estación Experimental. Se analizaron fotoperíodo, horas de frío (temperaturas iguales o inferiores a 7 °C), temperatura y precipitaciones. En este último caso se estudió el efecto de la suma de precipitaciones durante el semestre septiembre-marzo (correspondiente al período vegetativo). El efecto de la temperatura fue evaluado con el modelo de grado-día (Lindsey y Newman, 1956). Para tal fin, los cálculos se realizaron utilizando distintas temperaturas base (4°, 5°, 6° y 7 °C) y dos fechas de inicio (1 de mayo y 1 de julio) para la suma de las mismas.

Análisis de la información: La importancia relativa de los factores agrometeorológicos en las fases señaladas fue analizada a través de métodos estadísticos univariados, utilizando el modelo lineal general (procedimientos GLM del programa SAS, V6.12: SAS Inst. Inc., Cary). Posteriormente, para ajustar los niveles de significancia y poder realizar múltiples pruebas, dado que los datos fueron recogidos para varias variables de una misma unidad experimental, se condujo una serie de pruebas multivariadas usando la información a partir de todas las variables conjuntamente (Morrison, 1976); de esta manera se trató de determinar si las respuestas en días a floración y brotación consideradas conjuntamente sugerían una diferencia con respecto a cada factor climático involucrado. También se realizó análisis de variancia y regresión. Para examinar la relación entre datos fenológicos y climáticos se utilizó análisis de correlación. Para el uso de la T^2 de Hotelling se analizaron los supuestos de homogeneidad de variancia dentro de cada factor y normalidad. Los estadísticos utilizados para testear la significancia fueron el coeficiente Wilk's Lambda y el coeficiente F.

Para identificar la mejor temperatura base y fecha de inicio a utilizar en los modelos, se compararon las desviaciones estándares y los coeficientes de variación de distintos modelos (Arnold, 1959; White, 1979). Una temperatura base de 4 °C y la fecha de 1 de julio fueron seleccionadas por ser las que presentaban los menores valores para ambas medidas.

RESULTADOS

Tanto en las evaluaciones de floración y brotación por separado (modelo univariado) como en forma conjunta (modelo multivariado), la temperatura acumulada desde el 1 de julio con base 4 °C resultó ser el factor que explica con más intensidad ambas fases; en menor medida actúan las horas de luz, las precipitaciones y las horas de frío. El resultado de la modelización se presenta en la Tabla 1.

TABLA 1

MODELOS UNI Y MULTIVARIADOS UTILIZADOS PARA DETERMINAR LA RELACIÓN ENTRE DIFERENTES FACTORES CLIMÁTICOS: TEMPERATURA ACUMULADA (TEMP.ACUM), FOTOPERÍODO (FOTOP.), HORAS DE FRÍO (HS. FRÍO) Y PRECIPITACIONES ACUMULADAS ENTRE SEPTIEMBRE Y MARZO (PREC.SEP/ MAR) Y FECHAS DE INICIO DE FLORACIÓN Y BROTACIÓN EN CLONES DE ÁLAMO

Uni and multivariate models used to determine the relation between different climatic factors: accumulated temperature, photoperiod, chilling hours and accumulated precipitation between September and March, and initial date of flowering and leafing for poplar clones

Modelo	Estimaciones	Coefficiente de determinación múltiple (%)	Error estándar de Estimación
Días a floración	$\hat{\beta}_0 = 118,10$ (p < 0,001) $\hat{\beta}_1 = 0,07$ (temp. acum.; p < 0,001) $\hat{\beta}_2 = 8,20$ (fotoper., p < 0,001) $\hat{\beta}_3 = 0,03$ (hs. frío \ edo, p < 0,001) $\hat{\beta}_4 = 0,01$ (prec. $\frac{SEP}{MAR}$ p < 0,01)	94,0	1,79
Días a brotación	$\hat{\beta}_0 = 121,32$ (p < 0,001) $\hat{\beta}_1 = 0,05$ (temp. Acum., p < 0,001) $\hat{\beta}_2 = 7,69$ (fotoper., p < 0,001) $\hat{\beta}_3 = 0,03$ (hs. frío \ edo, p < 0,001)	95,0	1,68
Enfoque multivariado *	Efecto temp. Acumuladas (Wilks' Lambda = 0,31, F = 80,50, p < 0,001) Efecto hs. luz (Wilks' Lambda = 0,77, F = 11,05, p < 0,001) Efecto precipitaciones sep/marzo (Wilks' Lambda = 0,82,, F = 7,99, p < 0,001) Efecto hs. frío (Wilks' Lambda = 0,83, F = 7,26, p < 0,05) Efecto clon (Wilks' Lambda = 0,71, F = 2,71, p < 0,005)		

* Enfoque multivariado de los efectos de los fenómenos climáticos sobre ambas fechas fenológicas.

La no presencia del factor clon en los modelos univariados puede deberse al mayor efecto de los factores ambientales, principalmente el de temperaturas acumuladas (correlación temperatura acumulada vs inicio de fase: $r^2 = 0,85$ para floración y $r^2 = 0,80$ para brotación). En consecuencia, el factor clon no resulta estadísticamente significativo para los modelos univariados de floración y brotación, y su inclusión no aumenta el valor predictivo de los mismos. Sin embargo, existen diferencias entre los clones en sus fechas medias de inicio de las fases estudiadas (Tabla 2, Garau *et al.*, 1996) y su efecto resultó significativo cuando se realizó un análisis multivariado de las variables fenológicas (Tabla 1).

TABLA 2
FECHAS PROMEDIO (EN DÍA JULIANO) DE INICIO DE FLORACIÓN Y BROtación PARA SEIS CLONES DE ÁLAMO EN OTAMENDI, DELTA DEL PARANÁ, ARGENTINA. (TOMADO DE GARAU *et al.*, 1996)

Mean initial date (in Julian days) of flowering and leafing for 6 poplar clones in Otamendi, Delta del Paraná, Argentina (From Garau et al., 1996)

Clon	Floración	Brotación
	Fecha	Fecha
Catfish 2	255 (2,7) a	261 (1,9) a
107/68	260 (2,7) b	262 (1,8) a
125/68	262 (2,7) bc	266 (2,9) b
151/68	263 (3,0) c	266 (2,0) b
48/69	264 (3,1) c	267 (2,9) b
208/68	277 (5,4) d	282 (4,2) c

Referencias: Números entre paréntesis indican desviación estándar; letras diferentes indican diferencias significativas ($p = 0,05$) en el test de Tukey.

Los valores promedio y errores estándares de los factores climáticos involucrados en la fecha media de inicio de las fases fenológicas, según el material genético considerado, se presentan en la Tabla 3.

DISCUSIÓN

Todos los factores climáticos analizados resultaron significativos en los modelos utilizados (Tabla 1). Con respecto a la temperatura, hay dos efectos opuestos de la misma sobre la apertura de yemas: la satisfacción de una cierta acumulación de frío y, por otro lado, un efecto también acumulativo de las altas temperaturas promoviendo el crecimiento y la apertura de las yemas. En este caso, y en concordancia con lo citado por otros autores (Kaszakurewicz y Fogg, 1967; Hunter y Lechowicz, 1992; Garau *et al.*, 1997) es el efecto de la suma de altas temperaturas el principal determinante del inicio de las fases de

floración y brotación hacia fines del invierno (Tabla 1, enfoque multivariado). La suma de temperaturas necesarias para iniciar la apertura de yemas varía entre 550 y 850 grado-día (Tabla 3) según el clon considerado. Este hecho destaca la acción determinante del factor genético en la expresión fenológica y la importancia que esta diferencia pudiera tener en la selección del material de plantación.

TABLA 3
VALORES PROMEDIO Y ERROR ESTÁNDAR PARA LOS DISTINTOS FACTORES CLIMÁTICOS QUE AFECTAN FECHAS PROMEDIO (EN DÍAS JULIANOS) DE INICIO DE FLORACIÓN Y BROTACIÓN EN DISTINTOS CLONES DE ÁLAMO

Average values and standard error for different climatic factors affecting mean initial date of flowering and leafing (in Julian days) in different poplar clones

Factores Fenológicos y Climáticos	Clon Catfish 2	Clon 107/68	Clon 125/68	Clon 151/68	Clon 48/69	Clon 208/68
Fecha de Floración	255,0 (0,68)	259,6 (0,69)	262,1 (0,73)	263,0 (1,38)	264,1 (0,70)	276,6 (1,5)
Temperatura acumulada	557,1 (11,6)	598,7 (15,2)	641,6 (17,6)	677,3 (12,4)	644,1 (18,8)	790,8 (32,8)
Horas de frío acumulada	470 (16,6)	488,8 (18,6)	493,5 (18,7)	488 (13,6)	500 (20,4)	559 (31,6)
Horas de luz	12,40	12,51	12,55	12,55	12,59	13,32
Fecha de Brotación	261,4 (0,49)	262,1 (0,43)	265,7 (0,73)	265,8 (0,92)	266,6 (0,66)	281,8 (1,18)
Temperatura Acumulada	634,5 (12,0)	631,8 (14,1)	674,8 (11,0)	677,9 (11,0)	663,4 (13,8)	852,5 (84,8)
Horas de frío acumulada	491,75 (16,6)	494,9 (18,7)	505,5 (18,7)	489 (12,7)	508,5 (20,9)	566 (35,6)
Horas de luz	12,51	12,55	13,04	13,09	13,06	13,44

(Errores estándar entre paréntesis).

La menor importancia relativa de los requerimientos de frío puede representar, de alguna manera, el origen genético de los individuos, ya que se trata de clones de *Populus deltoides* sp *angulata* con un origen común en la zona del valle del río Missisipi (Estados Unidos de América) entre los 30° y 35° de latitud Norte. Para esta zona del delta argentino se han estimado alrededor de 500 horas de frío previa apertura de yemas (Tabla 3) y una cierta acumulación de frío mínima resulta necesaria, ya que este requerimiento limita

las zonas aptas para la plantación de álamos en la Argentina (Golfari, 1958). Los bajos requerimientos de frío hacen que *Populus deltoides* florezca y brote antes de la fecha de ocurrencia de las últimas heladas; en nuestro estudio los clones analizados inician su actividad entre principios y fines de septiembre, existiendo peligro de heladas hasta el mes de octubre. Esta particular respuesta estaría asociada a especies pioneras de zonas inundables que necesitan germinar y establecerse rápidamente en las condiciones óptimas creadas por las inundaciones primaverales (Burns y Honkala, 1990).

Sin embargo, tal como se observa en la Tabla 3 y de manera similar a lo que ocurre con la suma de altas temperaturas, habrá que tener en cuenta los requerimientos particulares de cada clon, ya que se presentan diferencias importantes entre ellos. Una brotación anticipada con respecto al riesgo de ocurrencia de últimas heladas puede resultar en serios daños en la etapa de vivero, afectando de manera diferencial a los clones dada su distinta época de inicio de actividad.

La temperatura y el fotoperíodo pueden tener interacciones complejas en sus efectos sobre la ruptura de la latencia. Ambos factores son importantes, aunque no exclusivos, en controlar la iniciación del crecimiento en *Populus deltoides* (Kaszurewicz y Fogg, 1967) y la iniciación floral en especies leñosas parece ser menos sensible al fotoperíodo que en especies herbáceas (Kozłowski *et al.*, 1991). Por otro lado, Pauley y Perry (1954) establecen que ni la luz ni su periodicidad parecen tener acción directa en la ruptura de la latencia en *Populus*.

En especies como *Populus deltoides*, con elevados requerimientos de precipitaciones (alrededor de 1.000 mm anuales), el efecto de las mismas sobre el inicio de floración y brotación aparece como significativo en los modelos fenológicos, si bien se observó un distinto efecto de las precipitaciones acumuladas sobre las dos fases estudiadas (Tabla 1). Una explicación a esto podría estar dada por diferentes requerimientos entre yemas vegetativas y florales (Kozłowski *et al.*, 1991).

Los resultados obtenidos permitirían confirmar entonces la importancia del efecto acumulado de la temperatura en la ruptura del reposo invernal del álamo, junto con un efecto menos marcado del fotoperíodo y las horas de frío. Conocer los principales factores que determinan el inicio de la actividad vegetativa de las plantas permitirá utilizar esa información para estudios de interacción planta-hervívoro (Wickman, 1988), en modelos de predicción de inicio de expansión de tallo (Thomson y Moncrief, 1982), en programas de mejoramiento o para evaluar las consecuencias del cambio climático sobre la sobrevivencia o crecimiento de los árboles (Cannell *et al.*, 1989; Murray *et al.*, 1989; Hanninen, 1995).

SUMMARY

The influence of climatic factors on the onset of flowering and leafing in poplar clones in Delta del Paraná, Argentina

We studied the effect of different climatic factors on the burst of flower and leaf buds of several poplar clones through a multivariate analysis technique.

Six *Populus deltoides* clones of wide cultivation in Argentina were studied and phenological observations were done for six years. Meteorological information were photoperiod, chilling hours (as number of hours with temperature equal or minor than 7 °C), precipitations and temperature considered as degree-day model. Four threshold temperatures and two start dates were considered. Statistical analysis was performed using univariate and multivariate analysis.

Temperature summation, with a threshold temperature of 4 °C, beginning on July 1st was the main factor for the beginning of the phenophases. Photoperiod, precipitations and chilling hours were less important.

The relative importance of the several climatic factors analyzed is discussed related to the geographic origin of *Populus deltoides*.

KEY WORDS: Bioclimate
Poplar
Populus deltoides
Flowering
Leafing

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARNOLD C., 1959. The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. Proc Amer. Soc. Hort. Sci 74:430-445
- BERRONDO G., GURINI L., 1990. Características ecológicas del Delta del río Paraná. Publicación de la Estación Experimental Agropecuaria Delta del Paraná, INTA. 9 pp.
- BOWERS J., DIMMITT M., 1994. Flowering phenology of six woody plants in the Northern Sonora Desert. Bulletin of the Torrey Botanical Club 121 (3): 215-229.
- BURNS R., HONKALA B., 1990. Silvics of North America. Vol 2. Harwoods. USDA Forest Service, Washington, D.C.
- CANNELL M., GRACE J., BOOTH A., 1989. Possible impacts of climatic warming on trees and forests in the United Kingdom: a review. Forestry 62, 4: 337-364.
- FAO, 1980. Los álamos y los sauces. Colección FAO: Montes núm. 10. FAO, Roma. 349 pp.
- GARAU A., MURPHY G., 1993. Propuesta de observación fenológica en álamos. Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. Tomo Ciencia y Técnica Aplicada.
- GARAU A., BERRONDO G., ABBIATTI N., DELFINO S., CORTIZO S. 1996., Discriminant characteristics in poplar clones. Resumen en Proceedings of the 20th Session of the International Poplar Comm. Budapest. Hungría. pp. 908.
- GARAU A., FILIPPINI DE DELFINO S., BERRONDO G., 1997. Determinación de las fechas de floración y brotación de álamos (*Populus deltoides* Bart) para el Delta del Paraná. Actas 7.^a Reunión Argentina y 1.^a Latinoamericana de Agrometeorología. Buenos Aires, pp. 77-78.
- GOLFARI L., 1958. Condiciones ecológicas del cultivo de las Salicáceas en la Argentina. Rev. Inv. Agr. XII 2: 174-224.
- HANNINEN H., 1995. Effects of climatic change on trees from cool and temperate regions: an ecophysiological approach to modelling of bud burst phenology. Can. J. Bot. 73: 183-199.
- HUNTER A., LECHOWICZ M., 1992. Predicting the timing of budburst in temperate trees. Journal of Applied Ecology 29: 597-604.
- KASZKUREWICZ A., FOGG P., 1967. Growing season of cottonwood and sycamore as related to geographic and environmental factors. Ecology, 48, 5: 785-793.
- KOZLOWSKY T., KRAMER P., PALLARDY S., 1991. The physiological ecology of woody plants. Academic Press.
- LINDSEY A., NEWMAN J., 1956. Use of official weather data in spring time temperature analysis of an Indiana phenological record. Ecology 37(4): 812-823.
- MORRISON D. F., 1976. Multivariate Statistical Methods Second Edition, MC Graw Hill, Book Company, pp 170-224.
- MURRAY M., CANNELL M., SMITH R., 1989. Date of budburst of fifteen tree species in Britain following climatic warming. Journal of Applied Ecology 26: 693-700.
- PASCALE A., 1975. Agricultural Biometeorology and Bioclimatology. In: Progress in Biometeorology. The effects of weather and climate on plants. Vol. 1. Period 1973-1974. Swets and Zeitlinger. B. V. Amsterdam. pp. 183-212.
- PAULEY S., PERRY T., 1954. Ecotypic variation of the photoperiodic response in *Populus*. Jour. of the Arnold Arboretum 35: 167-188.
- SMITH-RAMÍREZ C., ARMESTO J., 1994. Flowering and fruiting patterns in the temperate rainforest of Chile. Chile-ecologies and climatic constrains. Journal of Ecology 82: 353-365.