

CAMBIOS EN LA FLORACIÓN DE ESPECIES ARBÓREAS ORNAMENTALES DE LA CIUDAD DE BUENOS AIRES (ARGENTINA)

Gonzalo M. Fernández Zapiola¹; Mercedes Peretti¹; María E. Fernández Long¹; Danilo A. Carnelos¹

¹Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía, Departamento de Recursos Naturales y Ambiente, Cátedra de Climatología y Fenología Agrícola, Av. San Martín 4453, Buenos Aires, Argentina.
E-mail: gfernandez@agro.uba.ar

Recibido: 16/05/2020
Aceptado: 29/09/2020

RESUMEN

Los seres vivos, entre ellos las plantas, experimentan una secuencia de cambios en su proceso de desarrollo que se producen con una periodicidad regida por sus características genéticas y reguladas por los factores externos del ambiente físico en el que viven. En consecuencia, plantas y animales se pueden utilizar como indicadores biológicos integrales de las condiciones ambientales cambiantes. Las fases que ocurren en primavera son particularmente sensibles a la temperatura y se ha relacionado el adelantamiento de la brotación y floración con el aumento de la temperatura media global. En el caso particular de las ciudades, la temperatura es mayor que la del área rural circundante. El objetivo de este trabajo fue evaluar si los cambios que se produjeron en la temperatura de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires en los últimos 60 años afectaron las fechas de floración de un grupo de especies arbóreas ornamentales de importancia paisajística. Se encontró que la fecha media de comienzo de floración se adelantó en todas las especies estudiadas cuando se compararon con los valores históricos de inicio de la fase. Sin embargo, las especies presentaron una respuesta diversa en función de su época de floración. Para un grupo de especies de floración tardía, muy frecuentes en el arbolado público urbano, se logró establecer correspondencia entre la fecha de floración y la temperatura de un período específico del año, el mes precedente a la misma.

Palabras clave: Cambio climático, arbolado urbano, fenología de especies arbóreas ornamentales.

CHANGES IN THE BLOSSOMING OF ORNAMENTAL TREE SPECIES IN THE CITY OF BUENOS AIRES (ARGENTINA)

SUMMARY

Living organisms, including plants, undergo a sequence of changes in their development process that occur with a periodicity modulated by their genetic characteristics and the external factors of the physical environment in which they live. Consequently, plants and animals can be used as comprehensive biological indicators of changing environmental conditions. Phases occurring during spring are particularly sensitive to temperature, and early budding and flowering have been related to the increase in global mean temperature. In the particular case of cities, the temperature is higher than that of the surrounding area. This difference, currently known as the urban heat island effect (UHI), may be a dominant factor in advancement of spring phases. The objective of this study was to evaluate how the changes in the temperature of the City of Buenos Aires in the last 60 years affected the flowering dates of a group of ornamental tree species important for landscape design. Mean first flowering dates advanced for all observed species when compared to phase onset historical values. However, species presented diverse behavior depending on their flowering time. For a group of late species, very frequent in urban landscapes, it was possible to establish a correspondence between the first flowering date and the temperature of a specific period of time, the month preceding it.

Key words: Climate change, urban woodland phenology of ornamental tree species.

INTRODUCCIÓN

A lo largo de su ciclo de vida los seres vivos, entre ellos las plantas, experimentan una secuencia de cambios en su proceso de desarrollo (p. ej. brotación, floración, caída de hojas) que se producen con una periodicidad regida por sus características genéticas y reguladas por los factores externos del ambiente físico en el que viven. El ritmo estacional de ocurrencia de estos fenómenos cambia de un año a otro de acuerdo a las variaciones meteorológicas o climáticas acompañantes. Si ese ritmo es alterado temporalmente, la causa es siempre una variación en alguno o varios de los elementos meteorológicos condicionantes. El propósito de la Fenología es el estudio y explicación sistemática y organizada de estos cambios periódicos en el crecimiento y desarrollo de los seres vivos por causas ambientales (Pascale y Damario, 2004). La base fundamental para lograr este objetivo es el registro anual de las fechas de ocurrencia de esos cambios periódicos, es decir, la observación fenológica. A través de su larga historia, esta ha sido una magnífica herramienta para conocer las respuestas de las plantas al clima.

Las plantas, a través de su distribución geográfica y su comportamiento fenológico temporal y espacial, ponen de manifiesto las características climáticas diferenciales del lugar en el que crecen porque, además de poseer una gran sensibilidad, son integradoras de los diversos elementos del complejo climático (Pascale y Damario, 2004). En décadas recientes, la verificación del cambio en la fenología de cientos de especies en diversas regiones del mundo ha servido para respaldar el concepto de cambio climático (Menzel, 2002). Asimismo, la información fenológica resulta un insumo clave para modelos que intentan predecir la respuesta futura de la vegetación en un clima cambiante (Chuine y Beaubien, 2001; Fernández-González *et al.*, 2007). Además, esta información resulta fundamental para actividades productivas como la agricul-

tura y floricultura donde el conocimiento de las fases fenológicas permite un uso más eficiente de fitosanitarios (Fernández-González *et al.*, 2007). De igual modo, resulta de gran utilidad para otras actividades como el paisajismo donde es central el conocimiento de la influencia del clima sobre la brotación, floración, cambio de color del follaje y fructificación. Otro ejemplo es el de la gestión del arbolado urbano, donde el pronóstico de diseminación de polen mediante la observación fenológica es más económico que la utilización de las estaciones de muestreo, contribuyendo a que los médicos especialistas puedan diagnosticar la especie alergógena y prescribir las medidas adecuadas (Menzel, 2002; Pascale y Damario, 2004). Además, el conocimiento de la fenología permite la delimitación de las estaciones del año considerando sucesos fenológicos característicos que se ajustan a las condiciones meteorológicas cambiantes, en lugar de fechas astronómicas que por ser fijas no se corresponden con las variaciones propias de fenómenos biológicos (Pascale y Damario, 2004).

Al analizar la acción de los elementos meteorológicos sobre las plantas es posible esbozar un orden de importancia donde se destaca la temperatura del aire (Garau *et al.*, 2000; Pascale y Damario, 2004), a la cual son especialmente sensibles las fases primaverales (Menzel y Fabian, 1999). Se ha relacionado el aumento de la temperatura media global con el adelantamiento de la brotación y floración, y con el retraso en la caída de hojas en especies caducifolias; y por consiguiente, con el alargamiento de la temporada de crecimiento (Chmielewski y Rötzer, 2001; Peñuelas *et al.*, 2002; Gordo y Sanz, 2005; Ho *et al.*, 2006; Fernández-González *et al.*, 2007; Luo *et al.*, 2007; Doi y Takahashi, 2008; García-Mozo *et al.*, 2010; Jeong *et al.*, 2011; Hernández Aroca, 2012). Sin embargo, la temperatura actúa de diversas maneras sobre las plantas y los árboles, se ha documentado el efecto vernalizante que rompe la inactividad del invierno, previo a las temperaturas

cálidas posteriores que inducen la brotación. La delimitación de las estaciones del año considerando los sucesos fenológicos característicos para establecer la iniciación de cada período (Pascale y Damario, 2004), se correlaciona muy bien con las temperaturas del aire, las temperaturas vernalizantes y las temperaturas cálidas posteriores (Murphy, 1999; Murphy *et al.*, 1999a; Murphy *et al.*, 1999b; Menzel, 2002; Fernández-González *et al.* 2007; Carnelos *et al.*, 2019). En el caso particular de los asentamientos urbanos se había estudiado desde el siglo XIX que la temperatura de las ciudades es mayor que la del área circundante (Oke, 1982). La diferencia entre estas es conocida actualmente como efecto de isla de calor urbano (ICU) y ha sido ampliamente estudiada (Barros y Camilloni, 1994; Camilloni y Barros, 1997; Camilloni y Barrucand, 2012; Jeong *et al.*, 2011; Oke, 1982). Si bien la urbanización incrementa la temperatura media anual, también tiene un efecto moderador sobre las temperaturas diarias, siendo la diferencia de temperatura urbana-rural mayor para las temperaturas mínimas que para las máximas (Karl *et al.*, 1988). En cuanto a su efecto sobre el desarrollo vegetal, se ha encontrado que la ICU puede ser un factor preponderante en el adelantamiento de las fenofases primaverales (Lu *et al.*, 2006; Luo *et al.*, 2007; Jeong *et al.*, 2011). Sin embargo, los efectos de la ICU pueden ser distintos en cada aglomeración urbana. En la ciudad de Buenos Aires la intensidad de la ICU es máxima en verano y mínima en invierno y en los años más cálidos la intensidad de la ICU es menor que en años fríos (Barros y Camilloni, 1994; Camilloni y Barros, 1997). Asimismo, se encontró una tendencia negativa de la ICU en horas nocturnas en el período 1960-2007 (Camilloni y Barrucand, 2012). En consecuencia, la ICU no es el único factor para explicar los cambios en las fases fenológicas de la ciudad de Buenos Aires (Carnelos *et al.*, 2019).

La fenología posee ventajas en el estudio y la comunicación de los efectos de los cam-

bios en el clima. Es quizás la forma más sencilla de seguir los cambios en la respuesta de las especies (Menzel y Estrella, 2001). Además, en comparación con los cambios relativamente "pequeños" en la temperatura del aire (0,85 °C) desde la época pre-industrial (Pachauri *et al.*, 2014), las consecuencias de los cambios fenológicos son más fáciles de comprender por el público (Menzel, 2002) a la vez que ponen el foco sobre los impactos futuros del cambio climático. Un ejemplo de esto es el adelanto diferencial en las fases de desarrollo de especies vegetales respecto de sus polinizadores que genera un desacople de la relación de polinización (Gordo y Sanz, 2005). Entre los años 1947 y 1960, aproximadamente, la Sección de Fenología del Servicio Meteorológico Nacional de la Argentina publicó en forma periódica información fenológica de un gran número de especies de la ciudad de Buenos Aires (Boletín Fenológico SMN, 1960). En la actualidad, no existe un seguimiento fenológico regular de especies que componen el arbolado de la ciudad que permita generar información para monitorear los impactos del cambio en el clima urbano. Asimismo, se desconoce cómo los cambios en las variables meteorológicas pudieron modificar el ciclo anual de estas especies. Por lo tanto, este trabajo tiene como objetivo evaluar de qué forma los cambios que se produjeron en la temperatura de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires en los últimos 60 años afectaron las fechas de floración de un grupo de especies forestales ornamentales de importancia paisajística y establecer las nuevas fechas medias de comienzo, plenitud y fin de la fase. Además, se estudia el efecto de las principales variables meteorológicas sobre la floración de estas especies.

MATERIALES Y MÉTODOS

La biblioteca de la Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas cuenta con ejemplares del Boletín Fenológico que produjo la Sección de Fenología de la División de Bioclimatología

Agrícola del Departamento de Meteorología Agrícola (Boletín Fenológico SMN, 1960), en los cuales hasta aproximadamente 1960 se publicaba en forma semestral las fechas de comienzo de brotación, floración y maduración de frutos de un extenso número de especies del Jardín Botánico de la ciudad de Buenos Aires "Carlos Thays" (Lat.: 34°34'57.5"S Long.: 58°25'2.5"O) y en el parque de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (FAUBA) (Lat.: 34°35'37"S Long.: 58°29'03"O) (Figura 1). Los sitios donde se realizaban las observaciones, se encuentran ubicados dentro de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, separados por una distancia de 6 km. A partir de la información de estos boletines fenológicos se eligieron seis especies forestales de diferentes características para abarcar un amplio espectro de requerimientos bioclimáticos. Estas habían sido observadas en aquellos años y,

además, se encuentran actualmente dentro del parque de la FAUBA. Así, se incluyeron especies autóctonas sin requerimiento de vernalización y especies exóticas con exigencias de vernalización y con diferentes valores de umbral térmico de floración; y especies semidecíduas y caducifolias (Cuadro 1).

Para cada especie se seleccionaron uno o dos ejemplares sobre los que se realizaron observaciones fenológicas desde el año 2014 hasta el 2018, siguiendo el método del Registro Fitofenológico Integral, que es aplicable a cualquier especie perenne y es específico para ornamentales y forestales (Ledesma, 1953). Los mismos ejemplares fueron visitados cada año, tres veces por semana de agosto a diciembre y se determinaron las fechas de los momentos representativos de la fase (comienzo, plenitud y fin) de floración. La información registrada sirvió para calcular las

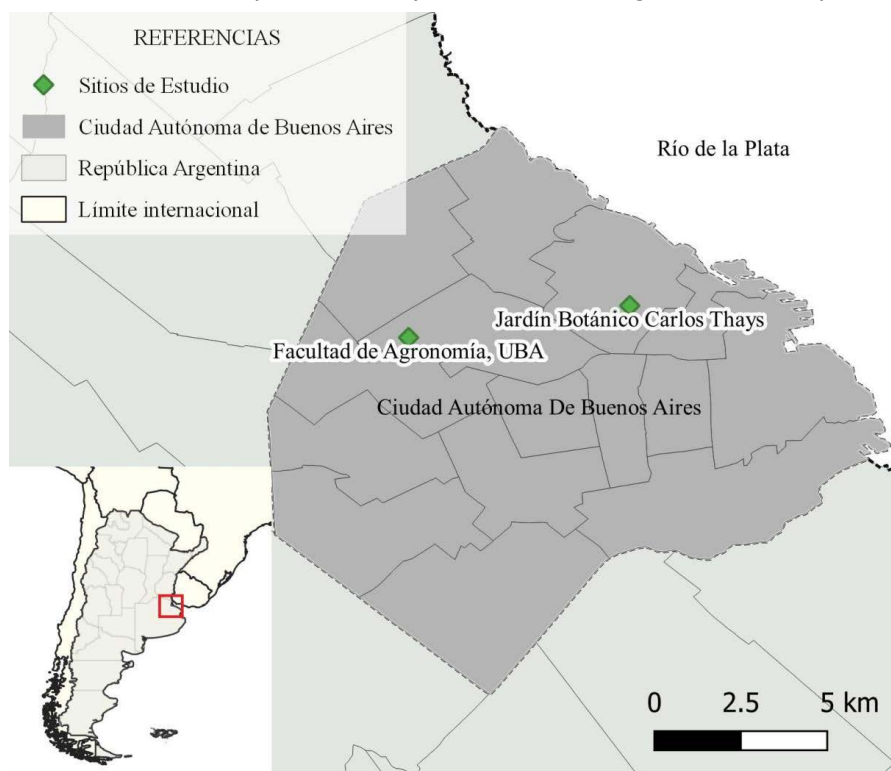


Figura 1. Ubicación de los sitios de estudio. Los rombos verdes muestran la ubicación del Jardín Botánico "Carlos Thays" y el parque de FAUBA en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

Cuadro 1. Especies incluidas en el análisis, algunas de las características generales favorables del ambiente climático y edáfico (Faure, 2015), el origen de la especie y los años de observación.

Nombre científico	Nombre Vulgar	Clima	Suelo	Origen	Años de observación
<i>Acer palmatum</i> Thunb.	Arce de Japón	Frío, tolera templados	Bien drenado, profundo	Japón, Corea y China	2016-2018
<i>Albizia julibrissin</i> Durazz.	Acacia de Constantinopla	Templado a cálido, no tolera el frío	Bien drenado, suelto	Sureste de Asia	2014-2018
<i>Platanus x acerifolia</i> (Aiton) Willd.	Plátano	Templado a frío, no tolera altas temperaturas	Profundo, tolera sequías, no anegamiento	Estados Unidos, sudeste de Europa y Asia	2016-2018
<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	Acacia blanca	Frío	Tolera sequía, no anegamiento	América del Norte	2014, 2016-2018
<i>Tilia moltkei</i> Spaeth ex C.K.Schneid.	Tilo	Frío a templado	Profundo, no tolera anegamiento	Europa	2014-2017
<i>Jacaranda mimosifolia</i> D.Don	Jacaranda	Templado a templado cálido	Bien drenado, profundo	Sud América	2014-2018

fechas medias de dichos momentos representativos para el período 2014-2018. Para algunas de las especies observadas hubo uno o dos años para los que no se pudo determinar la fecha de floración por cuestiones asociadas a la metodología de registro y otros imprevistos (Cuadro 1).

Los datos de temperaturas mínimas y máximas diarias para el período 2014-2018 se obtuvieron de la estación "Observatorio Central de Buenos Aires (OCBA)" en Villa Ortúzar, ubicada en el mismo predio de la FAUBA, y fue suministrada por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Además, a partir de datos horarios de temperatura se determinaron las horas de frío (HF): con temperatura menor a 7°C para cada día de ese mismo período. Luego, se calcularon las temperaturas medias mensuales de cada año, las temperaturas mensuales medias para el período 2014-2018 y las anomalías mensuales para cada año. Asimismo, se calcularon las HF acumuladas para cada año, los valores medios 2014-2018 y su anomalía anual. Finalmente, se analizó la existencia de tendencias (Q) en las temperaturas medias mensuales y mínimas medias mensuales correspondientes a la época de floración para el período 1950-2018

con la prueba no paramétrica Mann-Kendall (Kendall, 1948; Mann, 1945). La tendencia se estimó con el método no paramétrico de Sen (Sen, 1968) y se calculó como la mediana de todas las estimaciones de tendencia posibles obtenidas, estimador estadísticamente robusto e imparcial.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las fechas medias de comienzo de floración se adelantaron en todas las especies observadas cuando se compararon con los valores históricos de inicio de fase y ese efecto se incrementó con el avance de la primavera (Figura 2). La temperatura del aire es el factor de mayor influencia sobre la fenología de las especies vegetales. En los valores de las tendencias en las temperaturas medias mensuales y mínimas medias mensuales analizadas y para todos los meses de la época de floración se observan valores positivos y con altos niveles de confianza (Cuadro 2). En contraste con lo observado para el adelanto en la floración, las tendencias de temperatura no fueron progresivamente mayores con el transcurso de la primavera. Esto podría explicarse en que los mecanismos que regulan la inducción a floración en estas especies y otras son más

complejos que la simple superación de un umbral térmico y que involucren la percepción de estímulos de otras variables meteorológicas como fotoperíodo y vernalización (Pascale y Damario, 2004). Otro factor a considerar son las diferencias en la respuesta al complejo meteorológico que podrían presentar las distintas especies estudiadas. Por último, para cada una de las especies, los patrones hallados podrían atribuirse, en parte, a diferencias entre los ejemplares observados en los dos períodos. Por ejemplo, diferencias en la edad de los ejemplares observados en uno y otro período podrían acarrear distintas

respuestas a un estímulo similar (Agustí y Fonfría, 2010). Las fechas medias para cada especie, y período (2014-2018 y 1947-1956) registradas fueron: *A. palmatum*: 243 y 247; *P. x acerifolia*: 246 y 249; *R. pseudoacacia*: 269 y 273; *J. mimosifolia*: 311 y 317; *T. moltkei*: 312 y 322; y *A. julibrissin*: 317 y 344.

En las especies *A. palmatum*, *P. x acerifolia*, *R. pseudoacacia*, *J. mimosifolia* y *T. moltkei*, cuyo adelanto fue de entre 3 y 10 días, se aprecia una superposición de los desvíos estándar entre los períodos actual e histórico; sólo en *A. julibrissin*, la especie más tardía, el adelanto con respecto al valor histórico, de 27

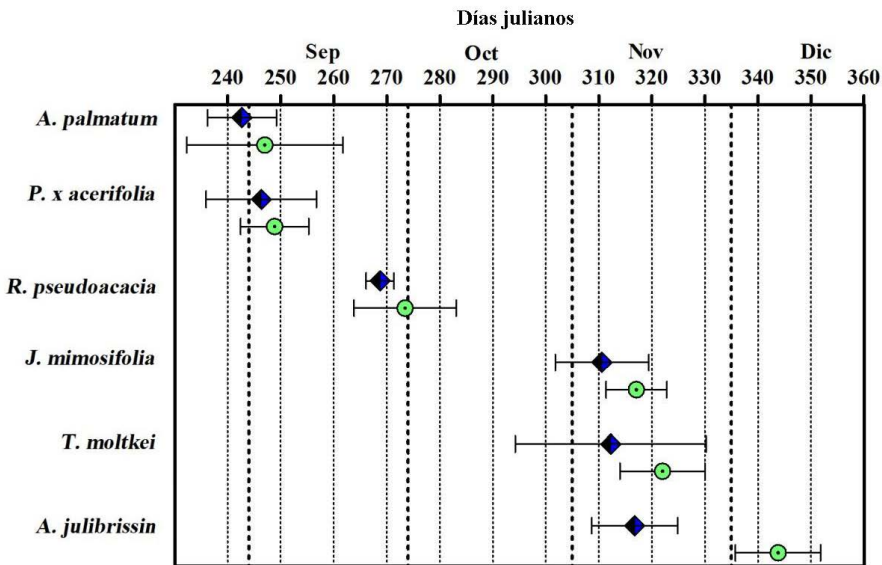


Figura 2. Fecha media de floración de las especies forestales de septiembre a diciembre para las observaciones actuales (rombos, 2014-2018) y las históricas (círculos, 1947-1956). Los símbolos centrales indican la fecha media de comienzo de floración y las barras indican el desvío estándar.

Cuadro 2. Tendencias de las temperaturas medias mensuales y mínimas medias mensuales correspondientes a la época de floración de las especies observadas para el período 1950-2018. Se incluye el nivel de significancia asociado: ** $\alpha=0,01$; *** $\alpha=0,001$

	Temperaturas medias		Temperaturas mínimas	
	Significancia	Q (°C/década)	Significancia	Q (°C/década)
Agosto	**	0,22	**	0,27
Septiembre	***	0,21	***	0,24
Octubre	***	0,25	***	0,31
Noviembre	**	0,21	**	0,22
Diciembre	***	0,26	***	0,36

días, superó ampliamente a los desvíos, que para ambos períodos rondaron los ocho días (Figura 2). Estas diferencias en la fecha de comienzo de fase no fueron ratificadas por un análisis estadístico debido a la escasez de datos para varias de las especies examinadas. Sin embargo, los valores, tanto de adelanto en la fecha de floración como de tendencia de las temperaturas, son muy semejantes a los encontrados por estudios de largo plazo y a nivel regional en distintos países de Europa donde se estudió el efecto del aumento de la temperatura del aire sobre la fecha de ocurrencia de las fases fenológicas de cientos de especies de plantas (Chmielewski y Rötzer, 2001; Peñuelas *et al.*, 2002; Ahas y Aasa, 2006).

La fecha de ocurrencia de los momentos representativos (comienzo, plenitud y fin) de

fase en el período 2014-2018 presentó un comportamiento diferencial según la especie. Sin embargo, es posible hacer una clasificación en tres grupos de especies que experimentaron un comportamiento parecido y que además coinciden con su época de floración; un grupo de especies más precoces: *A. palmatum* y *P. x acerifolia*; otro grupo de especies más tardías: *J. mimosifolia*, *T. moltkei* y *A. julibrissin*; y otro grupo de especies intermedias: *R. pseudoacacia* (Figura 3).

Las especies precoces, cuya floración se ubicó en mayor medida en el mes de septiembre, florecieron progresivamente más tarde desde 2016 a 2018, los únicos tres años de observación para estas especies (Figura 3). Analizando las variables meteorológicas pre-

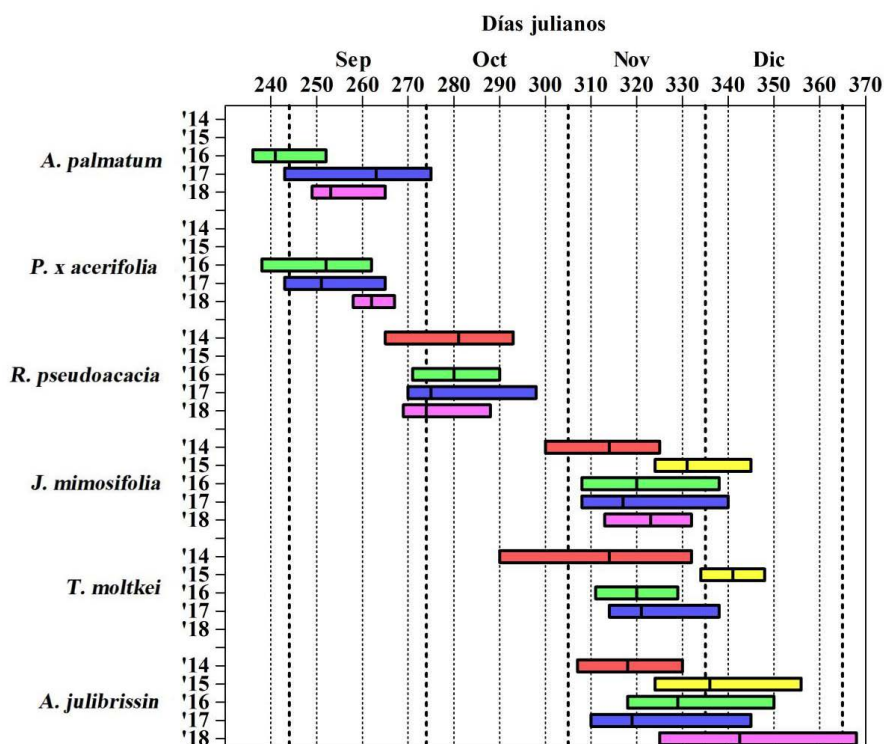


Figura 3. Fase de floración para cada especie y cada año del período 2014-2018. Las barras simbolizan la fase completa de floración desde el comienzo representado por el extremo izquierdo, pasando por la plenitud, representada por la marca central hasta el fin representado por el extremo derecho. Cada color se corresponde con un año de observación: rojo-2014, amarillo-2015, verde-2016, azul-2017 y fucsia-2018.

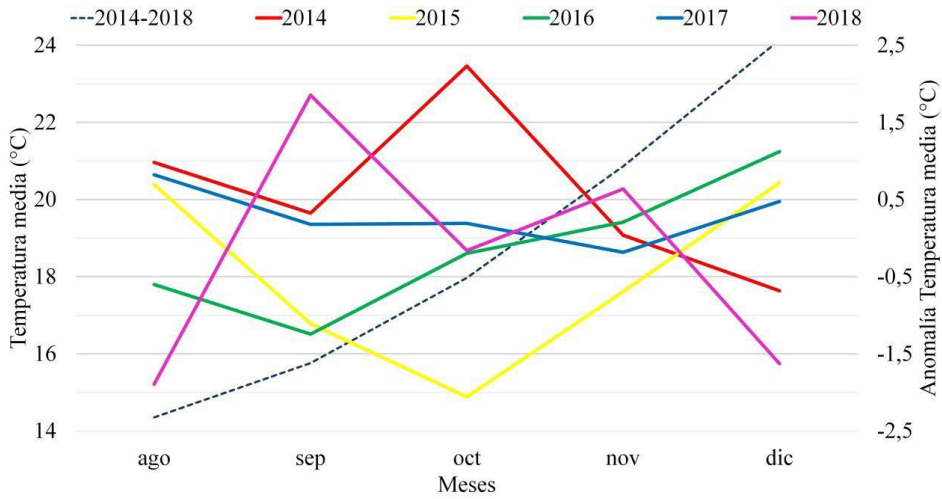


Figura 4. Variación de la temperatura media de agosto a diciembre, valores medios (2014-2018) y las anomalías (2014, 2015, 2016, 2017 y 2018). La línea punteada indica el valor de temperatura media mensual y las líneas llenas las anomalías para cada año.

rante ese período, no se encontró un efecto simple de la temperatura sobre la fecha de comienzo de fase (Figura 4). Al respecto notamos que 2017, el año con temperatura en agosto más elevada del período, no es el año de comienzo de fase más prematuro. Sin embargo, al considerar las HF acumuladas hasta

agosto, observamos que en 2017 se da la anomalía más negativa, mientras que en 2016 y 2018 las HF acumuladas registran valores similares y muy elevados (Figura 5). Es posible que en 2017 estas especies no hayan alcanzado a satisfacer su requerimiento de frío invernal, experimentando un retraso en el

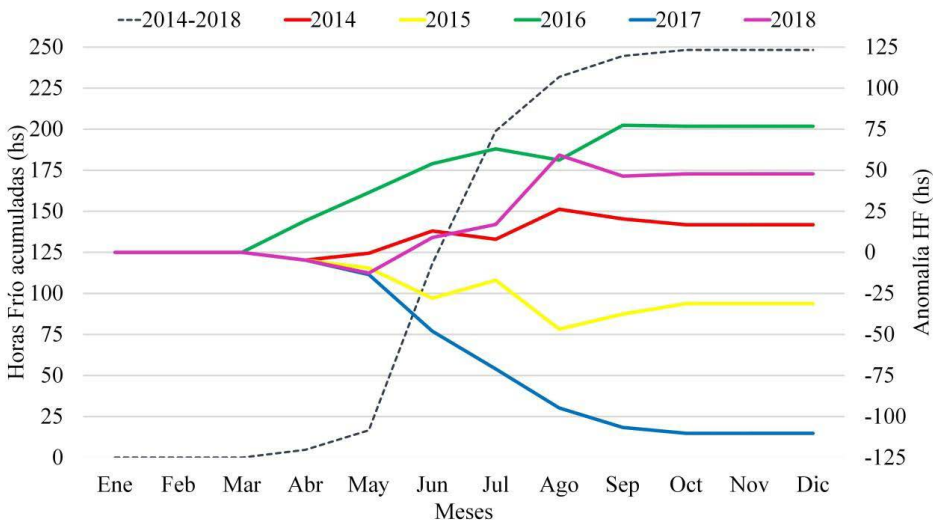


Figura 5. Horas de frío acumuladas de enero a diciembre, valores medios (2014-2018) y las anomalías (2014, 2015, 2016, 2017 y 2018). La línea punteada indica la cantidad de horas de frío acumuladas mensuales medias y las líneas llenas las anomalías para cada año.

comienzo y un alargamiento de la fase de floración. Esta hipótesis es consistente con el origen de estas especies que provienen de latitudes medias del hemisferio norte, por lo que evolucionaron bajo condiciones de clima continental con inviernos más fríos que los que experimentan actualmente en el sitio de este estudio. El mismo comportamiento fue documentado por Ledesma (1951), que al estudiar la fenología del duraznero en años con características meteorológicas diferenciales, encontró que debido a la falta de frío invernal la floración se produjo con atraso y en forma prolongada.

Las especies tardías, cuya floración ocurrió mayoritariamente entre noviembre y diciembre, experimentaron su comienzo de fase más prematuro en 2014 y el más tardío en 2015. En los otros tres años de observación el comienzo se dio en fechas cercanas a la media (Figuras 2 y 1). Observando las temperaturas del mes de octubre, mes precedente al comienzo de floración de estas especies, se puede ver que en el 2014 ocurrió la anomalía más positiva y en 2015, la más negativa, mientras que los otros tres años, fue muy cercana a la media (Figura 4). Esto sugiere una relación inversa entre la temperatura y la fecha de comienzo de floración. Por lo tanto, a mayor temperatura del mes precedente, más temprano ocurrirá el comienzo de la floración; mientras que a menor temperatura más tardío será el comienzo de la fase. Una respuesta similar fue encontrada por otros trabajos donde las temperaturas de un período de 40 días previo a la floración presentaron la mejor correlación con la fecha de comienzo de fase (Ho *et al.*, 2006; Jeong *et al.*, 2011). Por otro lado, la acumulación de frío invernal no parece tener un efecto considerable en estas especies. Según Pascale y Damario (2004), especies subtropicales como *J. mimosifolia* florecen tardíamente por su elevado umbral térmico. En cuanto a *T. moltkei*, si bien no se cuenta con información documentada de los requerimientos bioclimáticos de esta especie, una posible explicación es que

esta tenga un requerimiento moderado de frío durante su período de descanso, habiendo logrado satisfacerlo en todos los años del período; quedando enmascarado su efecto sobre la fecha de comienzo de floración como fuera observado en el período 1940-1955 para algunas variedades de ciruelos de la colección del monte frutal de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de Buenos Aires (Pascale y Damario, 2004). Cabe mencionar que *A. julibrissin* cuya floración es levemente más tardía que la de las otras dos especies presentó un comportamiento ligeramente distinto ya que los comienzos de fase de los años 2014 y 2015 fueron menos extremos y los de 2017 y 2018 se alejaron más de la fecha media (Figura 3). A partir de las variables meteorológicas tomadas en cuenta en este análisis no es posible explicar las diferencias particulares de esta especie respecto de las otras dos.

Robinia pseudoacacia no mostró una amplia variabilidad interanual, sin embargo, se puede ver que en 2014 comenzó su floración apreciablemente más temprano que en los otros años y que en los años 2016-2018 el inicio de fase se dio en fechas muy cercanas entre sí (Figura 3). Lamentablemente no se cuenta con datos observados durante el año 2015 para esta especie porque sufrió un fuerte ataque de hormigas podadoras que no permitieron realizar una correcta observación de la fase. Al examinar las temperaturas y HF precedentes al comienzo de floración de *R. pseudoacacia*, no se observó un patrón como el de las especies precoces o tardías. Por ejemplo, en 2018 se produjo la temperatura más alta del período para el mes de septiembre (Figura 4), mes precedente a la floración de esta especie, y la acumulación de HF registró un valor elevado (Figura 5). Esas condiciones son propicias para un comienzo de fase muy prematuro; sin embargo, el comienzo de fase en ese año fue levemente más tardío que el de 2014. Esto parece indicar que la floración de esta especie en particular no presenta una relación tan estrecha con la temperatura del mes precedente. En efecto, Ho *et al.*

(2006) encontraron una pobre correlación de la fecha de floración de *R. pseudoacacia* con la temperatura de los meses previos y con la acumulación de tiempo térmico en comparación con otras especies analizadas.

CONCLUSIONES

A pesar de la escasez de datos fenológicos con los que se contaba, se constató un adelanto de la floración de las especies estudiadas, respecto del período histórico, muy similar a lo esperado en base a estudios conducidos en diversas regiones de Europa con extensas series de datos. Estos resultados, si bien no cuentan con validación estadística, indican que los cambios experimentados en el clima de la Ciudad de Buenos Aires desde 1950 tuvieron un efecto apreciable en las fechas de floración de las plantas.

Para la mayoría de las especies analizadas, fue posible explicar de forma verosímil la variación interanual de las fechas de floración, sólo a partir de dos variables. Para el grupo de especies de floración tardía, muy frecuentes en el arbolado público urbano, se logró establecer correspondencia entre la fecha de floración y la temperatura de un período específico del año, el mes precedente a la misma. Para las especies de floración precoz se advirtió, además, una respuesta a la vernalización. Cabe señalar que las relacio-

nes encontradas no fueron corroboradas estadísticamente y que no se pudo explicar el comportamiento de la fecha de floración de *R. pseudoacacia* sobre la base de las variables analizadas. Por eso, resulta interesante ahondar en el análisis de otras variables que permitan precisar el conocimiento sobre los controles del ambiente sobre la fecha de floración.

Finalmente, se obtuvieron nuevas fechas medias de floración y su variabilidad asociada para especies presentes, algunas de ellas muy frecuentes, en el arbolado público de la Ciudad de Buenos Aires. Sin embargo, se desconoce si los resultados encontrados son extrapolables a otros ejemplares de la ciudad. En consecuencia, sería un complemento interesante para este trabajo, examinar la respuesta de la fecha de floración en ejemplares del arbolado en alineación. No obstante, estos resultados constituyen una referencia que puede aportar al diseño, planificación y gestión del arbolado urbano.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Paz Constantini y Camila López por su colaboración en la realización de las observaciones. Este artículo se realizó en el marco de los proyectos UBACyT 201820020170200194BA y UBACyT-20620170100012BA.

BIBLIOGRAFÍA

- Agustí, M. y Fonfría, M. A. (2010). *Fruticultura*. Madrid, España: Mundi-Prensa Libros.
- Ahas, R. y Aasa, A. (2006). The effects of climate change on the phenology of selected Estonian plant, bird and fish populations. *International Journal of Biometeorology*, 51(1), 17-26.
- Barros, V. y Camilloni, I. (1994). Urban-biased trends in Buenos Aires' mean temperature. *Clim Res*, 4, 33-45.
- Camilloni, I. y Barros, V. (1997). On the urban heat island effect dependence on temperature trends. *Climatic Change*, 37(4), 665-681.
- Camilloni, I. y Barrucand, M. (2012). Temporal variability of the Buenos Aires, Argentina, urban heat island. *Theoretical and Applied Climatology*, 107(1-2), 47-58.
- Carnelos, D., Zapiola, G. M. F., Peretti, M. y Long, M. E. F. (2019). Modificaciones del comportamiento fenológico de algunas especies forestales como consecuencia de cambios en el clima de la Ciudad de Buenos Aires (Argentina). *Agronomía y Ambiente*, 39(2).

- Chmielewski, F. M. y Rötzer, T. (2001). Response of tree phenology to climate change across Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*, 108(2), 101-112.
- Chuine, I. y Beaubien, E. G. (2001). Phenology is a major determinant of tree species range. *Ecology Letters*, 4(5), 500-510.
- Doi, H., y Takahashi, M. (2008). Latitudinal patterns in the phenological responses of leaf colouring and leaf fall to climate change in Japan. *Global Ecology and Biogeography*, 17(4), 556-561.
- Faure, E. N. (2015). Árboles Ornamentales. Características, valor paisajístico y usos. Buenos Aires, Argentina: Orientación Gráfica Editora.
- Fernández-González, M., Rodríguez-Rajo, F. J., Aira, M. J. y Jato, V. (2007). Fenología de la variedad treixadura cultivada en la denominación de origen Ribeiro (Ourense-España) durante el año 2008. *Ediciones Universidad de Salamanca*, 17, 23-38.
- Garau, A., Filippini De Delfino, S. y Berrondo, G. (2000). Influencia de factores climáticos en las fechas de inicio de floración y brotación de clones de álamo en el delta del Paraná, Argentina. *Invest. Agr.:Sist. Recur. For.*, 9(1), 169-176.
- García-Mozo, H., Mestre, A. y Galán, C. (2010). Phenological trends in southern Spain: A response to climate change. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(4), 575-580.
- Gordo, O. y Sanz, J. J. (2005). Phenology and climate change: a long-term study in a Mediterranean locality. *Oecologia*, 146(3), 484-495.
- Hernandez Aroca, M. D. (2012). *Respuestas al Cambio Climático en la Fenología de plantas y animales desde 1945 hasta 2009 en la Región de Murcia* (Tesis de Maestría). Universidad Católica San Antonio de Murcia (España).
- Ho, C. H., Lee, E. J., Lee, I. y Jeong, S. J. (2006). Earlier spring in Seoul, Korea. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 26(14), 2117-2127.
- Jeong, J. H., Ho, C. H., Linderholm, H. W., Jeong, S. J., Chen, D. y Choi, Y. S. (2011). Impact of urban warming on earlier spring flowering in Korea. *International Journal of Climatology*, 31(10), 1488-1497.
- Karl, T. R., Diaz, H. F. y Kukla, G. (1988). Urbanization: Its detection and effect in the United States climate record. *Journal of climate*, 1(11), 1099-1123.
- Kendall, M. G. (1948). *Rank correlation methods*. Oxford, England: Griffin.
- Ledesma, R. N. (1951). La floración del duraznero y su relación con las temperaturas de invierno y primavera. *Meteoros*, 1(1), 73-90.
- Ledesma, R. N. (1953). Registro fitofenológico integral. *Meteoros*, 3(8), 96.
- Lu, P., Yu, Q., Liu, J. y Lee, X. (2006). Advance of tree-flowering dates in response to urban climate change. *Agricultural and Forest Meteorology*, 138(1-4), 120-131.
- Luo, Z., Sun, O. J., Ge, Q., Xu, W., y Zheng, J. (2007). Phenological responses of plants to climate change in an urban environment. *Ecological Research*, 22(3), 507-514.
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13(3), 245-259. doi: 10.2307/1907187
- Menzel, A. (2002). Phenology: Its importance to the global change community: An editorial comment. *Climatic Change*, 54(4), 379-385. doi: 10.1023/A:1016125215496
- Menzel, A. y Estrella, N. (2001). Plant phenological changes. En G.R. Walther (Ed.), "Fingerprints" of climate change (pp. 123-137). Boston, Estados Unidos: Springer
- Menzel, A. y Fabian, P. (1999). Growing season extended in Europe. *Nature*, 397(6721), 659-659.
- Murphy, G. M. (1999). Variación de las disponibilidades agroclimáticas de enfriamiento para la planificación de los espacios verdes. XI Congresso Brasileiro de Agrometeorología II Reuniao Latino Americana de Agrometeorología. Florianópolis (Brasil).
- Murphy, G. M., Herrera, J. A. y Hurtado, R. H. (1999). Variación temporal y espacial de la disponibilidad de enfriamiento invernal en la ciudad. *Revista Facultad de Agronomía*, 19(3), 219-227.
- Murphy, G. M., Sierra, E. M. y Pérez, S. P. (1999). Variación de la temperatura máxima diaria primaveral en un espacio verde de la ciudad de Buenos Aires y su relación con la brotación de las plantas. *Revista Facultad de Agronomía*, 19(3), 285-290.

Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455), 1-24.

Pascale, A. J., y Damario, E. A. (2004). *Bioclimatología agrícola y agroclimatología*. Buenos Aires, Argentina: Facultad de Agronomía.

Pachauri, R. K. , Allen, M. R. , Barros, V. R. , Broome, J. , Cramer, W. , Christ, R. , Church, J. A. , Clarke, L. , Dahe, Q. , Dasgupta, P. , Dubash, N. K. , Edenhofer, O. , Elgizouli, I. , Field, C. B. , Forster, P. , Friedlingstein, P. , Fuglestvedt, J. , Gomez-Echeverri, L. , Hallegatte, S. , Hegerl, G. , Howden, M. , Jiang, K. , JimenezCisneroz, B. , Kattsov, V. , Lee, H. , Mach, K. J. , Marotzke, J. , Mastrandrea, M. D. , Meyer, L. , Minx, J. , Mulugetta, Y. , O'Brien, K. , Oppenheimer, M. , Pereira, J. J. , Pichs-Madruga, R. , Plattner, G. K. , Pörtner, H. O. , Power, S. B. , Preston, B. , Ravindranath, N. H. , Reisinger, A. , Riahi, K. , Rusticucci, M. , Scholes, R. , Seyboth, K. , Sokona, Y. , Stavins, R. , Stocker, T. F. , Tschakert, P. , van Vuuren, D. y van Ypserle, J. P. (2014). *Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. R. Pachauri y L. Meyer (editors). Geneva, Switzerland, IPCC, 151 p., ISBN: 978-92-9169-143-2. (p. 151). Ipcc.

Peñuelas, J., Filella, I., y Comas, P. (2002). Changed plant and animal life cycles from 1952 to 2000 in the Mediterranean region. *Global Change Biology*, 8(6), 531-544.

Sen, P. K. (1968). Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63(324), 1379-1389. doi: 10.1080/01621459.1968.10480934