



MODIFICACIONES DEL COMPORTAMIENTO FENOLÓGICO DE ALGUNAS ESPECIES FORESTALES COMO CONSECUENCIA DE CAMBIOS EN EL CLIMA DE LA CIUDAD DE BUENOS AIRES (ARGENTINA)

Danilo Alejandro Carnelos; Gonzalo Martín Fernández Zapiola;
Mercedes Peretti y María Elena Fernández Long

Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía, Departamento de Recursos Naturales y Ambiente,
Catedra de Climatología y Fenología Agrícola, Av. San Martín 4453, Buenos Aires, Argentina.
Email: carnelos@agro.uba.ar

Recibido: 17/08/19

Aceptado: 24/10/19

RESUMEN

Los fenómenos biológicos presentan en la naturaleza un ritmo estacional de ocurrencia variable que depende de las condiciones meteorológicas o climáticas. La observación fenológica regular de especies vegetales permite detectar esas variaciones. Se evaluó si los cambios en el clima de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires en los últimos 60 años afectaron la fecha de comienzo de brotación de un grupo de especies forestales ornamentales. Se determinó la nueva secuencia de brotación y las fechas medias de comienzo, plenitud y fin de la fase. A partir de la información de los boletines fenológicos de la Sección de Fenología de la División de Bioclimatología Agrícola del Departamento de Meteorología Agrícola del Servicio Meteorológico Nacional se seleccionaron 12 especies forestales presentes en el predio de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires, de diferentes características con el fin de abarcar un amplio espectro de exigencias bioclimáticas. Se realizaron observaciones fenológicas desde el año 2014 hasta el 2017, las que se compararon con las realizadas entre 1947 y 1956 publicadas en los boletines mencionados. En la mayoría de las plantas se adelantó la fecha de brotación al comparar con los registros históricos, aunque se mantuvieron dentro del rango de variación del período antiguo. En el 2015, en general, las plantas manifestaron un atraso en el comienzo de brotación; mientras que en el 2016 algunas especies adelantaron su fecha de brotación y muchas de ellas, además, redujeron la duración de la fase; y en el 2017, la mayoría de las plantas brotaron alrededor de las fechas medias, aunque muchas requirieron mayor número de días para culminar la fase.

Palabras clave: fenología, brotación, cambio climático.

PHENOLOGICAL BEHAVIOR MODIFICATIONS OF SOME FOREST SPECIES AS A RESULT OF WEATHER CHANGES IN BUENOS AIRES CITY (ARGENTINA)

SUMMARY

Biological phases in nature present a seasonal rhythm of variable occurrence that depends on weather or climate conditions. Phenological observation of plant species allows to detect these variations. We evaluated whether weather changes in Buenos Aires City in the last 60 years affected the start date of sprouting of the ornamental forest species group. The new sprouting sequence and the average dates of beginning, fullness and end of the phase were determined. The information of the phenological bulletins of Phenology Section of Agricultural Bioclimatology Division of Meteorology Agricultural Department of National Weather Service was used to select 12 forest species, present on the School of Agronomy park, and having different characteristics covering a wide spectrum of bioclimatic requirements. Phenological observations were made from 2014 to 2017 and were compared with those made between 1947 y 1956 published in the mentioned bulletins. In most of the plants, the sprouting date was earlier when compared to historical records, although they remained within their range of variation. In 2015, in general, they showed a delay in the beginning of sprouting; while in 2016 some species advanced their sprouting date, and many of them also reduced the duration of the phase; and in 2017, most of the plants sprouted around the average dates, although many of them required more days to complete the phase.

Key Words: phenology, sprouting, climate change.

INTRODUCCIÓN

“Todos los fenómenos biológicos observables en la naturaleza presentan un ritmo estacional de ocurrencia variable, en el espacio y en el tiempo, 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” (Pascale y Damario, 2004). La fenología estudia estos cambios periódicos en la apariencia y constitución de los seres vivos ocurridos por causas ambientales que asiste al método de trabajo de la bioclimatología a través del registro de las manifestaciones visibles de la actividad funcional de las plantas. Debido a su bajo costo, la fenología ha servido como una medida climatológica complementaria en las ciencias vinculadas al ambiente y a partir de mapas ha sido posible ilustrar fenómenos relacionados con la temperatura, como el efecto de isla de calor urbano (Menzel, 2002). Los registros fenológicos constituyen un método efectivo para conocer la relación entre la variabilidad climática y el comportamiento de las plantas, así como los posibles efectos que en ellas puedan provocar las modificaciones actuales y futuras del clima (Spano *et al.*, 1999).

La observación fenológica de especies vegetales realizada durante varios años consecutivos permite detectar diferencias en las características climáticas de mejor manera que los instrumentos meteorológicos y con mayor sensibilidad (Pascale y Damario, 2004). Por este motivo, resulta una herramienta imprescindible en la gestión y planificación de los espacios verdes. El registro del comportamiento fenológico proporciona una valiosa fuente documental de los procesos biológicos en los seres vivos. Las manifestaciones visibles de la actividad funcional, tales como aparición, transformación y desaparición de los diversos órganos en los vegetales, expresan las reacciones orgánicas frente al estímulo de las variaciones del ambiente meteo-

rológico (Ledesma, 1953; Prause y Angeloni, 2000). Las observaciones fenológicas prestan utilidad a muchas ramas de la ciencia y de las actividades humanas. Por un lado, el paisajismo y la planificación de parques y jardines requiere del conocimiento de la época de brotación, floración, fructificación de las especies arbóreas, arbustivas y florales, así como la coloración y forma en distintos momentos del ciclo anual (Pascale y Damario, 2004). Por otro lado, la observación fenológica ha facilitado el pronóstico de desprendimiento de polen, que es más económico que la utilización de las estaciones de muestreo para que los médicos especialistas puedan diagnosticar la especie alérgica y prescribir las medidas adecuadas (Menzel, 2002; Pascale y Damario, 2004).

La temperatura es la variable meteorológica de mayor influencia sobre las distintas fases fenológicas y la relación entre esta y los cambios fenológicos ha sido motivo de estudio de diversos autores (Garau y Murphy, 1991; Murphy, 1999; Spano *et al.*, 1999; Murphy *et al.*, 1999b; Garau *et al.*, 2000; Peñuelas *et al.*, 2002; Galán *et al.*, 2005; Estrella y Menzel, 2006; García-Mozo *et al.*, 2010). Así, en el Llano de Brujas, Murcia, cuando tanto las temperaturas medias anuales como las mensuales aumentan, la floración, en general, se adelanta y la caída de hoja se retrasa; mientras que en Raspay, Murcia, cuando las temperaturas medias mensuales de enero a octubre aumentan, la floración y la maduración se adelantan y la caída de hoja se retrasa (Hernandez Aroca, 2012). En el parque de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (FAUBA) la máxima tasa de brotación coincide con el pico de incremento de la temperatura máxima, alrededor del 9 de septiembre (Murphy *et al.*, 1999b). El aumento de la temperatura es el principal factor que afecta al avance de la foliación, floración, maduración y al retraso de la caída de hoja (Peñuelas *et al.*, 2002; García-Mozo *et al.*, 2010). El tiempo de brotación de los árboles está regulado principalmente

por la temperatura; mientras que el estímulo de vernalización rompe la inactividad del invierno, las temperaturas cálidas posteriores inducen la brotación. Por lo tanto, el inicio fenológico de la primavera se correlaciona muy bien con las temperaturas del aire, el requerimiento de enfriamiento del invierno y las temperaturas cálidas posteriores (Murphy, 1999; Murphy *et al.*, 1999a; Murphy *et al.*, 1999b; Menzel, 2002).

Los cambios que se producen en el clima de una región o de una ciudad alteran las fases fenológicas e influyen sobre el crecimiento, el desarrollo y la competencia. Mediante el uso de datos fenológicos es posible detectar dichas alteraciones, razón por la cual resultan muy útiles para monitorear los impactos de dichos cambios sobre las plantas y animales (Murphy, 1999; Kozlov y Berlina, 2002; Menzel, 2003; Spescha *et al.*, 2004; Gordo y Sanz, 2005). Probablemente, el ejemplo más claro de modificación del clima urbano es el fenómeno de mayores temperaturas urbanas en comparación con el ambiente rural, efecto que se conoce como isla de calor urbano (ICU) (Barros y Camilloni, 1994; Camilloni y Barros, 1997; Camilloni y Barrucand, 2012; Juárez *et al.*, 2017). El territorio ha experimentado un proceso de urbanización, el cual ha modificado las condiciones físicas y climatológicas como consecuencia de la densificación y construcción de las zonas urbanas, sobre todo a partir de la utilización de materiales que retienen el calor y que propician el fenómeno de la ICU. La intensidad de este fenómeno está relacionada con los patrones de uso del suelo y con los cambios en la cobertura que afectan la transferencia y el almacenamiento del flujo de calor, agua y aire (Figuerola y Mazzeo, 1998; Camilloni y Barrucand, 2012; Krehbiel *et al.*, 2017). También el calentamiento global provoca modificaciones en la distribución geográfica y en la fenología de muchas especies y produce cambios en la composición y dinámica de los ecosistemas, y en los bienes y servicios que éstos proporcionan (Castro-Acuña *et al.*,

2010; Hernandez Aroca, 2012). En la región de los Balcanes, se observó un inicio tardío de las fases de primavera (Menzel y Fabian, 1999), lo que también se reflejó en una llegada posterior de aves a la República Eslovaca (Sparks *et al.*, 1999). En la Ciudad de Buenos Aires, se verificó un adelanto en la fecha de arribo de la golondrina doméstica de aproximadamente 30 días respecto a la década del 70. Este adelanto de la fenofase se correlacionó significativamente con la tendencia creciente de las temperaturas medias del aire de las últimas décadas registradas en la ciudad de Buenos Aires (Spescha *et al.*, 2004). El cambio inducido por el clima en la fenología vegetal y animal produce efectos ecológicos complejos, a menudo no lineales, los que aún no se han evaluado en su totalidad (Menzel, 2002). Sin embargo no hay duda de que la alteración en el clima provocada tanto por un efecto local como por uno global conducirá, dentro de ciertos límites, a una alteración de la duración de la temporada de crecimiento (Chmielewski y Rötzer, 2001).

Como se mencionó anteriormente, las plantas y los animales se pueden utilizar como indicadores biológicos integrales de las condiciones ambientales cambiantes; y las fases de primavera de las plantas son particularmente sensibles a la temperatura. Muchas plantas silvestres y algunos grupos de animales resultan fácilmente identificables por la población, por lo que han recibido una enorme atención por parte del público. En comparación con los cambios relativamente "pequeños" en la temperatura del aire (0,6°C durante el siglo pasado), los cambios fenológicos, como el atraso de la floración de *Galanthus nivalis* por más de 16 días durante el período 1982-1998, son más fáciles de comprender por el público (Menzel, 2002). Por lo tanto, la fenología es quizás la forma más sencilla de seguir los cambios en el comportamiento de las especies (Menzel y Estrella, 2001) y de comunicar al público en general el impacto de la modificación del ambiente urbano. La Sección de Fenolo-

gía del Servicio Meteorológico Nacional de la Argentina se ocupó de ese seguimiento durante un largo período de tiempo, en el cual se publicó en forma periódica información fenológica de un gran número de especies de la ciudad de Buenos Aires. Estas observaciones se realizaron entre los años 1947 y 1960 aproximadamente. 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 si los cambios que se produjeron en el clima de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires en los últimos 60 años afectaron la fecha de comienzo de brotación de un grupo de especies forestales ornamentales de importancia paisajística. Además, se estableció la nueva secuencia de brotación y las fechas medias de comienzo, plenitud y fin de la fase.

MATERIALES Y MÉTODOS

La Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas de la FAUBA 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 se publicaba en forma semestral las fechas de comienzo de brotación, floración y maduración de frutos de un extenso número de especies que se observaban en el 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 FAUBA (Lat.: 34°35'37"S Long.: 58°29'03"O). Estos boletines se dejaron de publicar en el año 1960, aproximadamente. 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 seleccionaron 12 especies forestales de diferentes características para abarcar un amplio espectro de requerimientos bioclimáticos, que fueron observadas en esos años y que, además, se encuentran actualmente dentro del parque de FAUBA. Se incluyeron *Liquidambar styraciflua* y *Tabebuia impetiginosa* que no se encontraban en los boletines, pero son especies muy frecuentes dentro del arbolado urbano de la ciudad de Buenos Aires; especies autóctonas sin requerimiento de vernalización y con diferentes valores de umbral térmico de brotación; especies exóticas con y sin exigencias de vernalización; y especies perennes y caducifolias (Cuadro 1).

Sobre las especies seleccionadas se realizaron observaciones fenológicas desde el año 2014 hasta el 2017, siguiendo el método del Registro Fitofenológico Integral, el que es aplicable a cualquier especie perenne y es específico para ornamentales y forestales (Ledesma, 1953). Los ejemplares fueron visitados tres veces por semana de agosto a noviembre y se determinaron las fechas de comienzo, plenitud y fin de brotación. La información registrada sirvió para calcular las fechas medias de comienzo y fin de fase brotación para el período 2015-2017. Es importante destacar que, como la metodología requería de un entrenamiento en la observación y no se contaba con personal capacitado, se utilizó el primer año como experiencia de aprendizaje y por este motivo la información recabada durante el 2014 no fue incluida en el análisis.

Se utilizaron datos de temperatura horaria inferior a 7°C para el cálculo de horas de frío (HF), temperatura mínima y máxima diarias para el período 2015-2017. La información fue suministrada por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la estación "Observatorio Central de Buenos Aires (OCBA)" en Villa Ortúzar, ubicada en el predio de la FAUBA. Se calcularon las tem-

RESULTADOS

peraturas medias mensuales de cada año, la temperatura mensual media para el período 2015-2017 y la anomalía mensual y las HF acumuladas para cada año, los valores medios 2015-2017 y su anomalía mensual. Finalmente, se calculó la presencia de una tendencia en las temperaturas mínimas medias (1950-2018) con la prueba no paramétrica Mann-Kendall (Kendall, 1948; Mann, 1945) y la pendiente de la tendencia lineal se estimó con el método no paramétrico de Sen (Sen, 1968). La tendencia se calcula como la mediana de todas las estimaciones de tendencia posibles obtenidas, estimador estadísticamente robusto e imparcial.

En general, al comparar los datos relevados durante 2015-2017 con los datos históricos (1947-1956), se observaron cambios en la fenología de las especies estudiadas, en particular en la brotación y en la floración. Hubo cambios en el inicio de la brotación y un adelanto en las fechas medias de comienzo de la fase, manteniendo los valores extremos dentro del rango de variación observado en el período antiguo, con la excepción de *G. biloba*, especie que no mostró superposición de los períodos (Figura 1). Además, se observó una alteración en la secuencia de floración de las especies monitoreadas. Antiguamente, sólo dos de las especies estudiadas (*A.*

Cuadro 1. Especies incluidas en el análisis y algunas de sus características generales del ambiente climático y edáfico, y del origen biogeográfico (Faure, 2015).

Nombre	Nombre Vulgar	Clima	Suelo	Origen
<i>Acer palmatum</i>	Arce de Japón	Frío, tolera climas templados	Bien drenado, profundo	Japón, Corea y China
<i>Albizia julibrissin</i>	Acacia de Constantinopla	Templado a cálido, no tolera el frío	Bien drenado, suelto	Sureste de Asia
<i>Ceiba speciosa</i>	Palo borracho	Templado a cálido, no tolera el frío	Bien drenado, tolera sequías	Argentina (NEA), Paraguay y Brasil
<i>Ginkgo biloba</i>	Árbol de las Pagodas	Templado frío a frío, tolera calor intenso	Bien drenado, profundo	Sudoeste Asiático
<i>Liquidambar styraciflua</i>	Liquidámbur	Templado, tolera heladas suaves	Profundos, no tolera sequías	Estados Unidos, este de América Central
<i>Platanus x acerifolia</i>	Plátano	Templado a frío, no tolera altas temperaturas	Profundo, tolera sequías, no anegamiento	Estados Unidos, sudeste de Europa y Asia
<i>Populus deltoides</i>	Álamo carolino	Frío, tolera climas templados	No tolera anegamiento	Centro y sur de Estados Unidos, sur de Canadá, norte de México
<i>Robinia pseudoacacia</i>	Acacia blanca	Frío	Tolera sequía, no anegamiento	América del Norte
<i>Tabebuia impetiginosa</i>	Lapacho rosado	Cálido a templado cálido	Profundo, bien drenado no tolera anegamiento	Argentina, Bolivia, Brasil y Paraguay
<i>Tilia moltkei</i>	Tilo	Frío a templado	Profundo, no tolera anegamiento	Europa
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Jacaranda	Templado a templado cálido	Bien drenado, profundo	Sud América
<i>Quercus robur</i>	Roble europeo o Roble de Eslavonia	Templado, tolera temperaturas extremas	Profundo, tolera anegamiento	Cuenca del Mediterráneo

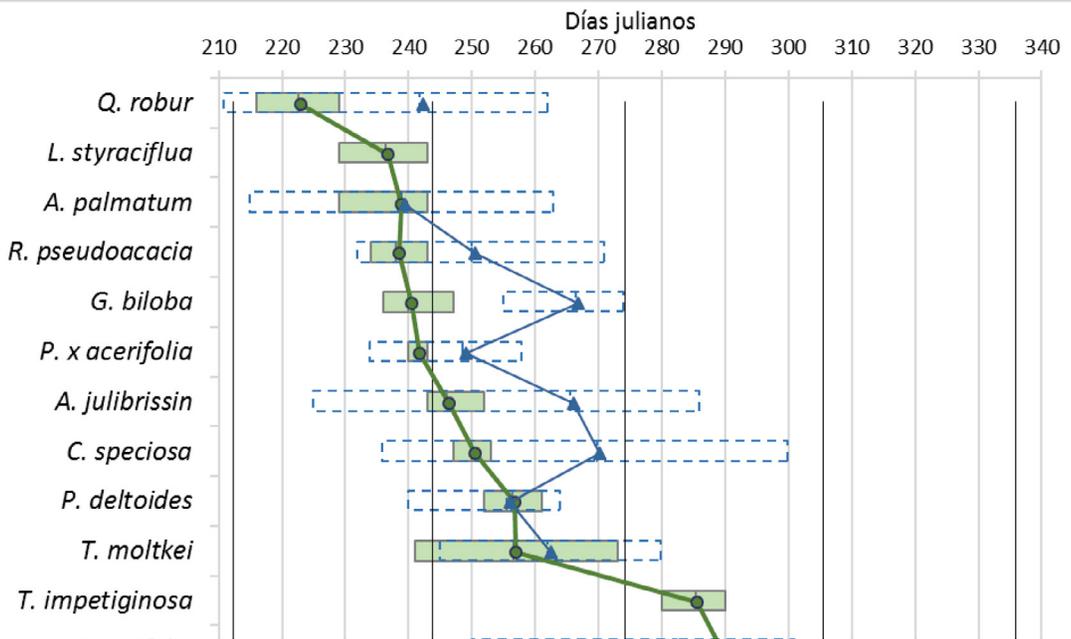


Figura 1. Secuencia fenológica de las especies forestales de agosto a noviembre. La fecha media de comienzo de brotación para cada especie en los distintos períodos está indicada por las líneas punteada (2015-2017) y llena (1947-1956). Las líneas negras verticales indican el comienzo de cada mes de agosto a noviembre. Las barras horizontales indican las fechas extremas de comienzo de fase para los períodos 2015-2017 y 1947-1956 (verde y azul punteada, respectivamente), para cada especie. *L. styraciflua* y *T. impetiginosa* no tienen registros fenológicos durante el período 1947-1956.

palmatum y *Q. robur*) presentaban su fecha media de brotación durante el mes de agosto mientras que, en la actualidad, *R. pseudoacacia*, *G. biloba* y *P. x acerifolia* comienzan su fase en ese mes. *A. julibrissin* y *C. speciosa* poseen su fecha media de brotación durante el mes de septiembre en ambos períodos, junto con *P. deltoides* y *T. moltkei*. *G. biloba*, junto con *A. julibrissin*, *C. speciosa* y *Q. robur* fueron las especies que más se alejaron de su valor histórico con diferencias de 27, 20, 20 y 19 días respectivamente (Figura 1). *R. pseudoacacia* brotó 12 días antes que, en el período anterior, mientras que *A. palmatum*, *P. deltoides*, *T. moltkei* y *P. x acerifolia* se adelantaron entre 1 y 7 días. Finalmente, *J. mimosifolia* fue la única especie que registró un retraso en su fecha media de brotación, siete días después que en el período anterior (Figura 1).

Las especies observadas durante la primavera del año 2015 manifestaron, en general, un atraso en el comienzo de la fase (Figura 2). Si bien la anomalía 2015 con respecto a la temperatura media mensual 2015-2017 fue positiva al comienzo de la época de brotación, ese valor se transformó rápidamente en negativo alcanzando el mínimo en octubre con 1,5 grados por debajo de su valor medio (Figura 3).

A partir de octubre, comenzó a disminuir la diferencia entre el valor observado y la media de temperatura, aunque no llegó a alcanzar un valor positivo dentro del período de brotación de las especies estudiadas. Las horas de frío (HF) acumuladas durante el 2015 estuvieron alrededor del valor medio 2015-2017, con una anomalía levemente inferior a cero (Figura 4).

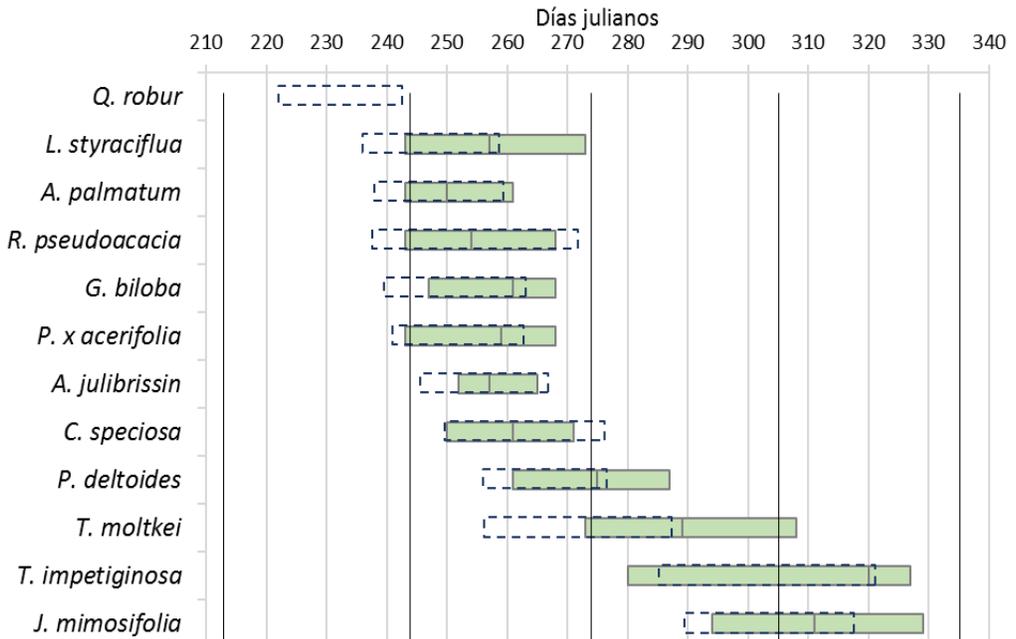


Figura 2. Secuencia fenológica de las especies forestales observadas entre agosto y noviembre de 2015. Las barras punteadas indican la fecha media de comienzo y fin de brotación para el periodo 2015-2017 para cada especie. Las líneas negras indican comienzo de cada mes de agosto a noviembre. Las barras llenas indican la fecha de comienzo, plenitud y fin de fase para cada especie durante el 2015. En el 2015 se perdió la información de comienzo de brotación de *Q. robur*.

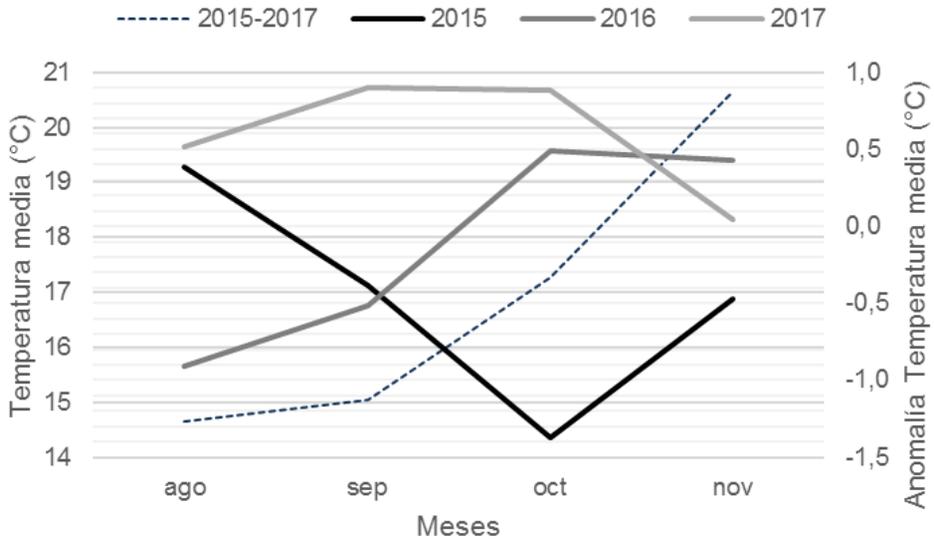


Figura 3. Variación de la temperatura media de agosto a noviembre, valores medios (2015-2017) y las anomalías (2015, 2016 y 2017). La línea punteada indica el valor de temperatura media mensual y las líneas llenas las anomalías para cada año.

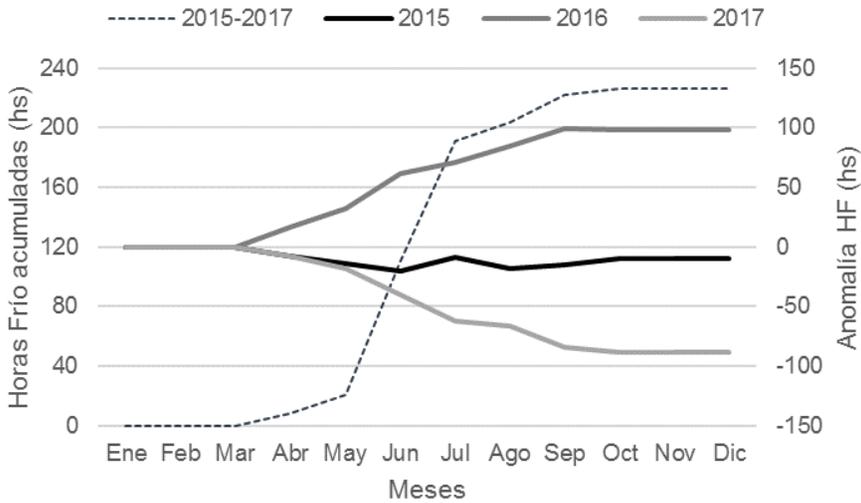


Figura 4. Horas de frío acumuladas de enero a diciembre, valores medios (2015-2017) y las anomalías (2015, 2016 y 2017). La línea punteada indica la cantidad de horas de frío acumuladas mensuales medias y las líneas llenas las anomalías para cada año.

Durante la primavera de 2016 se observó que algunas especies adelantaron su fecha de comienzo de brotación y muchas de ellas, además, redujeron la duración de la fase, ocasionando una finalización anticipada de la misma (Figura 5). La época de brotación inició con un escenario de temperaturas medias mensuales inferiores a su valor medio durante agosto y septiembre, mejorando paulatinamente a partir de octubre, donde se pasó de una anomalía negativa en los meses anteriores a un valor levemente superior a la media (anomalía positiva). Esta última condición se mantuvo hasta fines de noviembre (Figura 3). Con respecto a las HF acumuladas, resulta interesante destacar que la evolución del índice durante el período de descanso de las especies fue holgadamente superior al valor medio, alcanzando en agosto una anomalía de casi 100 horas (Figura 4).

La brotación en la primavera del 2017 se comportó normalmente, la mayoría de las especies comenzaron a brotar alrededor de las fechas medias, aunque mu-

chas de ellas requirieron mayor número de días para culminar la fase (Figura 6). En ese año, predominaron las anomalías positivas de la temperatura media en los cuatro meses en los que se produce la brotación alcanzando un valor máximo en septiembre y octubre de alrededor de 1°C (Figura 3). En julio, el mes previo al comienzo a la brotación, la anomalía era levemente inferior a -50 HF; mientras que el valor máximo de HF acumulado durante el año 2017 fue de casi 100 horas menos que el valor medio (Figura 4).

DISCUSIÓN

La ciudad de Buenos Aires sufrió cambios estructurales durante los últimos 60 años que modificaron el clima urbano y, por lo tanto, las condiciones ambientales en las cuales las especies crecen y se desarrollan. Desde la década del 60 la población del Área Metropolitana ha crecido desde aproximadamente 8 millones de habitantes hasta alcanzar los 15 millones en la actualidad. Este crecimiento produjo una reducción de los espacios verdes, un aumento de la superficie edifica-

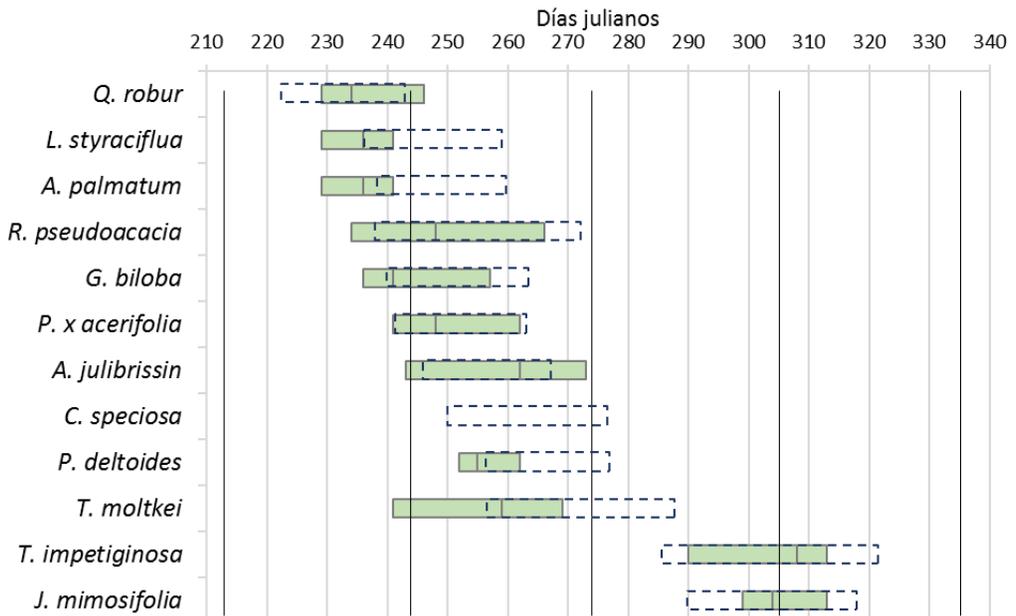


Figura 5. Secuencia fenológica de las especies forestales observadas entre agosto y noviembre de 2016. Las barras punteadas indican la fecha media de comienzo y fin de brotación para el período 2015-2017, mientras que las barras llenas indican la fecha de comienzo, plenitud y fin de fase para cada especie durante el 2016 para cada especie. Las líneas negras indican comienzo de cada mes de agosto a noviembre. En el 2016 se perdió la información de comienzo de brotación de *C. speciosa*.

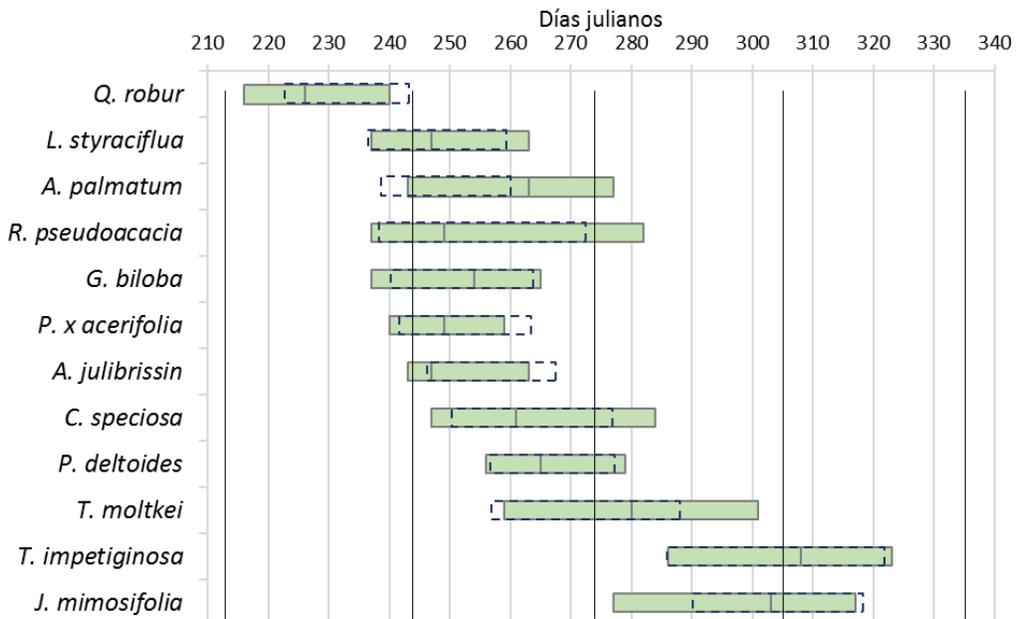


Figura 6. Secuencia fenológica de las especies forestales observadas entre agosto y noviembre de 2017. Las barras punteadas indican la fecha media de comienzo y fin de brotación para el período 2015-2017 para cada especie. Las barras llenas indican la fecha de comienzo, plenitud y fin de fase para cada especie durante el 2017. Las líneas negras indican el comienzo de cada mes de agosto a noviembre.

da y un mayor consumo de energía. Si bien a raíz de estos cambios se hubiese esperado, entre otras cosas, una tendencia positiva de ICU, se sabe que el efecto ha disminuido desde 1960, principalmente durante la primavera (Barros y Camilloni, 1994; Camilloni y Barrucand, 2012). En general, cuando se encuentran tendencias positivas en el incremento de la ICU en primavera, la duración de la estación de crecimiento aumenta principalmente porque ocurre un adelanto de la fecha de comienzo más que por un atraso en la fecha de fin (Yao *et al.*, 2017). Pero, si bien el ICU puede influir en la brotación, este no es el único factor, ni el más importante que puede afectar el inicio de la fase. Por este motivo se analizaron las tendencias temporales de la temperatura mínima media desde 1950 al 2018 y se encontró que, durante los meses de brotación agosto a noviembre los resultados fueron significativos al 95% y, en promedio, se incrementó la temperatura en 0,03 °C por año.

La disponibilidad de frío durante el período de descanso invernal de las plantas perennes criófilas, especialmente importante para las frutales, es también relevante para aquellas especies arbóreas o arbustivas que componen la vegetación de parques y calles de la ciudad de Buenos Aires cuyo inicio vegetativo y reproductivo en primavera está condicionado por las características térmicas del invierno precedente (Murphy *et al.*, 1999). En la ciudad de Buenos Aires, las HF anuales han disminuido a razón de 5,76 hs.año⁻¹ desde 1911 hasta 1998, las disponibilidades de frío se han concentrado en los meses invernales con predominancia en julio, dado que en otoño y primavera disminuye significativamente la cantidad de HF y su efectividad, por el efecto devernalizante de las temperaturas en aumento en estas estaciones (Murphy *et al.*, 1999). Además, la fecha de primera helada (FPH) se produce más tarde y la fecha de última helada (FUH) se produce antes en comparación con la década de 1940 y, por lo tanto, el período con heladas se acortó

(Fernández-Long *et al.*, 2013). Las tendencias a largo plazo del comienzo y fin de la estación de crecimiento fueron en su mayoría negativas y positivas, respectivamente, lo que indica un inicio más temprano y un final retrasado de la temporada de crecimiento, alargándose la estación de crecimiento (Fernández-Long *et al.*, 2013). Finalmente, varios índices agroclimáticos basados en la temperatura para el este de la Argentina muestran una tendencia generalizada de calentamiento regional, principalmente debido a aumentos en las temperaturas mínimas (Fernández-Long *et al.*, 2013).

Según lo descripto anteriormente, el clima de la ciudad de Buenos Aires cambió desde la década de 1960 a la actualidad y esa modificación del ambiente podría explicar las alteraciones en la fase de brotación de algunas de las especies consideradas en este análisis. Debido al escaso número de observaciones registradas hasta el momento (2015-2017), resulta arriesgado concluir que la alteración en las fechas de comienzo y fin de fase y en la secuencia de floración se deba exclusivamente a los cambios en el clima, ya que se podría estar observando sólo una parte de la variabilidad de la respuesta al comparar con registros de un gran número de observaciones. Sin embargo, es muy probable que con el correr de las primaveras y la incorporación de nuevas observaciones, se mantenga el efecto otorgando mayor robustez a los resultados.

Se sabe que existe una fuerte respuesta de las fases fenológicas a la temperatura del aire, principalmente las que ocurren durante la primavera (Menzel, 2003). Diversos autores registraron relaciones entre las temperaturas medias y el comienzo y la duración de la fase brotación en especies nativas y en exóticas (Ocampo & Orquin, 1989; Garauo & Murphy, 1991; Ontivero *et al.*, 1995; Murphy, Sierra, *et al.*, 1999; Spano *et al.*, 1999; Garauo *et al.*, 2000; T. H. Sparks *et al.*, 2000; Menzel, 2002; Fernández-González *et al.*, 2007; Gastaudo, 2017), en las cuales la tempera-

tura mostró una relación directa con el comienzo de la fase, e inversa con la duración. Teniendo en cuenta esto, el atraso en el inicio de brotación que manifestaron las plantas durante el primer año de observación se debió principalmente a una falta de temperatura propicia para el correcto inicio de fase. Probablemente las menores temperaturas registradas sólo incidieron sobre el comienzo de brotación de aquellas especies que lo hacían a partir de septiembre y octubre; mientras que las que lo hacían durante agosto, que poseen umbrales térmicos de brotación más bajos, fueron afectadas por la escasa cantidad de HF acumuladas que produjeron el atraso en el comienzo de brotación.

Durante una etapa de su ciclo, las especies arbóreas caducifolias, tienen un requerimiento de frío con temperaturas por debajo de su cero vital de crecimiento que, si no se satisface, repercute desfavorablemente en el comportamiento fásico posterior (Pascale & Damarío, 2004). La baja cantidad de HF acumuladas en 2015 sumado a las menores temperaturas, posiblemente hayan producido un alargue de la duración de fase, necesitando más cantidad de días para completar la brotación y generando un atraso en la finalización de fase en las especies *T. molkei*, *P. deltoides*, *L. styraciflua* y en menor medida en *G. biloba*. Esta respuesta es muy común en el duraznero donde las variedades con mayor exigencias de frío atrasan el comienzo de fase y alargan su duración cuando el estímulo invernal es bajo (Ledesma, 1951). En conclusión, las especies que brotaban durante agosto lo hicieron más tarde condicionadas por las menores temperaturas, mientras que el escaso estímulo de HF afectó principalmente la duración de la fase de algunas especies.

Durante la primavera del año 2016, las especies criófilas fueron las que brotaron en forma temprana, probablemente debido a que sus requerimientos de bajas temperaturas durante el período de descanso, fueron ampliamente satisfechos. Ese año la tem-

porada se presentó con temperaturas frescas, por lo tanto, hubiese sido esperable que se produjera un atraso en el comienzo de la fase, como lo observado en especies exóticas y autóctonas en la estación experimental en la Universidad de Sassari en Oristano, Cerdeña, Italia (Spano *et al.*, 1999). Sin embargo, las bajas temperaturas invernales hicieron que se acumularan tempranamente una gran cantidad de HF y permitieron que estas especies completaran rápidamente sus requerimientos para iniciar la fase. En general la disponibilidad de HF es poco común en Buenos Aires, donde es más probable que la disponibilidad de HF sea escasa por tratarse de una región con inviernos poco rigurosos o que no presentan una continuidad de las bajas temperaturas. Como se mencionó en párrafos anteriores, las HF presentan una tendencia negativa desde 1911 para el OCBA y el otoño y la primavera son las estaciones del año que presentan la mayor disminución porcentual anual (Murphy *et al.*, 1999). Por este motivo, si bien las condiciones de temperatura que exploraron las especies en la primavera del 2017 provocaron que, en general, el comienzo de la brotación ocurriese alrededor de las fechas medias, la falta de HF hizo que algunas plantas requirieran mayor cantidad de días para cumplir la fase, resultando en un atraso en la fecha de finalización. En síntesis, las condiciones antes mencionadas podrían explicar la ocurrencia de la brotación alrededor de la fecha media mientras que la mayor duración de la fase seguramente estuvo asociada a la ocurrencia de anomalías negativas en las HF acumuladas durante los meses previos a la brotación, aunque la disminución de las HF parece no haber alcanzado el umbral mínimo de las exigencias de vernalización de las especies criófilas consideradas en este trabajo.

Finalmente, se presentaron los resultados preliminares de uno de los pocos registros fenológicos realizados en forma continua en la actualidad sobre un conjunto de especies forestales en la ciudad de Buenos Aires,

teniendo en cuenta que el ambiente donde crecen y se desarrollan las especies observadas es una extensa área verde con edificaciones bajas en los alrededores en la cual se generan condiciones climáticas particulares y que probablemente no sea representativa de lo que ocurre con el arbolado público en el resto de la ciudad. Durante los tres años registrados las plantas atravesaron condiciones meteorológicas contrastantes que permitieron observar respuestas muy variadas al complejo meteorológico. El *Jacaranda mimosifolia* (jacarandá) resultó un caso especial porque presentó un comportamiento muy variable dentro de la ciudad. Aunque no fueron cuantificadas en este trabajo, se observaron diferencias entre los ejemplares plantados dentro de la FAUBA y los del arbolado público de la ciudad, las que po-

drían ser atribuidas a que se trata de ejemplares de distintas variedades, genotipos o a ejemplares de diferente edad, lo que deberá investigarse en futuros estudios. Además, queda pendiente para los próximos trabajos la incorporación y análisis de las observaciones realizadas durante la primavera del 2018, las que se realizarán durante los años siguientes y comparar el comportamiento físico con las especies que componen el arbolado público fuera de FAUBA.

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 UBA-CyT 201820020170200194BA y UBACyT 20620170100012BA.

BIBLIOGRAFÍA

- Barros, V. y Camilloni, I. (1994). Urban-biased trends in Buenos Aires' mean temperature. *Climate Research*, 4(1), 33–45. <https://doi.org/10.3354/cr004033>
- Boletín. (n.d.). Servicio Meteorológico Nacional, Departamento de Meteorología Agrícola, División de Bioclimatología Agrícola, Sección de Fenología.
- Camilloni, I. y Barros, V. (1997). On the urban heat island effect dependence on temperature trends. *Climatic Change*, 37(4), 665–681. <https://doi.org/10.1023/A:1005341523032>
- 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. <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0459-z>
- Castro-Acuña, S., Gutierrez, A. y Picatoste, R. J. (2010). Cambio climático en un paisaje vivo. 12(1), 102. Recuperado de [http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/84561/Planificación urbana y cambio climático.pdf?sequence=1&isAllowed=y%5Cnhttp://www.uaemex.mx/fapur/docs/quivera/Quivera1_2010.pdf#page=43%5Cnhttp://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3819842&info](http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/84561/Planificación%20urbana%20y%20cambio%20climático.pdf?sequence=1&isAllowed=y%5Cnhttp://www.uaemex.mx/fapur/docs/quivera/Quivera1_2010.pdf#page=43%5Cnhttp://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3819842&info)
- Chmielewski, F. M. y Rötzer, T. (2001). Response of tree phenology to climate change across Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*, 108, 101–112.
- Estrella, N. y Menzel, A. (2006). Responses of leaf colouring in four deciduous tree species to climate and weather in Germany. *Climate Research*, 32(3), 253–267. <https://doi.org/10.3354/cr032253>
- Faure, E. N. (2015). *Arboles Ornamentales. Características, valor paisajístico y usos*. Buenos Aires, Argentina: Orientacion Grafica 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.
- Fernández-Long, M. E., Müller, G. V., Beltrán-Przekurat, A. y Scarpati, O. E. (2013). Long-term and recent changes in temperature-based agroclimatic indices in Argentina. *International Journal of Climatology*, 33(7), 1673–1686. <https://doi.org/10.1002/joc.3541>

- Figuerola, P. I. y Mazzeo, N. A. (1998). Urban-rural temperature differences in Buenos Aires. *International Journal of Climatology*, 18(15), 1709–1723. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(199812\)18:15<1709::AID-JOC338>3.0.CO;2-I](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(199812)18:15<1709::AID-JOC338>3.0.CO;2-I)
- Galán, C., García-Mozo, H., Vázquez, L., Ruiz, L., De La Guardia, C. D. y Trigo, M. M. (2005). Heat requirement for the onset of the *Olea europaea* L. pollen season in several sites in Andalusia and the effect of the expected future climate change. *International Journal of Biometeorology*, 49(3), 184–188. <https://doi.org/10.1007/s00484-004-0223-5>
- Garau, A. M. y Murphy, G. M. (1991). Comportamiento fenológico de 6 clones de Álamo -*Populus deltoides*- Marsh en plantaciones aledañas al delta del Parana, Argentina. *Revista Facultad de Agronomía*, 12(3), 201–208.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2010.01.023>
- Gastardo, J. (2017). *Fenología de dos especies arbóreas nativas implantadas en el Parque Villarino de la Facultad de Ciencias Agrarias (Tesis de pregrado)*. UNR (Argentina).
- Gordo, O. y Sanz, J. J. (2005). Phenology and climate change: A long-term study in a Mediterranean locality. *Oecologia*, 146(3), 484–495. <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0240-z>
- 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)*. UCAM (España).
- Juárez, C., Goretti, C. M., Esparza, S., Carlos, L. y Sosa, H. (2017). La vegetación como sistema de control para las islas de calor urbano en ciudad Juárez, Chihuahua. *Revista Hábitat Sustentable*, 7(1), 14–23. <https://doi.org/10.22320/07190700.2017.07.01.02>
- Kendall, M. G. (1948). *Rank correlation methods*. Rank correlation methods. Oxford, England: Griffin.
- Kozlov, M. V. y Berlina, N. G. (2002). Decline in length of the summer season on the Kola Peninsula, Russia. *Climatic Change*, 54(4), 387–398. <https://doi.org/10.1023/A:1016175101383>
- Krehbiel, C., Zhang, X. y Henebry, G. M. (2017). Impacts of thermal time on land surface phenology in urban areas. *Remote Sensing*, 9(5), 1–21. <https://doi.org/10.3390/rs9050499>
- Ledesma, R. N. (1951). La floración del duraznero y su relación con las temperaturas de invierno y primavera. *Meteoros*, 1(1), 19.
- Ledesma, R. N. (1953). Registro Fitofenológico Integral. *Meteoros*, (1), 81–96.
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric Tests Against Trend. *Econometrica*, 13(3), 245–259. <https://doi.org/10.2307/1907187>
- Menzel, A. (2002). Phenology: Its importance to the global change community: An editorial comment. *Climatic Change*, 54(4), 379–385. <https://doi.org/10.1023/A:1016125215496>
- Menzel, A. (2003). Plant Phenological Anomalies In Germany And Their Relation To Air Temperature And Nao. *Climatic Change*, 57, 243–263.
- Menzel, A. y Estrella, N. (2001). Plant Phenological Changes. In G.-R. Walther, C. A. Burga, & P. J. Edwards (Eds.), *"Fingerprints" of Climate Change: Adapted Behaviour and Shifting Species Ranges* (pp. 123–137). Boston, MA: Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8692-4_8
- Menzel, A. y Fabian, P. (1999). Growing season extended in Europe. *Nature*, 397, 659. Retrieved from <https://doi.org/10.1038/17709>
- Murphy, G. M. (1999). Variación de las disponibilidades agroclimáticas de enfriamiento para la planificación de los espacios verdes. *XI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia II Reuniao Latino Americana de Agrometeorologia*. Florianopolis (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 de La 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.
- Ocampo, E. N. y Orquin, L. E. (1989). Aspectos fenológicos de 19 especies del bosque de caldén y sus posibles relaciones con la temperatura y las precipitaciones pluviales. *Revista de La Facultad de Agronomía*, 65(1), 5–12.
- Ontivero, M., Ravelo, A. C., Taborda, R. J. y Zanvetto, R. E. (1995). La brotación y la floración del kiwi en función de las temperaturas invierno-primaverales de la región central de Córdoba. *Revista de La Facultad de Agronomía*, 15(2–3), 183–188.
- Pascale, A. J. (Ed.) y Damario, E. A. (2004). *Bioclimatología Agrícola y Agroclimatología*. Buenos Aires, Argentina: EFA.
- Peñuelas, J., Filella, I. y Comas, P. (2002). Changed plant and animal life cycles from 1952 to 2000 in the Mediterranean region - j.1365-2486.2002.00489.x.pdf. *Global Change Biology*, 8, 531–544.
- Prause, J., y Angeloni, P. (2000). Fenología de especies forestales nativas : abscisión de hojas. *Flora*, 1–3.
- Sen, P. K. (1968). Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63(324), 1379–1389. <https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934>
- Spano, D., Cesaraccio, C., Duce, P. y Snyder, R. L. (1999). Phenological stages of natural species and their use as climate indicators. *International Journal of Biometeorology*, 42(3), 124–133. <https://doi.org/10.1007/s004840050095>
- Sparks, T. H., Jeffree, E. P. y Jeffree, C. E. (2000). An examination of the relationship between flowering times and temperature at the national scale using long-term phenological records from the UK. *International Journal of Biometeorology*, 44(2), 82–87. <https://doi.org/10.1007/s004840000049>
- Sparks, T., Heyen, H., Braslavska, O. y Lehtikoinen, E. (1999). Are European birds migrating earlier. *Bto News*, 223(8), 82–87.
- Spescha, L. B., Faggi, A. y Scarpati, O. E. (2004). La golondrina domestica como indicador fenológico del cambio global. *Diversidad y Ambiente*, 1, 6.
- Yao, R., Wang, L., Huang, X., Guo, X., Niu, Z. y Liu, H. (2017). Investigation of urbanization effects on land surface phenology in Northeast China during 2001–2015. *Remote Sensing*, 9(1), 1–16. <https://doi.org/10.3390/rs9010066>