

Comportamiento agronómico del olivo (*Olea europaea* L.) en relación a las temperaturas locales en el sudoeste bonaerense, Argentina

Goñi L.¹, García R.J.¹, Suñer L.²

¹ Departamento de Agronomía. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca. Argentina.

² Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires. Argentina.

Corresponding author: Goñi, L, leandro.goni@uns.edu.ar

(Recibido: 01-11-2023. Publicado: 26-12-2023.)

DOI: 10.59427/rcli/2023/v23.157-166

Resumen

Las bajas temperaturas representan una limitante para implantar olivos (*Olea europaea* L.) en muchas regiones. En el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (SOB), la producción olivícola surge como una alternativa a los planteos típicos de cereales de invierno y ganadería. La finalidad de este trabajo fue conocer en qué fecha ocurren las etapas fenológicas para la cultivar Arbequina y relacionarlo con el estudio de las temperaturas locales en tres sitios del SOB: Coronel Dorrego (Dorrego), Puan y Cabildo. Se calculó el riesgo de que se produzcan temperaturas que afecten el desarrollo del cultivo durante el invierno y la probabilidad de heladas en fechas críticas del cultivo. En los meses invernales, se registraron -7°C en Cabildo y Puan, no así en Dorrego, mientras que las temperaturas no alcanzaron -12°C en ningún sitio. También se registraron algunas heladas luego del período de brotación, principalmente en Cabildo. La fecha límite para cosechar el fruto con mínimo riesgo de temperaturas congelantes ($\leq 10\%$) resultó más temprana en Puan, siendo Dorrego la más tardía, es decir, con posibilidad de extender la recolección hasta el 27 de mayo. Los resultados indicarían que el SOB presenta condiciones climáticas aptas para el desarrollo de la olivicultura. Sin embargo, el riesgo estará sujeto principalmente a las heladas tempranas en primavera, momento en que ocurre la brotación de las yemas florales. Estos resultados deberían ser útiles para realizar un manejo más eficiente de las prácticas agrícolas en el olivar. Continuar con el estudio del comportamiento de Arbequina y otras cultivares en la zona será imprescindible para fomentar nuevas inversiones.

Palabras claves: Arbequina, brotación, floración, heladas.

Abstract

Low temperatures represent one of the main limitations for growing olive trees (*Olea europaea* L.) in many regions of Argentina. In the southwest of Buenos Aires province (SWB), olive oil production is presented as an alternative to the typical planting of winter cereals and livestock production. The aim of this work was: evaluate the timing of phenological stages in the SOB and their relationship to local temperatures. We calculated low temperature risk and frost probability at harvest time and after sprouting. During winter, there was frost risk temperature in Cabildo and Puan, but there was no risk for frost damage in Dorrego. Additionally, no temperature close to -12°C was found in any location. Furthermore, the likelihood of frost damage to flower buds during sprouting period can affect oil production, mainly in Cabildo. The optimal harvest period with little risk of freezing temperature was earlier in Puan but more extended period in Dorrego. The results would indicate that the SOB region has good weather conditions for olive growing. However, risk will be mainly subject to primarily spring frost, during flower bud outgrowth. These results should be useful to carry out a more efficient management of agricultural practices in olive orchards. Further investigation is still needed to assess additional new information and encourage new investments.

Keywords: Arbequina, sprouting, flowering, frost.

1. Introducción

Las plantaciones de olivo (*Olea europaea* L.) se concentran en regiones climáticas caracterizadas por veranos secos y calurosos e inviernos suaves (Lucena et al. 2017). Sin embargo, la adaptabilidad de las plantas a una determinada zona estará influenciada por diferentes factores climáticos, principalmente por las temperaturas invernales (Elloumi et al. 2020). En Argentina, el 91 % de las hectáreas implantadas con olivos se encuentran en las provincias de Catamarca, La Rioja, San Juan y Mendoza (Lavagna 2018). El sudoeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina (sudoeste bonaerense, en adelante SOB) (Figura 1) tiene suelos Molisoles incluidos en un paisaje de estepa o pastizal, que está comprendido en una franja zonal de clima templado, con suelos de origen eólico y con presencia de un horizonte petrocálcico por la presencia de carbonato de calcio (CaCO_3). La región exhibe sistemas ecológicos de clima semiárido (Cabildo) subhúmedo (Coronel Dorrego y Puan) y húmedo (Abraham et al. 2016). Presenta una estacionalidad térmica marcada y las precipitaciones se producen con mayor frecuencia en otoño y primavera (Zapperi et al. 2007). La olivicultura en esta región comenzó su desarrollo entre 1945 y 1950 y la mayoría de las plantaciones fueron realizadas en el partido de Coronel Dorrego donde actualmente se concentra el 94,5 % de la producción bonaerense (Elisei y Aguirre 2011). Esta región cuenta con una superficie en producción de 1491 ha (Lavagna 2018), convirtiéndose en una atractiva alternativa productiva para una zona tradicionalmente dedicada a la agricultura y ganadería. La cosecha comienza en el mes de abril (Elias y Barbero 2017) y puede extenderse hasta junio, siendo el principal destino la producción de aceite.

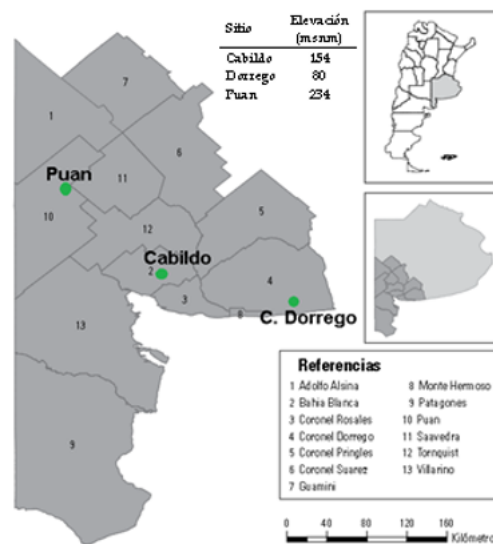


Figura 1: Partidos que conforman el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Schroeder y Formiga 2011). En verde, la locación de los sitios. Fuente: elaboración propia.

Si bien la sensibilidad al frío depende del cultivar y la aclimatación de la planta, (Vita Serman 2022), temperaturas inferiores a -7°C en invierno podrían generar daños que afecten la productividad de los árboles (Bongi y Palliotti 1994), mientras que a temperaturas por debajo de -12°C los daños pueden comprometer la supervivencia de la planta (Villalobos y López-Bernal 2017). Las bajas temperaturas en primavera pueden provocar la caída de yemas brotadas y la formación incompleta de la flor, reduciendo la polinización y el cuajado de frutos. Asimismo, durante la maduración del fruto algunos de los procesos se ven fuertemente acelerados con la ocurrencia de heladas tempranas, tales como la destrucción de los tejidos y reacciones de degradación (Pino et al. 2022). Debido a ello, es importante programar la época de cosecha para no afectar, en lo posible, la composición y características físico-químicas, principalmente el estado oxidativo, de los aceites (Mele et al. 2018). Por lo tanto, la información sobre ocurrencia de temperaturas congelantes es muy importante porque nos brinda una medida del riesgo de cultivar olivos en cada zona. Por otro lado, también hay que considerar las altas temperaturas, las cuales podrían ser perjudiciales durante el período de floración y producir un elevado grado de aborto ovárico, mala fecundación (Koubouris et al. 2009) y problemas de autocompatibilidad del polen (Navarro-Ainza y López-Carvajal 2013). Según diversos autores (Bradley et al. 1961; Gómez del Campo y Rapoport 2008; Dias et al. 2022), el crecimiento del tubo polínico en el ovario se inhibe cuando la temperatura durante la floración supera los 30°C .

Si bien las características climáticas en el SOB, principalmente en Coronel Dorrego (amplitud térmica y proximidad al mar), favorecen la obtención de productos de excelente calidad y cumplen con los requisitos internacionales del COI (Picardi et al. 2015), la expansión de la olivicultura a zonas más frías del país en comparación a las tradicionales y el aumento de la superficie implantada con olivos, especialmente de cv. Arbequina, ha planteado la necesidad de generar información regional acerca de cómo se comporta esta cultivar en relación al clima local.

Los objetivos de este estudio fueron: (i) Establecer una primera aproximación a la caracterización climática en tres sitios: Puan, Coronel Dorrego y Cabildo. (ii) Evaluar el momento de las etapas fenológicas para la cultivar Arbequina en cada uno de los sitios y relacionarlo con las temperaturas locales.

2. Metodología

Se seleccionaron tres sitios de la región SOB entre las latitudes 37° y 38° S. Los mismos corresponden a los partidos de Coronel Dorrego (Dorrego), Puan y Cabildo, provincia de Buenos Aires. Esta región se encuentra en el Distrito del Caldén dentro de la Provincia Fitogeográfica del Espinal (Pardiñas et al. 2004) y presenta un marcado déficit de agua en los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero (series 1983-2003 en Dorrego, 1980-2009 en Cabildo y 1996-2014 en Puan) (Figura 2).

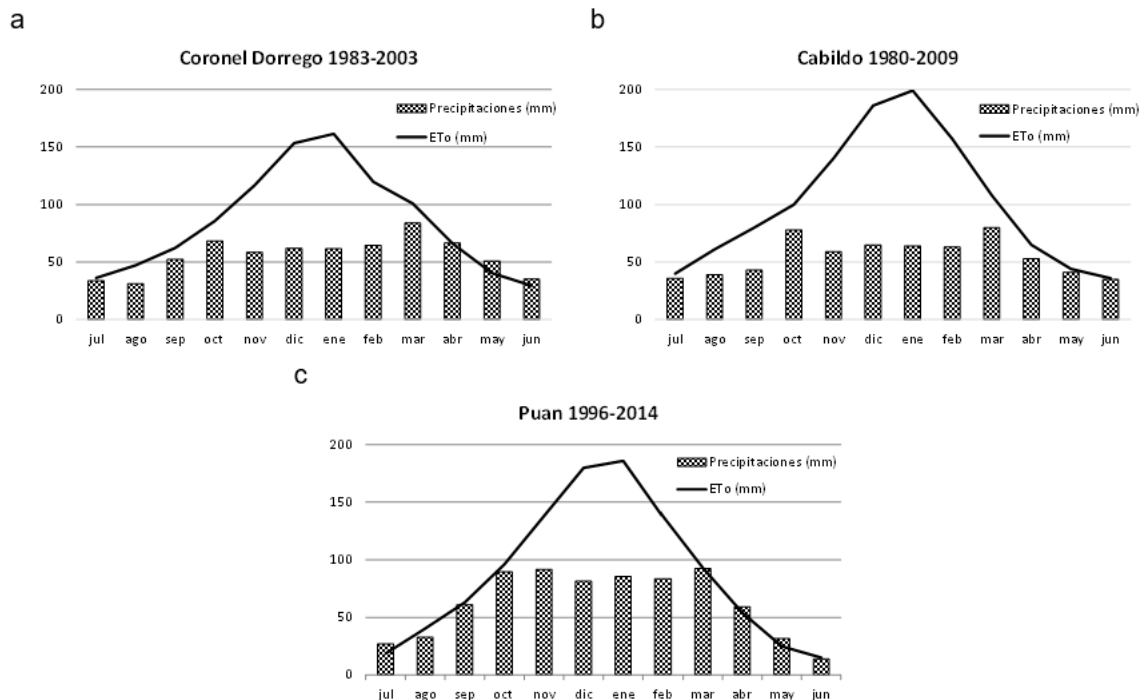


Figura 2: Balance hídrico en Coronel Dorrego (a), Cabildo (b) y Puan (c). ETo evapotranspiración.

Para estudiar las temperaturas se recopilaron datos horarios provistos por la Agencia de Extensión Rural del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) de Coronel Dorrego, Maltería Pampa en Puan y el criadero de semillas de la Asociación de Cooperativas Argentinas (ACA) de Cabildo (serie 2005-2017).

Se realizó un análisis para calcular la probabilidad de heladas anterior al 15 de mayo y posterior a la fecha de brotación. Asimismo, se estimó una fecha límite en otoño con probabilidad de heladas igual o menor al 10% y se calculó el riesgo de ocurrencia de heladas extremas, que es la probabilidad de que el evento ocurra al menos una vez durante la vida útil de la plantación, siguiendo la metodología descrita por Villalobos y López-Bernal (2017):

$$P(\text{helada después del día } t) = P_y \cdot P [z > ((t - m_{LF}) / s_{LF})]$$

$$P(\text{helada antes del día } t) = P_y \cdot P [z \leq ((t - m_{FF}) / s_{FF})]$$

Siendo P_y = fracción de años en los que ocurren heladas, m_{LF} = fecha media de la última helada, s_{LF} = desviación estándar, m_{FF} = fecha media de la primera helada, s_{FF} = desviación estándar y z = distribución normal estándar. También se calculó la probabilidad de ocurrencia de heladas menor a -7°C siguiendo la misma metodología. En un análisis de riesgo de heladas se distingue la probabilidad de ocurrencia de temperaturas por debajo de una temperatura crítica (T_c) en cualquier año y el riesgo (R_i). En lugar de riesgo utilizamos certeza ($C = 1 - R_i$):

$$C = \exp [- \exp ((T_c - \beta) / \alpha)]^{nd}$$

Siendo C = certeza, que es la probabilidad de que el evento no ocurra durante la vida útil (se calculó para 10 años); $\alpha = \sigma / 1,283$ y $\beta = \mu + 0,577 \alpha$; σ = desvío estándar y μ = media de las temperaturas mínimas absolutas.

Las plantaciones seleccionadas en cada sitio para realizar el seguimiento de la fenología del olivo fueron implantadas en el año 2008, con un marco de plantación de 7x5 m en Puan, 7x3,5 m en Cabildo y 7x4,5 m en Dorrego. El mismo se realizó en cuatro temporadas consecutivas desde el 2014 al 2017, excepto en Cabildo (2015-2017). Las observaciones a campo se efectuaron semanalmente desde septiembre (brotación) hasta enero (endurecimiento del carozo) y cada tres días en la fase de floración. Se utilizó la escala BBCH (desarrollada por Zadoks et al. 1974 y descrita para el olivo por Sanz-Cortés et al. 2002) por ser el sistema estandarizado. El mismo es numérico y cubre todos los estados de la planta. En el último año los datos se registraron solamente en floración. Asimismo, como las plantas también pueden sufrir estrés por excesivo calor, se contabilizaron los días con temperaturas mayores o iguales a 30°C durante el período de floración para cada sitio. De igual forma, debido a que algunos autores han destacado la importancia de conocer la probabilidad de ocurrencia de una temperatura de 37,8°C (Ayerza y Sibbett 2001), también se la consideró para realizar el análisis.

3. Resultados y discusión

En el estudio fenológico se observó una marcada anticipación en la salida del receso invernal de las yemas fructíferas durante el año 2014 (Puan y Dorrego). Sin embargo, en 2015 y 2016 el comportamiento de las plantas fue muy similar. La fase de brotación de “Arbequina” en el SOB ocurrió entre el 28 de agosto y el 25 de septiembre, siendo el 8 de septiembre la fecha media en Dorrego, 20 de septiembre en Puan y 12 de septiembre en Cabildo. La fecha media de floración osciló entre el 7 de octubre y el 6 de diciembre, mientras que a nivel regional ocurrió en promedio el 6 de noviembre (Tabla 1).

Tabla 1: Comienzo (día juliano) y duración (días) de las etapas prefloración (PRE) y floración (FLO) para cada año (media anual entre sitios \pm desvío estándar).

Año	ComienzoPRE	DuraciónPRE	ComienzoFLO	DuraciónFLO
2014	248,5 ($\pm 12,0$)	43,0 ($\pm 4,2$)	291,5 ($\pm 16,3$)	27,0 ($\pm 11,3$)
2015	259,7 (± 47)	55,0 ($\pm 2,6$)	314,7 ($\pm 4,0$)	23,7 ($\pm 2,5$)
2016	260,0 ($\pm 7,8$)	51,7 ($\pm 5,5$)	311,7 ($\pm 7,1$)	24,7 ($\pm 3,1$)
2017			317,3 ($\pm 3,1$)	20,7 ($\pm 4,7$)
Media	257,0 ($\pm 8,5$)	50,8 ($\pm 6,2$)	310,4 ($\pm 11,6$)	23,7 ($\pm 5,1$)

La variación en las fechas de brotación y floración de las yemas fructíferas podría estar relacionado con las diferencias térmicas entre sitios (Jochner et al. 2012). Consecuentemente, el anticipo de brotación en 2014 coincide con los registros más altos (Andreini et al. 2008). A su vez, el incremento de la temperatura del suelo podría adelantar la fecha de brotación (Cuenya et al. 2017). En nuestro estudio, la temperatura media invernal de Puan en 2014 fue mayor a 2015 y 2016 (9,8°C, 9,2°C y 8,7°C, respectivamente), escenario que pudo haber ocasionado un incremento de la temperatura del suelo. En Dorrego se contabilizaron 3 heladas durante el 2014, seguido de 2016 y 2015 con 5 y 8 heladas respectivamente, lo que haría suponer un invierno menos riguroso en el primero y, por consiguiente, un adelanto en la ruptura de las yemas florales. En Puan la ocurrencia de heladas fue mayor durante 2015 (18), con registros similares en 2014 y 2016 (14 y 13 respectivamente), mientras que en Cabildo se registraron 11 y 15 heladas en 2015 y 2016, respectivamente.

El período de floración se contrastó con otras regiones olivícolas y, si bien los resultados han sido variables, se hallaron algunas semejanzas. En un estudio realizado por Gómez del Campo et al. (2010) mencionan que la floración en la provincia de San Juan, Argentina, comienza a fines de octubre, al igual que en Chilecito, La Rioja, mientras que en Catamarca la floración se inicia a principios de octubre. Por otra parte, en el norte de Uruguay la floración de “Arbequina” se inicia los primeros días de octubre y finaliza a mediados del mismo mes, mientras que en el sur la floración ocurre desde mitad del mes de octubre hasta principios de noviembre (Conde et al. 2019). Rallo y Cuevas (2017) determinaron que, en la provincia de Córdoba, España (37° latitud norte), la fecha media de floración fue el 10 de mayo (noviembre en el Hemisferio Sur - H.S.), pero con diferencias de más de veinte días entre años. Resultados similares se hallaron en Sevilla, Toledo y Úbeda (España), donde la floración transcurre desde mitad a fines de mayo, mientras que en latitudes más altas (38° latitud norte), el inicio de floración se observó desde fines de abril (octubre en H.S.) a principios de junio (diciembre en H.S.) (Sáenz-Laín et al., 2002).

La duración de floración en Dorrego fue más prolongada en comparación al resto de los sitios, principalmente en 2014 (35 días), posiblemente relacionado a una mayor pluviometría (Saenz-Laín et al. 2003), con 220 mm acumulados durante esta fase. Resultados similares se observaron en Puan y Cabildo, con una floración más extensa durante el 2015, en coincidencia con un aumento de las precipitaciones en esta fase (252 y 42 mm respectivamente). En contraste, las precipitaciones acumuladas en 2017 fueron de 22, 8 y 21 mm en Dorrego, Puan y Cabildo, respectivamente, reflejado en una floración más corta. Las heladas se concentraron en los meses de junio, julio y agosto durante el período 2005-2017, siendo Puan la localidad con el registro más alto (Figura 3). La fecha media de la primera helada fue el 17 de mayo en Puan, el 13 de junio en Dorrego y el 26 de mayo en Cabildo; mientras que la media de la última helada fue el 14 de septiembre en Puan, el 8 de septiembre en Dorrego y el 2 de octubre en Cabildo.

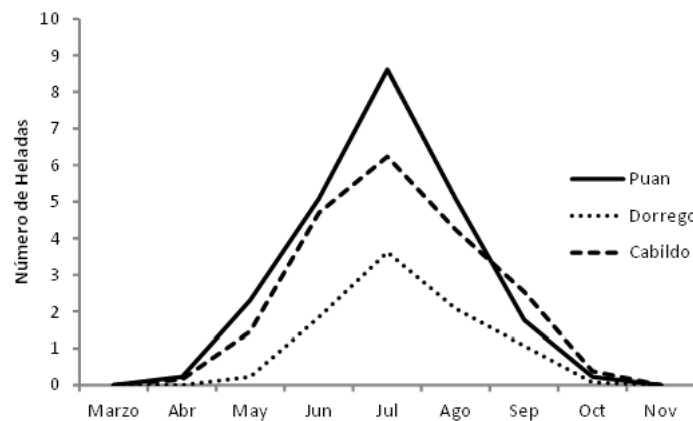


Figura 3: Media del número de heladas mensual para la serie 2005-2017. Fuente: elaboración propia.

Utilizando la metodología propuesta por Villalobos y López-Bernal (2017), el riesgo de daños por helada en Puan luego de la fecha de brotación se calculó de la siguiente manera: Como todos los años ocurren heladas $P_y=1$, la brotación de la cv. Arbequina ocurrió en promedio el día juliano (dj) 263 (20 de septiembre) y la fecha media de la última helada fue el dj 259 con un desvío estándar de 22, la probabilidad de helada posterior a esa fecha será:

$$\begin{aligned}
 P(\text{helada después del día } 263) &= P_y \times P [z > ((t-m_{LF})/s_{LF})] \\
 P(\text{helada después del día } 263) &= 1 \times P [z > ((263,7-259)/22)] \\
 P [z > 0,214] &= 1 - P [z \leq 0,214] \\
 P (z \leq 0,214) &= 0,5 [1 + (1 - \exp(-2 \times 0,214^2/\pi))^{1/2}] = 0,58
 \end{aligned}$$

Y, por tanto, la probabilidad de helada después del 20 de septiembre en Puan será $1-0,58 = 0,42$ (42%). De forma análoga, se realizaron los cálculos para los sitios restantes (Tabla 2). Si consideramos la fecha más temprana de brotación, la probabilidad de helada en Dorrego será de 69% (posterior al 28 de agosto), 54% en Puan (posterior al 14 de septiembre) y 94% en Cabildo (posterior al 12 de septiembre). Utilizando la metodología mencionada anteriormente y teniendo en cuenta que la cosecha de aceitunas en el SOB comienza en abril y puede continuar hasta el mes de junio, se calculó la probabilidad de helada antes del 15 de mayo (la mayoría de las plantaciones se encuentran en cosecha) y la fecha límite con probabilidad de helada menor al 10% en los meses de cosecha. Los resultados indican que en Dorrego la tolerancia fue mayor y ofrece la posibilidad de retrasar la cosecha hasta el 27 de mayo con una probabilidad de heladas menor al 10%. La cercanía al mar en este sitio podría ser un factor atenuante del frío (Gómez del Campo et al. 2004; Martínez Núñez et al. 2015) y por lo tanto una ventaja para la producción de aceite en el SOB por ser esta zona la que abarca mayor superficie de producción.

En la estación invernal la resistencia al frío dependerá de la adaptación de las plantas. Cuando los días se acortan y la temperatura desciende, comienza un proceso de endurecimiento por frío, que implica una disminución del contenido de agua, mejorando la tolerancia a las bajas temperaturas invernales (Turchetti Iturrieta et al. 2014). Asimismo, como la temperatura nunca alcanzó -12°C en la serie estudiada, se calculó únicamente el riesgo de heladas de -7°C para un período de 10 años, siguiendo la metodología adoptada por Villalobos y López-Bernal (2017). Se detalla el procedimiento para Puan:

Considerando que la media de las temperaturas mínimas absolutas (μ) en Puan es -5°C , su desvío estándar (σ) de 1,92, $\alpha = \sigma/1,283$ y $\beta = \mu + 0,577 \times \alpha$, α será 1,5 y β será -4,14.

$$\begin{aligned}
 C(\text{certeza}) &= \exp[-\exp((T_c - \beta)/\alpha)]^{nd} \\
 C &= \exp[-\exp((-7 - (-4,14))/1,5)]^{nd} \\
 C &= 0,23
 \end{aligned}$$

Como la certeza es 0,23, el riesgo de que se produzcan lesiones en la parte aérea de la planta con temperaturas de -7°C durante 10 años fue del 77% $((1-0,23) \times 100)$, es decir, aproximadamente en 8 de cada 10 años. En Dorrego, el riesgo fue 2% (probablemente la temperatura no llegue a -7°C en 10 años) y en Cabildo 71% (aproximadamente en 7 de cada 10 años). Si bien en Dorrego las temperaturas no alcanzaron los -7°C (en los 13 años analizados), en Cabildo y Puan se registraron valores entre -7°C y -12°C , las cuales podrían generar lesiones en la parte aérea de las plantas (Pallioti y Bongioanni 1996) sin llegar a provocar severos daños.

Tabla 2: Probabilidad de heladas y temperaturas mínimas (°C) para los sitios de estudio. Periodo 2005-2017.

	Probabilidad de heladas			Temperaturas mínimas			
	Tardías	Tempranas		TMA	Fecha	Media	DE
	Posterior a FMB	Al 15/05	Fecha límite PH < 10 %				
Puan	42 %	45 %	25 de abril	-9,7	9/7/2007	-5,0	1,92
Dorrego	49 %	1 %	27 de mayo	-4,2	8/7/2007	-2,8	0,99
Cabildo	94 %	26 %	4 de mayo	-8,5	14/6/2007	-4,7	1,98

FMB Fecha media de brotación, PH probabilidad de helada, TMA: temperatura mínima absoluta en °C; Fecha: fecha TMA; Media: promedio de las TMA anuales; DE: desvío estándar. Fuente: elaboración propia.

En comparación a otras regiones, en un trabajo realizado en San Juan, Babelis et al. (2013) observaron una muy baja probabilidad de que se originen descensos térmicos de -12°C en la mayor parte del área estudiada. No obstante, Gómez del Campo et al. (2010) mencionan que en esa región el 45 % de los inviernos estudiados presentaron una temperatura mínima absoluta entre -10 y -10,5°C ocasionando una disminución en las producciones.

Temperaturas máximas

Todos los sitios presentaron temperaturas superiores a 30°C en la fase de floración (Tabla 3), con un 31 % de ocurrencia en Puan y Cabildo y 14% en Dorrego (se calculó haciendo el cociente entre la media del número de días con temperaturas mayor o igual a 30°C y la duración media de la floración en cada sitio).

Tabla 3: Número de días con temperatura ≥ 30°C durante el periodo de floración y ≥ 37,8°C en los meses de diciembre a febrero (DIC-FEB).

Días con temperatura ≥ 30°C en floración				Días con temperatura ≥ 37,8°C (DIC a FEB)		
Año	Puan	Dorrego	Cabildo	Puan	Dorrego	Cabildo
2005	8	6	6	0	0	0
2006	8	3	6	0	1	4
2007	6	2	7	0	2	2
2008	16	12	13	0	0	0
2009	8	2	2	5	3	1
2010	3	0	3	3	0	1
2011	2	6	7	4	0	1
2012	4	4	5	4	3	6
2013	10	6	13	0	2	8
2014	3*	2*	6	4	3	0
2015	4*	4*	6*	1	1	1
2016	9*	4*	7*	0	0	1
2017	2*	0*	4*	4	2	7
Media ± dS	6,5 ± 4,0	3,9 ± 3,2	6,5 ± 3,3	1,9 ± 2,1	1,3 ± 1,3	2,5 ± 2,8

*temperaturas ≥ 30°C durante el período de floración observado en cada año. Los restantes valores corresponden al período de floración promedio de los 4 años de estudio en Puan y Dorrego y de 3 años en Cabildo. dS desvío estándar. Fuente: elaboración propia.

Las temperaturas elevadas en floración pueden originar, en algunas oportunidades, que el estigma se deshidrate inhibiendo la fecundación. Los resultados muestran que, si bien hay registros >30°C en este período, estos eventos disminuyen drásticamente en Dorrego. En otras regiones de similar latitud, como el sur de España y el centro-sur de Italia, las temperaturas máximas hacia el fin de floración pueden oscilar frecuentemente entre 28-30°C y 23-30°C respectivamente (Aguilera et al. 2013). Por otro lado, en esta etapa no se observaron temperaturas > 37,8°C pero sí durante los meses de verano, siendo inferiores a otras zonas productoras de Argentina, como el Valle Central de Catamarca y en La Rioja, donde alcanzan valores de 45°C (Gómez del Campo et al. 2010). Ayerza and Sibbett (2001) no registraron en floración temperaturas de 37,8°C en áreas mediterráneas (Córdoba, Jaén, Sevilla), Perú y México, pero sí en distintas regiones de Argentina. Por ejemplo, en la ecorregión Chaco Árido son un inconveniente al incrementar el riesgo de pérdida de rendimiento en el olivar. Griggs et al. (1975) también observaron estos valores en floración, causando una reducción en el tamaño de los frutos y en la producción. Olivares en Toledo, España, están expuestos a temperaturas estivales que pueden llegar comúnmente a los 40°C (García Rojas et al. 2002), mientras que, en la Comunidad de Andalucía, las temperaturas de verano alcanzan los 43-45°C (Redolfi et al. 2003), valores superiores a los registrados en nuestro estudio.

Las altas temperaturas también pueden afectar la calidad del aceite en los meses previos a la cosecha (febrero y marzo) por ser los de mayor síntesis de aceite y por lo tanto los que más impacto tendrían sobre su contenido. En el SOB las temperaturas máximas en ese período esporádicamente alcanzan 40°C. En otras zonas, como Catamarca, la cosecha se inicia en marzo con temperaturas máximas promedio de 31°C, lo que puede generar fermentaciones en la aceituna (Gómez del Campo et al. 2010), mientras que en el SOB el período de recolección comienza en abril (Eliás y Barbero 2017) con temperaturas medias máximas de 18 a 22°C (datos propios).

Las temperaturas $\geq 37,8^{\circ}\text{C}$ fueron registradas desde el 15 de diciembre al 22 de febrero. No obstante, si bien no ocurrieron en floración, las mismas pueden incidir en la maduración y síntesis de ácidos grasos, carbohidratos y otros compuestos de la aceituna (García Molano et al. 2013). Hubo registros $\geq 40^{\circ}\text{C}$ durante el mes de enero (Dorrego: año 2012; Puan: 2012 y 2014; Cabildo: 2006, 2012 y 2017), mientras que en diciembre únicamente en Cabildo se superó este valor (año 2013). A continuación, se presentan los principales resultados del test de correlación de Pearson que relaciona temperatura, humedad y precipitaciones con las fases comienzo y duración de prefloración y floración (Tabla 4).

Tabla 4: Resultados del test de correlación de Pearson entre las variables fenológicas y las variables meteorológicas.

	ComienzoPRE	DuraciónPRE	ComienzoFLO	DuraciónFLO
TmaxJul-FLO			0,65*	-0,85***
TmaxJul-PRE		0,77**	0,77*	-0,83*
TmaxPRE				-0,78*
TminAgo	0,75*			
TminPRE			0,77*	-0,79*
PrecFLO				0,67*
PrecOct		-0,84*	-0,66*	
PrecSep+Oct		-0,82*		
HRSep		-0,89**		
HRMay-PRE		-0,84*		
HRJul-PRE		-0,87*		

Tmax temperatura máxima, Tmin temperatura mínima, Tm temperatura media, Prec precipitaciones, May mayo, Jun junio, Jul julio, Ago agosto, Sep septiembre, Oct octubre, Nov noviembre, PRE fase de prefloración (brotación), FLO fase de floración. Niveles de significancia: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$. Fuente: elaboración propia.

La relación entre variables fenológicas y climáticas indican una marcada influencia de la temperatura y también de las precipitaciones sobre el comportamiento de las plantas. Se observó una relación positiva entre brotación y las temperaturas mínimas de agosto (TminAgo), lo que significa que luego de acumular horas frío y con el aumento de las temperaturas se adelantaría esta fase. No obstante, si bien se obtuvo una correlación inversa entre duración de floración (DuraciónFLO) y temperaturas en prefloración (TmaxPRE, TminPRE), las primaveras cálidas pueden haber ocasionado una floración más corta y explicar este vínculo entre variables. Las precipitaciones en floración (PrecFLO) muestran una relación positiva con DuraciónFLO, reflejado en los datos obtenidos y expuestos anteriormente en este trabajo.

Las tendencias actuales en la fecha de brotación y floración en el SOB manifiestan que, bajo estas condiciones climáticas, existe un riesgo por heladas cuando brotan las primeras yemas florales. Además, el aumento de las temperaturas primaverales podría inducir un adelantamiento de las etapas fenológicas, con una posible exposición de las plantas a heladas tardías que afecten la viabilidad de la floración. Por consiguiente, es importante incrementar el estudio del comportamiento de olivares implantados y de nuevos cultivares para seleccionar los que tengan menor susceptibilidad al frío.

4. Conclusiones

El comportamiento fenológico de “Arbequina” demostró una variabilidad geográfica entre sitios dentro del SOB y que, en relación a las provincias tradicionalmente productoras del país, las plantas están expuestas a temperaturas más bajas durante la primavera. Bajo estas condiciones climáticas, la incidencia de heladas tardías puede producir daños en yemas florales desde la fecha de brotación, situación que se acentúa en Puan y Cabildo. Incluso, las heladas tempranas durante los meses de cosecha pueden dañar el fruto, aunque el riesgo disminuye drásticamente si la misma se realiza entre abril y mayo. Este trabajo ofrece información valiosa para próximas inversiones en la región, principalmente en los sitios más cercanos al mar, donde se observaron las mejores condiciones ambientales. Asimismo, los estudios debieran completarse con futuras investigaciones para establecer las zonas con mejor aptitud y fortalecer la producción local.

5. Agradecimientos

Los autores agradecen a los productores Dora Nizovoy, Ignacio Bottini y Diego Risso por permitirnos el ingreso a las fincas y a la Universidad Nacional del Sur por el financiamiento a través del Proyecto de Grupos de Investigación (PGI) “Manejo Eficiente del Olivar en el Sudoeste Bonaerense”.

6. Referencias bibliográficas

Abraham EM, Guevara J., Candia RJ, Soria ND (2016): Dust storms, drought and desertification in the South-west of Buenos Aires Province, Argentina. *Rev. Fca UNCUYO*. 48(2): 221-241.

Aguilera F, Orlandi, F, Ruiz L, Galán C, Mozo C, Tommaso B, Oteros J et al. (2013): La floración del olivo (*Olea europaea* L.) como elemento bioindicador de cambios en el clima mediterráneo: análisis preliminar. XVI simposio Expoliva. Jaén, España.

Ayerza R, Sibbett GS (2001): Thermal adaptability of olive (*Olea europaea* L.) to the Arid Chaco of Argentina. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 84: 277-285.

Babelis GC, Vita Serman F, Sierra EM (2013): Adaptación agroclimática del olivo y otras especies frutales en el Valle del Tulum. 1ra edición. Fundación ArgenINTA, Buenos Aires, Argentina. Ben-Ari G, Biton I, Many Y, Namdar D, Samach A (2021): Elevated temperatures negatively affect olive productive cycle and oil quality. *Agronomy*, 11 (8), p. 1492.

Bongi G, Palliotti A (1994): Olive. En: Handbook of environmental physiology of fruit crops. Volume 1: Temperate crops. Schaffer, B. y Anderson, P. (eds). CRC Press, 320 p.

Bradley D, Griggs WH, Hartman HT (1961): Studies on self and cross pollination of olives under varying temperature conditions. *California Agriculture* 15 (3), 4-5.

Cuenya MI, García MB, Romero CD, Romero ER, Chavanne ER (2017): Efectos del agregado de cachaza y de diferentes densidades de plantación en la capacidad productiva de un semillero saneado de la variedad de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) LCP85-384. *Revista industrial y agrícola de Tucumán*, 84(1), 1-8.

Conde P, Villamil JJ, Bruzzone J, Leoni C, Zoppolo R et al. (eds.) (2019): Catálogo de cultivares de olivo. Boletín de Divulgación N° 117. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Montevideo, Uruguay.

Dias CS, Arias-Sibillotte M, Tiscornia G, Severino V, Pasa M, Herter FG, Mello-Farias P, Conde-Innamorato P (2022): Low spring temperature may negatively influence olive yield. *Australian Journal of Crop Science*, 16(9), 1094-1100.

Elias R, Barbero AC (2017): Situación del oleoturismo y lineamientos para su desarrollo en la región del sudoeste bonaerense, Argentina. *Revista interamericana de ambiente y turismo*, 13(1), 91-104.

Elisei, V, Aguirre ME (2011): Variables meteorológicas de dos sitios de interés olivícola de Coronel Dorrego. *AgroUNS*, 15: 17-20.

Elloumi O, Ghrab M, Chatti A, Chaari A, Mimoun M (2020): Phenological performance of olive tree in a warm production area of central Tunisia. *Scientia Horticulturae*, 259, 108759.

Fernández-Escobar R, Gómez-Valledor G, Rallo L (1983): Influence of pistil extract and temperature on in vitro pollen germination and pollen tube growth of olive cultivars. *Journal of Horticultural Science*. 58(2):219-227.

García Molano JF, Cheverría González EY, Jaramillo García LS (2013): Diferencias climáticas entre las regiones tradicionalmente productoras de olivo (*Olea europaea* L.) en el mundo y el Alto Ricaurte en Colombia. *Revista Cultura Científica*, (11), 124-132.

García Rojas L, Lacasta Dutoit C, Meco R (2002): Control ecológico de la mosca del olivo: Eficacia de trampas y atrayentes alimenticios. I Conferencia mundial de IFOAM sobre olivar ecológico.

Gómez del Campo M, Rapoport H (2008): Descripción de la iniciación floral, floración, cuajado, caída de frutos y endurecimiento del hueso. *Agricultura Revista Agropecuaria*, (907), 400-406.

- Gómez del Campo M, García CA, Barranco D (2004): Evaluación de la tolerancia a helada de diez variedades de olivo. En: Agricultura: Revista Agropecuaria y Ganadera. García, C. A., D. Barranco, and M. Gómez del Campo. (869), 958-963.
- Gómez del Campo M, Morales-Sillero F, Vita Serman F, Rousseaux MC, Searles PS (2010): El Olivar en los Valles áridos del Noroeste de Argentina (provincias de Catamarca, La Rioja y San Juan). Economía, Ciencia y Técnica. *Olivae* 114: 23-44.
- Griggs WH, Hartmann HT, Bradley MV, Iwakiri BT, Whisler JE (1975): Olive Pollination in California. Bulletin of the California Agricultural Experiment Station, 869: 50p.
- Hamze LM, Trentacoste ER, Searles PS, Rousseaux MC (2022): Spring reproductive and vegetative phenology of olive (*Olea europaea* L.) cultivars at different air temperatures along a latitudinal-altitudinal gradient in Argentina. *Scientia Horticulturae*, 304, 111327.
- Jochner SC, Sparks TH, Estrella N, Menzel A (2012): The influence of altitude and urbanisation on trends and mean dates in phenology (1980-2009). *International Journal of Biometeorology*, 56(2): 387-394.
- Koubouris GC, Metzidakis IT, Vasilakakis MD (2009): Impact of temperature on olive (*Olea europaea* L.) pollen performance in relation to relative humidity and genotype. *Environmental and Experimental Botany*, 67(1): 209-214.
- Lavagna M (ed) (2018): Censo Nacional Agropecuario. Resultados Preliminares. Agricultura.
- Lucena B, Manrique T, Méndez MA (2017): La olivicultura en el mundo y España. En D. Barranco, R. Fernández-Escobar y L. Rallo (eds), *El Cultivo del Olivo* (pp. 1-33). 7ma edición. Mundi-Prensa, Madrid, Madrid, España.
- Martínez Núñez L, Moreno García JV, Chazarra-Bernabé A, Gallego Abaroa T, Avello Miranda ME, Botey MR (2015): Mapas de riesgo: Heladas y horas de frío en la España peninsular (periodo 2002-2012).
- Medina-Alonso MG, Navas JF, Cabezas JM, Weiland CM, Ríos-Mesa D, Lorite IJ, León L, de la Rosa R (2020): Differences on flowering phenology under Mediterranean and Subtropical environments for two representative olive cultivars. *Environmental and Experimental Botany*, 180, 104239.
- Mele MA, Islam MZ, Kang HM, Giuffrè AM (2018): Pre-and post-harvest factors and their impact on oil composition and quality of olive fruit. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 592-603.
- Morelló JR, Motilva MJ, Ramo T, Romero MP (2003): Effect of freeze injuries in olive fruit on virgin olive oil composition. *Food Chem* 81, 547-553.
- Navarro-Ainza JAC, López-Carvajal A (2013): Cuajado de frutos y partenocarpia en olivo manzanillo con polinización cruzada. *Revista Agronomía Mesoamericana*, 24(2), 393-400.
- Pardiñas UF, Abba AM, Merino L (2004): Micromamíferos (Didelphimorphia y Rodentia) del sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina): taxonomía y distribución. *Mastozoología neotropical*, 11(2), 211-232.
- Petrucelli R, Bartolini G, Ganino T, Zelasco S, Lombardo L, Perri E, Durante M, Bernardi R (2022): Cold Stress, Freezing Adaptation, Varietal Susceptibility of *Olea europaea* L.: A Review. *Plants* 2022, 11 (10), 1367.
- Picardi MS, González G, Valls L (2015): Aceite de oliva: el mercado mundial y el desempeño comercial de la Argentina. *Agroalimentaria*, 21(41): 81-93.
- Pino C, Sepúlveda B, Tapia F, Saavedra J, García-González DL, Romero N (2022): The impact of mild frost occurring at different harvesting times on the volatile and phenolic composition of virgin olive oil. *Antioxidants*, 11(5), 852.
- Rallo L, Cuevas J (2017): Fructificación y producción. En D. Barranco, R. Fernández-Escobar y L. Rallo (eds), *El Cultivo del Olivo* (pp. 145-186). 7ma edición. Mundi-Prensa, Madrid, Madrid, España.
- Redolfi I, Tinaut A, Pascual F, Campos M (2003): Patrón de actividad de *Tapinoma nigerrima* (Nylander) y *Crematogaster scutellaris* (Olivier) (Hymenoptera, Formicidae) en el cultivo de olivo y en el laboratorio. *Zool. baetica*, 13(14), 37-55.

Sanz-Cortés F, Martínez-Calvo J, Badenes ML, Bleiholder H, Hack H, et al. (2002): Phenological growth stages of olive trees (*Olea europaea*). *Annals of Applied Biology*, 140(2), 151-157.

Schroeder RV, Formiga N (2011): Oportunidades para el desarrollo local: el caso del Sudoeste Bonaerense (Argentina). *Revista Colombiana de Geografía*, 20(2), 91-109.

Sáenz-Laín C, Bustillo MG, Mateos VAS (2002): Phenology, aerobiology and production of an olive grove in Almodóvar del Campo (Castilla-La Mancha). In *Anales del Jardín Botánico de Madrid*. 60 (1): 73-81.

Turchetti Iturrieta JP, Ruiz M, Vita Serman F (2014): Frost tolerance in young plants of *Olea europaea* L. 'Arbequina' and 'Barnea': role of tissue water status. *Acta horticulturae*, (1057), 155-162.

Villalobos FJ, López-Bernal A (2017): Clima. En D. Barranco, R. Fernández-Escobar y L. Rallo (eds), *El Cultivo del Olivo* (pp. 35-64). 7ma edición. Mundi-Prensa, Madrid, Madrid, España.

Vita Serman F (2022): Estrategias de riego deficitario y productividad del agua en olivares intensivos localizados en climas de tipo continental y totalmente dependientes del riego. Tesis de Doctorado. Universidad de Córdoba. Córdoba, España.

Zadoks JC, Chang TT, Konzak CF (1974): A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed research*, 14(6), 415-421.

Zapperi PA, Ramos MB, Gil V, Campo AM (2007): Caracterización de las precipitaciones estivales en el Suroeste bonaerense. *Sociedad Argentina de Estudios Geográficos*, Posadas. Pp. 483-491.