



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

TESIS DE MAGÍSTER EN CIENCIAS AGRARIAS

**“Estudio de la fenología del olivo (*Olea europaea*
L.) cv. Arbequina en el Sudoeste Bonaerense”**

Ingeniero Agrónomo Leandro Goñi

BAHIA BLANCA

ARGENTINA

2020

PREFACIO

Esta Tesis se presenta como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Magíster en Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional del Sur y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad u otra. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en el ámbito del Departamento de Agronomía durante el período comprendido entre el 2014 y el 2017, bajo la dirección de la Lic. Mag. Gabriela C. Laurent.

Leandro Goñi



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
Secretaría General de Posgrado y Educación
Continua

La presente tesis ha sido aprobada el / / , mereciendo la calificación de(.....)

*"Dedico esta tesis a
mis padres, a Flor, a
mis hermanos y a mis
amigos que me
acompañan día a día"*

AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Nacional del Sur por haberme brindado la beca “Interna de iniciación a la investigación”.
- Al Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur por brindarme esta posibilidad.
- A la Mag. Gabriela C. Laurent por su incondicional ayuda y constante dedicación para que pueda realizar esta tesis.
- A los productores que nos permitieron ingresar a su propiedad y por la amabilidad recibida: a las Sras. Dora Nizovoy y Anna Biraghi y a los Sres. Prieto Bouldorin, Ignacio Bottini, Marcelo Pecinia, Bernardo Irrazabal y Mariano Kittler.
- A la Cooperativa de Obras y Servicios Públicos Ltda. de Puan por permitirme realizar el estudio en su finca y al Municipio de Coronel Dorrego por el apoyo que nos brindó.
- Al INTA Coronel Dorrego, Maltería Pampa, Bolsa Cereales de Bahía Blanca y Asociación de Cooperativas Argentinas de Cabildo que nos brindaron los datos climáticos.
- A Ricardo Camina por su ayuda en los análisis estadísticos.
- A M. Eburne Ayastuy por las sugerencias y consejos brindados.
- A Ramiro J. García por su amistad y su ayuda en el trabajo de campo y laboratorio.
- A María R. Landriscini, Matías Duval, Juan M. Martínez, Julio Iglesias, Liliana Suñer y Gabriela Minoldo, por su amistad y por la ayuda recibida en este trabajo.
- A Micaela Comezaña, Juliana Moisés, Cecilia Constantino y Fernando López por su compañerismo, amistad y apoyo en estos años.
- A mis compañeros de cátedra Martín Espósito y Pablo Paoloni, por ser excelentes compañeros.

RESUMEN

La olivicultura en el sudoeste bonaerense (SOB) se presenta como una alternativa de producción a los planteos típicos de cereales de invierno y ganadería. Ante este escenario, ha surgido un gran interés para poder comprender cómo se comporta el cultivo del olivo (*Olea europaea* L.) en la región. La finalidad de este trabajo fue generar información regional acerca del comportamiento del olivo cv. Arbequina en distintos sitios (Coronel Dorrego, Puan y Cabildo) emplazados en el SOB, en conjunto con una caracterización climática utilizando una serie de 13 años para cada sitio, y aportar herramientas para pronosticar con mayor precisión el rendimiento del cultivo en la región. El estudio fenológico se realizó durante 4 años desde brotación hasta endurecimiento del carozo, salvo el cuarto año donde sólo se realizó en floración. Se midieron: crecimiento vegetativo, circunferencia del tronco (Ct), volumen y superficie de la copa (VC y SC), rendimiento (R) y eficiencia productiva (EP) de los árboles. En todos los sitios se cumplieron las necesidades de frío. La brotación de las yemas florales en Coronel Dorrego se anticipó a Puan y Cabildo, siendo el 14 de septiembre la fecha promedio en la región. El inicio de esta fenofase estuvo influenciado por la temperatura mínima de agosto, la cual se asoció a la temperatura del suelo, y su duración por las precipitaciones de septiembre y octubre. El riesgo de que se produzcan temperaturas de -7°C en 10 años durante el invierno será del 77% en Puan, 71% en Cabildo y 2% en Coronel Dorrego, siendo improbable una temperatura de -12°C en todos los sitios. El inicio de floración ocurrió en promedio el 6 de noviembre y estuvo regulado principalmente por las temperaturas que la anteceden. El rendimiento relativo utilizando como covariable a VC en olivares de 5 a 7 años se predice a partir de una misma ecuación, es decir que no existen diferencias estadísticas entre 5 y 7 años, mientras que a los 9 (u 8) años la ecuación se modifica. Se obtuvo una ecuación que relaciona R con el diámetro de copa en plantas de 5 a 9 años de edad en Coronel Dorrego. En conclusión, el SOB presenta condiciones climáticas aptas para el desarrollo de la olivicultura, aspecto que deberá ser estudiado con mayor profundidad para la cv. Arbequina pero también para nuevas variedades con el fin de fomentar nuevas inversiones.

ABSTRACT

The development of olive orchards in the southwest of Buenos Aires province (SWB) is presented as an alternative to typical winter cereals and livestock production. In this stage, a great interest has emerged from growers and consultants to understand how the olive tree (*Olea europaea* L.) behaves in the region. The aim of this work was to provide regional information about fruiting behavior of olive, cv. Arbequina and to predict crop production in three sites in the SWB (Coronel Dorrego, Puan and Cabildo). We count with a climatic characterization of a 13-year series for each site. Phenological study was conducted for a 4-year period, from sprouting to pit hardening (resulting from sclerification of the fruit endocarp) except for the last year that only flowering period was evaluated. Vegetative growth, trunk circumference (Ct), volume and surface of tree canopy (VC and SC), fruit yield (R) and yield efficiency (EP) were measured. The olive tree phenology showed a geographical variability in the SWB. Sprouting of flower buds (onset of pre-flowering) at Coronel Dorrego was anticipated to Puan and Cabildo, being on September 14th. The beginning of this phenophase was influenced by low temperature in August, associated with soil temperature, and its length by rainfall occurred in September and October. The risk of having temperatures of -7°C during 20 years at winter time will be 77% in Puan, 71% in Cabildo and only 2% in Coronel Dorrego, with no risk of having -12°C temperature in all sites. The mean onset of flowering in the SWB was on November 6th and was mainly regulated by earlier temperatures. Yield in olive trees of 5 to 7 years old can be predicted from the same equation using VC as a covariate, however, this equation differs in older trees. An equation that relates R to VC of 5 to 9 years old plants was obtained at Coronel Dorrego. In conclusion, the SWB region presents suitable climatic conditions for the development of olive growing. This should be considered in future studies for the Arbequina variety, but also for new varieties in order to encourage new investments.

Certifico que fueron incluidos los cambios y correcciones sugeridas por los jurados.

Mg. Gabriela C. Laurent

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Contexto de la tesis	1
1.2. El Olivo	1
1.2.1. <i>Historia del cultivo del olivo</i>	1
1.2.2. <i>El olivo en el mundo</i>	2
1.2.3. <i>El olivo en Argentina</i>	4
1.2.4. <i>El olivo en el sudoeste bonaerense</i>	5
1.3. Características de la especie	6
1.4. Fenología del olivo	6
1.5. Ciclo reproductivo del olivo	8
1.5.1. <i>Floración</i>	8
1.5.2. <i>Reposo de las yemas</i>	10
1.6. Requerimientos climáticos del olivo	11
1.7. Descripción de la cv. Arbequina	13
1.8. Variables de crecimiento	14
1.9. Problemática planteada	18
1.10. Hipótesis	19
1.11. Objetivos	19
1.11.1 <i>Objetivo general</i>	19
1.11.2 <i>Objetivos específicos</i>	19
2. Materiales y métodos	20
2.1. Área de estudio	20
2.2. Descripción de los sitios	21
2.2.1. <i>Puan</i>	21

2.2.2. Cabildo.....	22
2.2.3. Coronel Dorrego	23
2.3. Datos climáticos	23
2.3.1. Balance hídrico en los sitios evaluados	24
2.3.2. Modelo térmico para evaluar el período de vernalización.....	25
2.3.3. Unidades de calor.....	25
2.3.4. Temperaturas extremas.....	26
2.4. Desarrollo fenológico de la cv. Arbequina y su relación con el clima local.....	28
2.4.1. Análisis estadístico	30
2.5. Evaluación del crecimiento y rendimiento	30
2.5.1. Experimento 1 - Influencia del año de implantación sobre variables de crecimiento y el rendimiento.	30
2.5.2. Experimento 2 - Influencia de los sitios evaluados sobre las variables de crecimiento y el rendimiento en el SOB.....	31
2.5.3. Análisis estadístico	32
3. Resultados y discusión	34
3.1. Datos climáticos	34
3.1.1. Temperaturas diarias estacionales	34
3.1.2. Temperaturas mínimas	37
3.1.3. Período de vernalización	46
3.1.4. Unidades de calor.....	47
3.1.5. Temperaturas máximas extremas	49
3.1.6. Precipitaciones en cada estación del año.....	52
3.1.7. El clima en floración.....	52
3.2. Desarrollo fenológico de la cv. Arbequina y su relación con el clima local.....	56

3.2.1. Brotación de olivos cv. Arbequina.....	56
3.2.2. Inicio y duración de la floración en olivos cv. Arbequina.....	58
3.2.3. Relaciones entre el comportamiento fenológico del olivo y las variables climáticas.....	61
3.3. Evaluación del crecimiento y rendimiento	64
3.3.1. Experimento 1 - Influencia del año de implantación sobre variables de crecimiento y el rendimiento.	64
3.3.2. Experimento 2 - Influencia de los sitios evaluados sobre las variables de crecimiento y el rendimiento en el SOB.....	69
4. Conclusiones.....	79
5. Bibliografía.....	81

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Evolución geográfica del olivo, <i>Olea europaea</i> L. (Oteros, 2014).....	2
Figura 2. Latitud donde se cultiva el olivo (Lucena et al., 2017).....	3
Figura 3. Superficie de olivar en el mundo expresado como porcentaje. Principales países productores (adaptado por González Zafra, 2017).	3
Figura 4. Izquierda: Mapa de la República Argentina y en verde la provincia de Buenos Aires. Derecha: Mapa de la provincia de Buenos Aires y en verde el sudoeste bonaerense.	5
Figura 5. Escala de BBCH floración del olivo, extraído de Rojo Úbeda (2014). 51 brotación, las yemas florales comienzan a hincharse, 54 desarrollo del racimo floral, 55 pétalos apenas visibles, 59 pétalos blancos, 60 comienzo de floración, 65 plena floración, 68 caída de pétalos-fin de floración.	7
Figura 6. Esquema de la evolución estacional del árbol de olivo. Extraído de Ramírez (2001).....	8
Figura 7. Ciclo vegetativo anual y reproductor bienal del olivo propuesto por Rallo y Cuevas (2017).....	10
Figura 8. Balance hídrico en Coronel Dorrego, Cabildo y Puan. <i>ETo</i> evapotranspiración potencial.	25
Figura 9. Estados fenológicos del olivo en los sitios Puan (Pua), Dorrego (Dor) y Cabildo (Cab). Años 2014, 2015 y 2016.	56
Figura 10. Períodos de floración para cada sitio de estudio. Años 2014, 2015, 2016 y 2017.....	58
Figura 11. Rendimiento en función del volumen de copa en árboles con 9, 7 y 5 años de edad en Coronel Dorrego. Los datos fueron transformados aplicando logaritmo neperiano.	66
Figura 12. Biplot del análisis de componentes principales para los tres años de plantación. Los datos fueron transformados aplicando logaritmo neperiano. Lb longitud de brote, Nb nudos por brote, Db diámetro basal del brote, (crecimiento primavera); R: rendimiento por planta (kg planta^{-1}); Ct: circunferencia del tronco (cm); VC: volumen de copa ($\text{m}^3 \text{pl}^{-1}$); SC: superficie de copa ($\text{m}^2 \text{pl}^{-1}$); Ef product: eficiencia productiva (kg m^{-3}).	67
Figura 13. Predicción del rendimiento (Rend) a partir del diámetro de la copa (Dcop).....	69

Figura 14. Biplot del análisis de componentes principales para los tres sitios evaluados. Los datos fueron transformados aplicando logaritmo neperiano Lb: longitud de brote, Nb: nudos por brote, Db: diámetro basal del brote (crecimiento primavera); R: rendimiento por planta (kg planta^{-1}); Ct: circunferencia del tronco (cm); VC: volumen de copa ($\text{m}^3 \text{pl}^{-1}$); SC: superficie de copa ($\text{m}^2 \text{pl}^{-1}$); Ef product: eficiencia productiva (kg m^{-3}). 70

Figura 15. Crecimiento de primavera en el SOB. Se observan los nudos y diámetro basal por brote en función de la longitud de los mismos. 73

Figura 16. Estimación de la superficie y del volumen de la copa por olivo a partir del perímetro del tronco..... 73

Figura 17. Predicción del rendimiento a partir del perímetro de tronco, Volumen de copa y Superficie de copa..... 75

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación geográfica de los sitios de estudio (Google Earth).....	20
Tabla 2. Características generales del suelo (Merodo y Mosna, 2016).	21
Tabla 3. Características generales del suelo (Bambozi y Corribolo, 2006).....	22
Tabla 4. Características generales del suelo (Aguirre et al., 2011).	23
Tabla 5. Estadios fenológicos del cultivo del olivo según la escala BBCH descriptos por Saénz-Cortés <i>et al.</i> (2002) y mejorada por Rapoport y Moreno-Alías (2017). Se detallan los estadios estudiados en esta tesis.....	29
Tabla 6. Valores medios de temperatura, máximos y mínimos absolutos, desviación estándar y percentiles 5 y 95 de la media para las temperaturas máximas diarias (°C) estacionales. Período 2005-2017 (Estaciones meteorológicas Maltería Pampa en Puan, INTA Coronel Dorrego y criadero ACA en Cabildo).	35
Tabla 7. Valores medios de temperatura, máximos y mínimos absolutos, desviación estándar y percentiles 5 y 95 de la media para las temperaturas mínimas diarias (°C) estacionales. Período 2005-2017 (Estaciones meteorológicas Maltería Pampa en Puan, INTA Coronel Dorrego y criadero ACA en Cabildo).	36
Tabla 8. Coeficiente de correlación de Pearson entre las temperaturas promedio máximas y mínimas para cada estación del año. Periodo 2005-2017.....	37
Tabla 9. Frecuencia mensual y anual de heladas en Puan.	39
Tabla 10. Frecuencia mensual y anual de heladas en Coronel Dorrego.	39
Tabla 11. Frecuencia mensual y anual de heladas en Cabildo.	40
Tabla 12. Riesgo de helada en Puan, Dorrego y Cabildo.....	42
Tabla 13. Fecha de la primer y última helada en Puan. Años 2005-2017.....	42
Tabla 14. Fecha de la primer y última helada en Coronel Dorrego. Años 2005-2017..	43
Tabla 15. Fecha de la primer y última helada en Cabildo. Años 2005-2017.....	43
Tabla 16. Temperaturas mínimas absolutas (°C) para los sitios de estudio: Puan, Coronel Dorrego y Cabildo. Periodo 2005-2017.....	45
Tabla 17. Período de vernalización. Número de días con temperaturas mínimas promedio diarias ($0^{\circ}\text{C} < T < 12,5^{\circ}\text{C}$) y máximas promedio diarias ($12,5^{\circ}\text{C} < T < 21,1^{\circ}\text{C}$) en los tres sitios de estudio. Periodo 2005-2017.....	47

Tabla 18. Unidades de calor (grados-día base 12,5°C) acumuladas en los períodos brotación-floración y floración-cuaje para la cv. Arbequina en Puan, Cnel. Dorrego y Cabildo.	49
Tabla 19. Temperaturas máximas $\geq 37,8^{\circ}\text{C}$ en el período 2005-2017.....	51
Tabla 20. Precipitaciones en las estaciones de otoño, invierno, primavera y verano para cada sitio. Años 2014, 2015, 2016 y 2017.	52
Tabla 21. Precipitaciones en floración durante el período 2005-2017.....	53
Tabla 22. Temperaturas medias para los meses de septiembre, octubre y noviembre.....	54
Tabla 23. Número de días con temperaturas $\geq 30^{\circ}\text{C}$ durante el periodo de floración..	55
Tabla 24. Comienzo (día juliano) y duración (días) de las etapas de prefloración (PRE) y floración (FLO) para cada año (media anual entre sitios \pm desvío estándar)..	61
Tabla 25. Comienzo (día juliano) y duración (días) de las etapas de prefloración (PRE) y floración (FLO) para cada sitio (media 2014-2017 \pm desvío estándar).....	61
Tabla 26. Resultados del test de correlación de Pearson entre las variables fenológicas y las variables meteorológicas.	62
Tabla 27. Crecimiento de primavera y comparación del volumen de copa y rendimiento en olivares de 9, 7 y 5 años de edad. Ciclo 2015-2016.	64
Tabla 28. Análisis de la covarianza del Rendimiento (R) utilizando como variable predictora a VC.....	65
Tabla 29. Correlaciones de Pearson entre variables de crecimiento.....	68
Tabla 30. Crecimiento de primavera en brotes del año. Variables: longitud (Lb), número de nudos (Nb) y diámetro basal (Db) del brote.....	72
Tabla 31. Crecimiento de verano-otoño en brotes del año. Variables: longitud (Lb), número de nudos (Nb) y diámetro basal (Db) del brote.....	72
Tabla 32. Coeficientes de correlación entre las condiciones climáticas y el rendimiento y crecimiento primaveral de longitud, nudos y diámetro basal de los brotes.	76

1. Introducción

1.1. Contexto de la tesis

El cultivo del olivo (*Olea europaea* L.) ocupa una importante superficie en Argentina, siendo el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (SOB) una zona productora y con grandes perspectivas de expansión. La olivicultura en esta región es una actividad que no ha detenido su crecimiento desde fines de la década del 90. Desde entonces se han sumado los partidos de Villarino, Monte Hermoso, Puan, Coronel Rosales, Bahía Blanca y Patagones.

El SOB presenta precipitaciones erráticas y una marcada deficiencia hídrica durante los meses de verano. A su vez hacia el extremo S-SE y en coincidencia con el dominio marino, los suelos están afectados por un régimen de humedad arídico, con alta concentración de sales en el agua freática y en los materiales parentales determinantes de sequía fisiológica (Amiotti *et al.*, 2010). A pesar de esto, el olivo es una alternativa de las actividades tradicionales en la región.

Esta tesis se centra en el estudio de algunas variables climáticas y su relación con la fenología de la cv. Arbequina en el SOB. Contar con esta información es relevante para la toma de decisiones de los productores e inversionistas en cuanto a conocer el crecimiento de esta variedad en relación al marco de plantación, secuencia de floración, resistencia a heladas, época de cosecha (escalonada o simultánea), tratamientos fitosanitarios, las podas, la aplicación de fertilizantes, etc.

1.2. El Olivo

1.2.1. Historia del cultivo del olivo

El olivo es una de las especies más antiguas utilizadas por el hombre. Se originó en Asia Menor en el 4000 a.C. (Rapoport y Moreno-Alías 2017; Kaniewski *et al.*, 2012; COI, 2019), más precisamente en entorno de Siria y Palestina (Viñuelas, 2007; Marcos, 2010). Otros autores afirman que las evidencias arqueológicas más antiguas son endocarpos que fueron hallados al

norte del mar Muerto alrededor de 3700 y 3500 años a.C. (Zohary y Spiegel-Roy, 1975). Desde el siglo VI a.C. se propagó a toda la Cuenca del Mediterráneo (**Figura 1**) como consecuencia de la extensión de la cultura desde oriente hacia occidente (Lucena *et al.*, 2017).

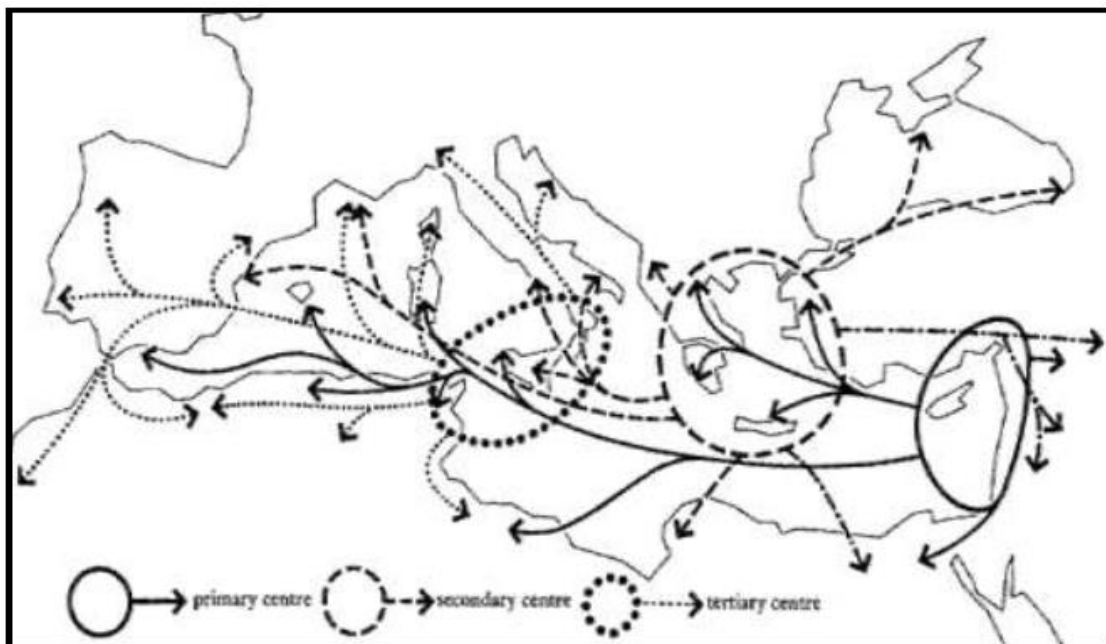


Figura 1. Evolución geográfica del olivo, *Olea europaea* L. (Oteros, 2014).

1.2.2. El olivo en el mundo

Los primeros olivicultores habrían seleccionado, por sus características tales como producción, tamaño del fruto, contenido de aceite y adaptación al medio, individuos provenientes del acebuche (olivo silvestre). Mediante la propagación vegetativa, capaz de mantener las características de los individuos inicialmente seleccionados, se establecieron las primeras variedades (Mas, 2013).

A nivel mundial, las plantaciones de olivo se sitúan en ambos hemisferios entre las latitudes 30° y 45° (**Figura 2**), ocupando condiciones muy diferentes, desde zonas desérticas a climas más húmedos. Proviene de un clima mediterráneo caracterizado por presentar una estación fría y húmeda, en la que el cultivo detiene el crecimiento y una estación cálida y seca, momento en que se produce la fructificación. En el invierno se produce la acumulación de frío indispensable para que el olivo salga de la dormancia y alcance una floración

uniforme (Tapia *et al.*, 2007). De las 10,8 millones de hectáreas de cultivo de olivos en el mundo (FAO, 2017), el 97,9% se encuentran en los países de la cuenca mediterránea, el 1,3% en el continente americano, un 0,4% en Oceanía y un 0,4% en Asia (Fernández-Escobar *et al.*, 2012; Kaniewski *et al.*, 2012; Lucena *et al.*, 2017).

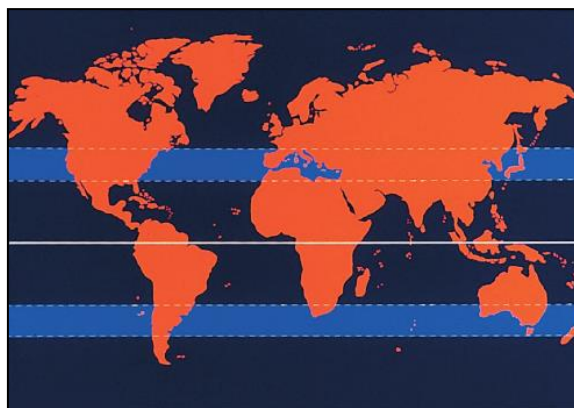


Figura 2. Latitud donde se cultiva el olivo (Lucena et al., 2017).

Los países con mayor superficie destinada al olivo son España (2515800 ha), Túnez (1588620 ha) e Italia (1156784 ha) (**Figura 3**) (Lucena, *et al.*, 2017). El 90% de la producción mundial es destinada a la obtención de aceite y el 10% restante como aceitunas de mesa. En los últimos diez años la mayor producción se registró en 2013 con 22,0 millones de toneladas (t) de olivas, mientras que la producción mundial en 2018 fue de 21,1 millones de t de aceitunas (FAO, 2020). De acuerdo a los datos suministrados por el Consejo Oleícola Internacional (COI, 2019), en la campaña 2017/2018 se registró la mayor producción de aceite, con 3196000 t.

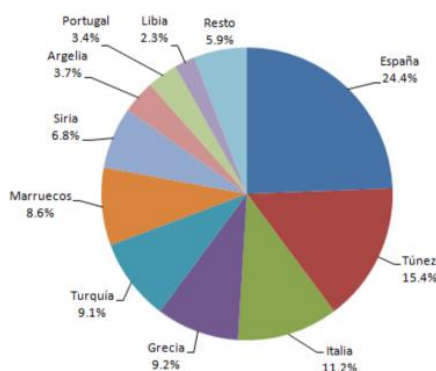


Figura 3. Superficie de olivar en el mundo expresado como porcentaje. Principales países productores (adaptado por González Zafra, 2017).

1.2.3. El olivo en Argentina

Este cultivo fue introducido en el continente americano alrededor del siglo XVI como consecuencia de la llegada de los españoles a América. A partir de la inmigración en el siglo XIX tuvo lugar un fuerte aumento en la superficie destinada a este cultivo en Argentina (Gomez del Campo *et al.*, 2010).

En la década de 1960 Argentina sumaba 50000 hectáreas implantadas (Mas, 2013). A partir de la década del '70 comenzó una campaña de desprestigio del aceite de oliva, promovido por las grandes multinacionales en favor de los aceites de girasol y maíz. (Gómez del Campo *et. al.*, 2010). Como consecuencia de ello se abandonaron grandes plantaciones de olivos y la cantidad de hectáreas dedicadas a este cultivo fue disminuyendo.

En la década del '90 la superficie implantada con olivos mostró un continuo crecimiento debido al aumento de la rentabilidad de la producción oleícola, ayudado por un aumento de precio del aceite y también las campañas de información sobre los beneficios del consumo de aceite de oliva para la salud humana. Las medidas de apoyo adoptadas por el gobierno argentino, destacando particularmente las Leyes de Diferimientos Impositivos para emprendimientos industriales, agrícolas, ganaderos y turísticos, junto con la Ley de Convertibilidad, hicieron que se comenzara a cultivar olivos en nuevas regiones y desde entonces la industria no ha parado de crecer.

La Argentina es uno de los principales países productores olivícolas del mundo fuera de la cuenca del mediterráneo. El 71% de las hectáreas implantadas en el país se concentran entre las provincias de Catamarca, La Rioja, San Juan y Mendoza (Searles *et al.*, 2011). Sin embargo, en el SOB (**Figura 4**) se presentan las condiciones edáficas y climáticas aptas para el normal desarrollo de esta especie (Rossetti, 2016). La producción olivícola por provincia en Argentina es: La Rioja (26168,9 ha - 33,6%), Mendoza (15984,6 - 20,5%), Catamarca (15484,4 ha - 19,9%), San Juan (13211,6 ha - 17,0%), Córdoba (4463,0 ha - 5,7%) y Buenos Aires (2500 ha - 1,9%) y el restante 1,4% corresponde a Salta, Neuquén, Río Negro, San Luis, Santiago del Estero y Chubut (CNA, 2018).



Figura 4. Izquierda: Mapa de la República Argentina y en verde la provincia de Buenos Aires. Derecha: Mapa de la provincia de Buenos Aires y en verde el sudoeste bonaerense.

1.2.4. El olivo en el sudoeste bonaerense

El sudoeste bonaerense (SOB) comprende subáreas climáticas áridas, semiáridas y subhúmeda-seca, tradicionalmente dedicada a la agricultura y ganadería cuyas características son ciclos históricos de baja productividad.

La olivicultura en el SOB se presenta como una alternativa de producción más estable en esta región con gran erraticidad climática. Comenzó su desarrollo entre 1945 y 1950, donde la mayoría de las plantaciones fueron realizadas en el partido de Coronel Dorrego (Picardi y Obiol, 2011).

La actividad olivícola del SOB se viene expandiendo con gran dinamismo, convirtiéndose en una atractiva alternativa productiva para una zona agropecuaria marginal. Esta región, además, posee características climáticas (amplitud térmica y proximidad al mar) que favorecen la obtención de aceites de oliva de excelente calidad y que cumple con los requisitos internacionales del COI (Picardi *et al.*, 2015). Actualmente la superficie implantada con olivos en el SOB es de 2500 ha (Gómez del Campo *et al.*, 2010).

1.3. Características de la especie

El olivo (*Olea europaea* L.) es un árbol perennifolio de unos 4 a 8 metros de altura, perteneciente a la familia *Oleaceae* dentro del orden *Lamiales*. Esta familia comprende 29 géneros, distribuidos en las regiones tropicales y templadas (Rapoport y Moreno-Alías, 2017).

Es una planta muy longeva. En Turquía existen olivos de 1300 años de antigüedad, mientras que en el Monte de los Olivos en Jerusalén suponen que hay ejemplares del período de Cristo (Janick, 2007).

Dentro del género *Olea* existen 33 especies donde se incluyen los olivos cultivados y también acebuches (olivos silvestres) (Pio *et al.*, 2005; Rapoport y Moreno Alías, 2017), siendo *O. europaea* la única especie que posee fruto comestible (Enilton *et al.*, 2015). Las recientes clasificaciones taxonómicas separan sólo a nivel de variedades los olivos silvestres y cultivados. Los primeros pertenecen a *Olea europaea* L. subesp. *europaea* var. *sylvestris*, mientras que el olivo cultivado pertenece a *Olea europaea* L. subesp. *europaea* var. *europaea* (Rojo Úbeda, 2014).

1.4. Fenología del olivo

Fournier y Charpantier (1978) definieron la fenología como el estudio de los fenómenos biológicos acomodados a cierto ritmo periódico como la brotación, la maduración de los frutos y otros. Tales factores pueden ser endógenos como las características fisiológicas de la especie o de tipo exógeno como la luz y la temperatura, ligados fundamentalmente al clima y a los ciclos estacionales. Quiroga (2014) menciona que el comportamiento fenológico del olivo está influenciado principalmente por el clima, y sólo en parte por la variedad u otros aspectos. Los factores del clima que más influyen en el ciclo fenológico que cumple anualmente el olivo son la temperatura, la lluvia y la humedad (Mormeneo *et al.*, 2012).

La fenología se define como el seguimiento de los distintos estados que transcurren en una planta a lo largo de su ciclo mediante la observación de sus elementos externos como son yemas, flores y frutos (Pascale y Damarío,

2004). Se trata de una disciplina descriptiva y de observación, que requiere método y precisión en el trabajo de campo (Riaza Luján, 2012). El estudio de la fenología en cualquier planta tiene especial interés por su relación con el clima en general y el microclima en particular en el que se desarrolla la planta, actuando en este caso como un indicador biológico del mismo (Oteros, 2014).

El crecimiento de los brotes y la fructificación del olivo dependen de los procesos secuenciales y periódicos que acontecen desde la brotación de las yemas hasta el cese del crecimiento de los brotes o hasta la maduración de los frutos, según se trate del ciclo vegetativo o reproductor, respectivamente. La época en que suceden estos procesos en relación con las condiciones climáticas, en particular con el curso de la temperatura, constituyen el objetivo de la fenología del olivo (Rallo y Cuevas, 2017).

A continuación, se observan los principales estadios de la etapa reproductiva en la escala BBCH (Sanz-Cortés, *et al.*, 2002) (**Figura 5**), una de las escalas más utilizadas y difundidas para describir los estados fenológicos del ciclo vegetativo y reproductivo del olivo (Lopes *et al.*, 2019).

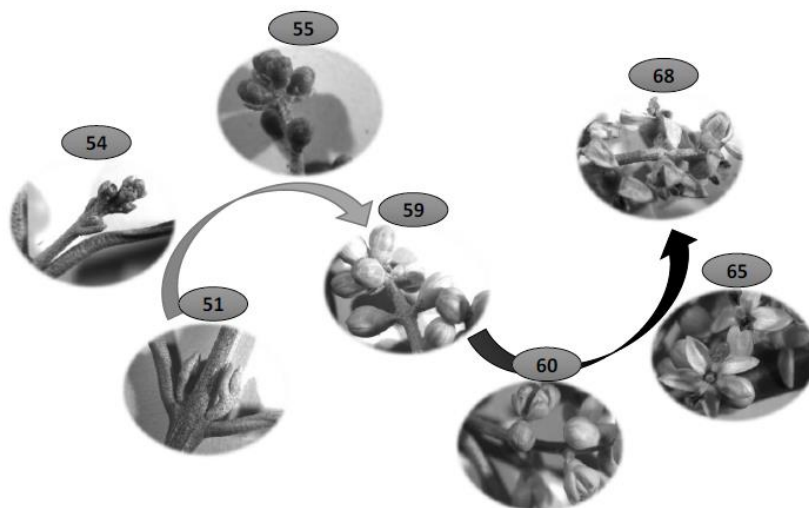


Figura 5. Escala de BBCH floración del olivo, extraído de Rojo Úbeda (2014). 51 brotación, las yemas florales comienzan a hincharse, 54 desarrollo del racimo floral, 55 pétalos apenas visibles, 59 pétalos blancos, 60 comienzo de floración, 65 plena floración, 68 caída de pétalos-fin de floración.

1.5. Ciclo reproductivo del olivo

1.5.1. Floración

El período de floración es uno de los procesos más importantes en el desarrollo fenológico del olivo, ya que está relacionado directamente con la producción final al momento de cosecha (Aguilera y Ruiz, 2009). La floración y fructificación del olivo ocurre en las inflorescencias desarrolladas en las axilas de hojas del ramo formado el año anterior (**Figura 6**) (Rojo Úbeda, 2014), Según estudios previos, en “Arbequina” tiene lugar principalmente a mediados de noviembre en la región del SOB, adelantándose cuando aumenta la temperatura, sobre todo en agosto y septiembre (Elisei y Aguirre, 2011; Almorox *et al.*, 2015).

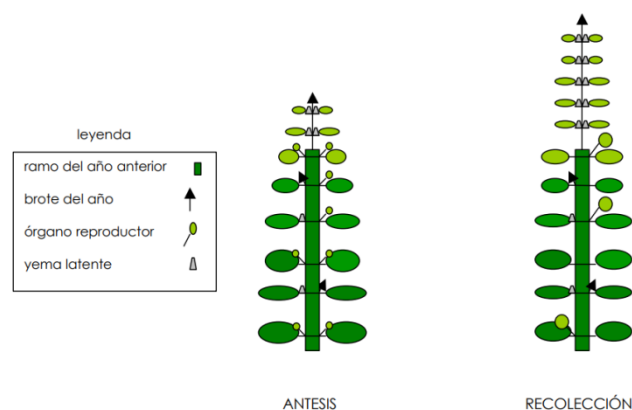


Figura 6. Esquema de la evolución estacional del árbol de olivo. Extraído de Ramírez (2001).

El proceso por el que las yemas experimentan cambios fisiológicos que conducen a formación de yemas de flor se llama inducción floral (Rallo, 1994a). Los procesos que conducen a la fructificación requieren dos estaciones consecutivas (**Figura 7**). En la primera tiene lugar la formación de las yemas, su destino vegetativo o floral al año siguiente y el establecimiento del reposo en las mismas. Tras éste, en la segunda, tienen lugar el desarrollo de las inflorescencias y de las flores, la floración y el crecimiento y desarrollo de los frutos que concluye con su maduración. La inducción floral se produce durante el proceso de crecimiento y desarrollo de las yemas, el cual se completa en cuatro semanas y es previa a cualquier cambio morfológico visible, es decir, la morfología de la yema no se modifica hasta su brotación en la primavera

siguiente. Las yemas que formarán inflorescencias durante la siguiente campaña pueden desarrollarse tanto en primavera como en otoño, y el destino, reproductor o vegetativo, de cada yema, debe producirse antes del establecimiento de la latencia, aunque no está totalmente claro. Diferentes resultados indican que la inducción floral está relacionada con el crecimiento inicial de la semilla y el fruto antes del endurecimiento del hueso (Rallo y Cuevas, 2017). La presencia de frutos en el árbol representa un factor inhibidor de la inducción floral debido a las giberelinas sintetizadas en las semillas de los mismos (Rallo, 1994b; Ramos, *et al.*, 1997, Fernández-Escobar *et al.*, 2017). La distribución de asimilados entre frutos y brotes origina fenómenos de competencia y de inhibición que conducen a que en años de fuerte carga el crecimiento de brotes sea escaso, disminuyendo potenciales yemas de flor (Rallo y Cuevas, 2017).

Tanto las fechas de inicio y fin como la duración de la floración dependen de diversos factores, como la localización geográfica del olivar o de la variedad estudiada (Armendáriz *et al.*, 2009; Aguilera y Ruiz, 2009). Oteros (2014) definió a la temperatura y la disponibilidad de agua, tanto en invierno como en primavera, como las variables climáticas que más influyen en la floración del olivo. Según Osborne *et al.* (2000) y Galán *et al.* (2005) la temperatura es la variable de mayor importancia a lo largo del desarrollo de las yemas hasta la floración. De esta manera, se ha observado un adelanto de la floración cuando se produce un incremento de las temperaturas antes del desarrollo floral (Orlandi *et al.*, 2010).

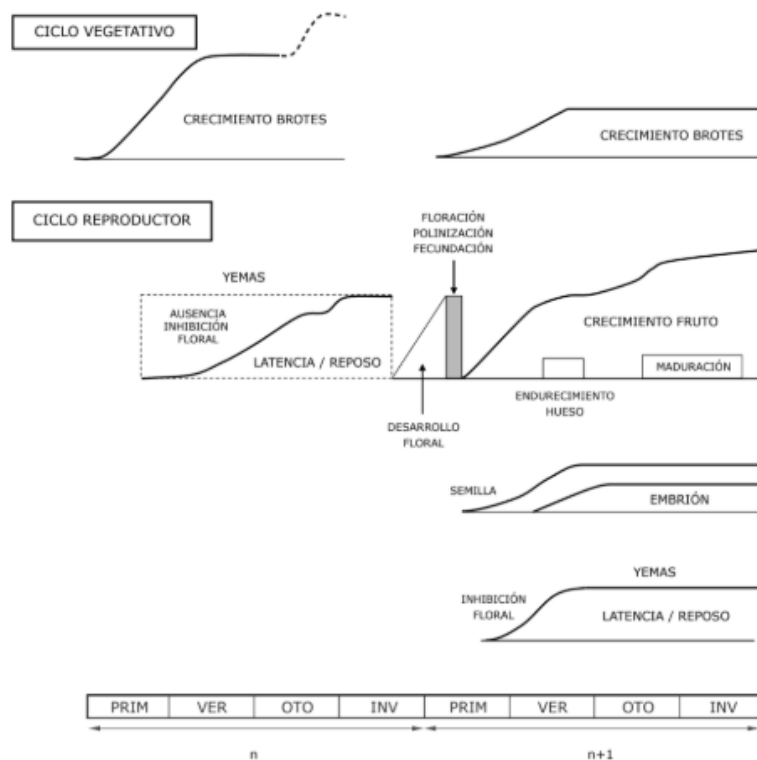


Figura 7. Ciclo vegetativo anual y reproductor bienal del olivo propuesto por Rallo y Cuevas (2017).

1.5.2. Reposo de las yemas

Una vez que las yemas completan su desarrollo entran en estado de reposo o latencia. La misma se define como la ausencia de crecimiento visible en cualquier estructura de la planta que contiene un meristema (Lang, 1987). Lang (1987) distinguió tres tipos de latencia: I) *paralatencia*, debida a la presencia de otras estructuras (distinta de la estructura afectada) que inhiben el crecimiento de la yema; II) *ecolatencia* (o quiescencia), donde el crecimiento se ve afectado por factores ambientales desfavorables que impiden el crecimiento visible en el meristema; III) *endolatencia* (o reposo), la cual es endógena y consiste en la incapacidad de la propia estructura (yema) para crecer aunque las condiciones ambientales sean favorables al crecimiento. Durante el período de reposo se requiere la acumulación de una determinada cantidad de frío para poder alcanzar el periodo “quiescente”, durante el cual se precisa la acumulación de calor por parte de la planta para que se produzca el desarrollo de las yemas (De la Rosa et al., 2000; Ramos et al., 1997). Se denomina necesidades de frío a la cantidad de frío necesario para que las yemas de una

variedad superen la endolencia y broten en condiciones favorables (Ezpeleta, 1994).

1.6. Requerimientos climáticos del olivo

Como ya se mencionó, el hábitat del olivo se concentra entre las latitudes 30° a 45°, tanto por hemisferio norte como sur, donde predominan regiones climáticas de tipo mediterráneo, caracterizadas por veranos secos y calurosos (Lucena *et al.*, 2017). Sin embargo, también se cultiva en otras áreas distintas a las descritas (Denney *et al.*, 1985). La adaptabilidad de las plantas a una determinada zona estará influenciada por diferentes factores climáticos. El cultivo del olivo tiene la particularidad que resiste la sequía (Hartmann y Opitz, 1980), se adapta a suelos con pH entre 5,5 y 8,5 y no responde al fotoperíodo. Su distribución viene limitada principalmente por las temperaturas invernales, ya que latitudes inferiores a 30° no aseguran un número suficiente de horas frío para provocar la salida de la latencia, mientras que latitudes mayores a 45°, pueden ser condiciones demasiado extremas dificultando la supervivencia del cultivo (Bongi y Palliotti, 1994). Las mejores zonas de producción de olivos se corresponden con aquellas que presentan inviernos suaves y veranos prolongados, cálidos y secos (Steward, 1971; Fitter y Hay, 1987).

El olivo requiere tanto de un estado de dormición como de termoinducción (temperaturas cálidas) para desarrollar flores y frutos (Hartmann, 1953). La exposición al frío moderado durante el reposo invernal es un requisito fundamental para que las yemas broten y para que se produzca la floración (Hartmann and Porlingis, 1957). Según Rallo *et al.* (1994b), temperaturas entre 2,5°C y 15°C acumulan en olivo cantidades de frío variables, con un máximo efecto para aquellas en torno a 12,5°C; temperaturas en un intervalo entre 15 y 16°C dejan de acumular frío y temperaturas superiores anulan parte del frío acumulado (Dos Santos Ramos, 2000; De Melo-Abreu *et al.*, 2004). Hartmann estudió el rol de la temperatura, incluido el frío, en la floración del olivo (Hartmann, 1953; Hartmann y Porlingis, 1958; Hackett y Hartmann, 1967). Basados en estos trabajos, Denney y McEachern (1983) propusieron un régimen de temperatura óptima para la floración del olivo de 2 a 4°C (temperaturas mínimas) y 15,5 a 19°C (temperaturas máximas). Más tarde

Denney *et al.* (1985) desarrollaron un modelo para cuantificar las horas frío, el cual consiste en registrar la cantidad de días con temperaturas máximas promedio diarias entre 12,5°C y 21,1°C, y mínimas promedio diarias entre 0°C y 12,5°C.

Existen evidencias que la aclimatación al congelamiento tiene una relación directa con la detención del crecimiento (dormancia) y que el estado hídrico de la planta y el suelo tienen influencia sobre el proceso de endurecimiento de los tejidos para soportar las heladas (Vita Serman, 2015). En zonas de clima mediterráneo las temperaturas caen de manera paulatina después del verano, lo que provoca la aclimatación del olivo al frío antes de que lleguen las heladas más severas. Este proceso está asociado al reposo vegetativo, esto es, el cese de crecimiento vegetativo en ramos y hojas. Si bien la sensibilidad al frío en el olivo depende del cultivar, en general, temperaturas inferiores a -7°C pueden generar daños que afectan la productividad de los árboles, mientras que a temperaturas por debajo de -12°C los daños pueden ser lo suficientemente severos como para comprometer la supervivencia de la planta (Villalobos y López-Bernal, 2017). Según Vita Serman (2015), existen dos mecanismos para el proceso de aclimatación por frío del olivo, evitando que el hielo se forme o tolerando los daños que el hielo puede producir en los tejidos. Por ello, es importante que exista este proceso antes de que lleguen las temperaturas congelantes. Las heladas severas también afectan a los frutos originando la aparición de arrugas en la epidermis, tonalidades marrones en los pedúnculos, que se marchitan y una disminución en la calidad de los aceites (Gómez del Campo *et al.*, 2004). La expansión de la olivicultura a nuevas regiones, como el SOB, obliga a un mayor conocimiento de las temperaturas del lugar y de cómo se adapta este cultivo.

Luego del aumento de temperatura en primavera se reanuda el crecimiento vegetativo y se pierde la aclimatación. A partir de la brotación, las altas temperaturas aceleran el desarrollo hasta la floración. En este sentido, heladas apenas por debajo de 0°C pueden dañar los brotes y las estructuras reproductivas en desarrollo (Villalobos y López-Bernal, 2017). El árbol requiere tiempo cálido desde la primavera hasta el otoño y es capaz de sobrevivir a

condiciones extremas de calor y sequía durante el verano (Villalobos y López-Bernal, 2017).

Las altas temperaturas durante el período de floración son perjudiciales puesto que pueden conducir a un elevado grado de aborto ovárico (Rallo, 1994a), mala fecundación (Koubouris *et al.*, 2009) y también hace que se incremente la incompatibilidad del polen (Tous y Ferguson 1996). En muchas ocasiones el tubo polínico se bloquea entre el estigma y el saco embrionario (Bradley *et al.*, 1961). Según diversos autores (Gómez del Campo y Rapoport, 2008; Tapia *et al.*, 2009), el crecimiento del tubo polínico en el ovario se inhibe cuando la temperatura durante la floración supera los 30°C. Bradley *et al.* (1961) y Fernández-Excoabar *et al.* (1983) señalan como temperaturas máximas umbrales en esta fase de 27 a 30°C. Las bajas temperaturas también pueden causar daños, siendo la temperatura ideal de 20°C con una humedad relativa ambiental de 60-80% (Tapia *et al.*, 2003). Diversos autores han destacado la importancia de conocer la probabilidad de ocurrencia de una temperatura de 37,8°C en floración. Por ejemplo, Ayerza y Sibbett (2001) no observaron temperaturas iguales o superiores a 37,8°C durante la floración en áreas mediterráneas (Córdoba, Jaén, Sevilla), Perú y México, pero sí en distintas regiones de Argentina. Ellos afirman que estas temperaturas son un gran inconveniente que atraviesa el chaco árido en Argentina. Cuando estas temperaturas ocurren en floración, se incrementa el riesgo de pérdida de rendimiento en el olivar. En otro estudio, 37,8°C en floración redujo el tamaño de los frutos y la producción (Griggs *et al.*, 1975).

La implicancia práctica del conocimiento de los requerimientos bioclimáticos del olivo reside en poder predecir con determinada precisión la fecha de floración de un monte de olivos para mejorar su adaptabilidad, el control de posibles riesgos de daños por heladas, el manejo fitosanitario, estudios de concentración de polen atmosférico, etc. (Mormeneo, 2008).

1.7. Descripción de la cv. Arbequina

Su nombre proviene de Arbeca, pueblo de la provincia de Lérida, España. Está muy extendida en las Comunidades Autónomas de Cataluña (Viñuelas,

2007). Es considerada dentro de la categoría de variedades principales (los autores las clasifican en 4 categorías: principales, secundarias, difundidas y locales) por presentar una importante superficie cultivada en el país mencionado y ser dominante en, al menos, una comarca. Abarca una superficie de 115000 hectáreas, la cuarta en orden decreciente después de las cv. Picual, Cornicabra y Hojiblanca y se encuentra en las provincias de Lérida y Tarragona y la comunidad de Andalucía.

Es un árbol de bajo vigor, porte abierto y forma globosa, ramas abiertas y péndulas, más acentuada por la carga en los primeros años. Es muy precoz para entrar en producción y con cierta tolerancia a heladas. El fruto, tiene un peso medio de 1,9 g, es simétrico y ligeramente alargado y se presenta generalmente de a 2 o 3 por inflorescencia. Según Barranco (2017) tiene una relación pulpa/carozo de 4,6, rendimiento graso 20,5%, 66,2% de ácido oleico. Tiene ápice redondeado y base truncada y escasas lenticelas pequeñas. Es resistente al frío y susceptible a clorosis férrica en terrenos muy calizos. La recolección mecanizada por vibración se ve dificultada por el pequeño tamaño de fruto.

Es la principal variedad aceitera en Argentina. La recolección de esta variedad comienza en abril-mayo dependiendo de la zona (Gómez del Campo *et al.*, 2010). El aceite presenta baja estabilidad a la oxidación, pero posee características organolépticas que lo hacen aceptado en mercados no habituales. En la provincia de Catamarca la mayoría de las variedades son aceiteras, siendo Arbequina la principal, en cambio, en La Rioja el 60% son variedades de mesa, predominando entre las aceiteras "Arbequina". En San Juan el 70% corresponde a variedades aceiteras y Arbequina es la principal. En el SOB esta variedad ocupa el 59% del área cultivada (Lupín *et al.*, 2017).

1.8. Variables de crecimiento

El olivo (*Olea europaea* L.) puede llegar a producir frutos durante cientos de años. Ciertos caracteres como la densidad de la copa, la longitud y diámetro de los entrenudos varían según el cultivar. Al ser una planta polimórfica tiene una fase juvenil y una fase adulta, las que se diferencian por la longitud de los

entrenudos. Las hojas juveniles son de menor tamaño y los ramos suelen tener entrenudos más cortos (Lucena *et al.*, 2017).

Entre los signos más evidentes de crecimiento vegetativo se encuentra el número de hojas y la longitud de los entrenudos (Lavee, 1996; Barranco, 2017). Según Rallo *et al.* (1994) el crecimiento vegetativo se produce en dos períodos bien definidos: uno a principios de la primavera y otro a finales de verano y principios de otoño. El primer período de crecimiento se inicia mucho antes que comience la fase I del fruto, y es simultáneo con el proceso de crecimiento de la inflorescencia y floración-cuaje. El brote crecerá rápido en primavera, sufrirá una parada en verano y tendrá un crecimiento algo menor en otoño si es que existen aportes hídricos de algún tipo (Ferreyra *et al.*, 2001). Barranco (2017) afirma que existe una reducción en el crecimiento vegetativo posterior a primavera y que está ligado a las altas temperaturas (mayores a 30-35°C). Éstas conducen progresivamente al cierre de estomas, lo que impide el intercambio gaseoso y la fotosíntesis, e indirectamente, reduce o anula el crecimiento de brotes. A su vez, en climas fríos este crecimiento puede no existir y en los más suaves puede incluso no producirse una parada de verano, aunque estará influenciado, como se mencionó, por el agua disponible para el olivo. Sin embargo, este crecimiento está muy influenciado por la carga frutal, ya que en años de descarga los árboles pueden mostrar un flujo continuo pero irregular de crecimiento vegetativo desde marzo hasta fines de octubre (septiembre a fines de abril en el hemisferio sur) (Rallo, 1994). Según Rallo y Suárez (1989), el crecimiento vegetativo es menor en años “on” que en los años “off”. El cuajado de los frutos marca una declinación en el crecimiento vegetativo y el mismo depende de la producción que presente el árbol. La simultaneidad de los procesos de desarrollo vegetativo y reproductivo a inicios de la primavera, significan una fuerte competencia por asimilados y nutrientes minerales entre ambos tipos de centros de crecimiento, y favorece la manifestación de una de las características productivas más importantes del olivo: el añerismo o vecería, la que consiste básicamente en la alternancia de años de alta producción (“on”) con años de baja producción (“off”). Esta alternancia es, en parte, debida a una inhibición de la inducción floral (Lavee y Avidan, 1994). Por otra parte, el fenómeno de vecería es especialmente

pronunciado en los olivos de más de 10 años de edad (Kour *et al.*, 2018). Diversos autores señalan que, cuando las plantaciones son sometidas de manera regular a la poda, se obtiene una producción sin oscilaciones año tras año. Loussert (1980) y Callejas (2001) afirman que con la poda es posible regular la carga frutal en el olivo. Asimismo, Ramírez (2001) afirmó que la sincronía de producción entre plantas en una parcela de olivos, va aumentando con el tiempo debido al aumento de producción de los árboles conforme éstos aumentan de tamaño.

Los frutos se desarrollan en los brotes de un año de edad del olivo y el largo de los mismos va a determinar el potencial de fructificación de cada brote en la siguiente estación (Muñoz, 2008). A su vez, sobre las axilas de los nudos se encuentran las futuras yemas florales. Por lo tanto, la formación de brotes, su tamaño y número de nudos va a condicionar la producción del año siguiente (Eloy, 2011). La elongación de los brotes es diferente según exista o no presencia de frutos, donde se acumula principalmente materia seca (Cimato *et al.*, 1989). Este aspecto es muy importante en la vida productiva y por lo tanto comercial del olivo y en su longevidad (Castillo-Llanque y Rapoport, 2011). Al respecto, Soria *et al.* (2016) afirman que al crecer los árboles y aumentar su edad, cambian la química y fisiología de las diversas células diferenciadas en su tronco principal, sin importar su especie o hábitat. Estos cambios son irregulares y dependen de factores genéticos, condiciones ambientales de temperaturas y precipitaciones, competencia entre individuos por los nutrientes del suelo y de la presencia/ausencia de plagas y enfermedades.

El volumen de copa del árbol permite evaluar el crecimiento vegetativo del mismo. Para ello se usan diferentes fórmulas de volumen a partir de la medición del alto, largo y ancho de la copa. Otro parámetro considerado para analizar el desarrollo vegetativo de la planta es el perímetro de la sección del tronco tomado a 20 cm del suelo. Al igual que en otros cultivos, la productividad de un olivar depende de la intercepción de radiación y ésta, a su vez, de la superficie productiva del conjunto de árboles y, por tanto, del marco de plantación y volumen de copa (Rodríguez *et al.*, 2004). El rendimiento aumenta con el aumento del volumen de copa, hasta alcanzar un volumen crítico por encima del cual comienza a producirse interferencia lumínica. Por ende, lograr

y mantener mínimos volúmenes de copa en marcos de plantación intensivo es de vital importancia para conservar el máximo de producción el mayor tiempo posible (Bueno, 2010). Según Sánchez (1999), un mayor volumen de copa se corresponde con una mayor intercepción de luz, pero a veces esto provoca una menor fotosíntesis por el sombreado entre las hojas que produce la masa foliar. En plantas vigorosas, una gran porción de la copa no recibe luz suficiente y con el correr del tiempo estas áreas se tornan improductivas. Cuando las plantas alcanzan el volumen óptimo de copa se obtienen las máximas cosechas, siendo además éstas de buena calidad. El volumen depende de diversos factores como la textura, características físico-químicas y profundidad del suelo, la climatología de la zona, pero sobre todo de la disponibilidad de agua. Si se supera el volumen de copa óptimo que el medio es capaz de mantener, se producirán problemas como consecuencia de un mayor déficit hídrico estival. Así se observa la caída de frutos y defoliaciones que ocasionan un brusco descenso en la relación hoja-madera, así como otros efectos negativos que, a corto y mediano plazo, pueden afectar la producción y la rentabilidad de la producción (Vega *et al.*, 2008).

La expansión del olivo a nuevas zonas de cultivo y el previsible escenario de cambio climático han traído la atención sobre la fenología de los procesos de crecimiento vegetativo y reproductor, cuya modulación por factores del clima determina la adaptación del olivo y de sus variedades en las diversas áreas de estudio (Rallo y Cuevas, 2017). Las condiciones particulares de la zona del SOB hacen necesario conocer la evolución de los estados fenológicos del olivo para la región. Estas condiciones se diferencian marcadamente de las existentes en las zonas tradicionalmente olivareras argentinas (NOA) con un clima marcadamente árido y con temperaturas más elevadas. Datos recogidos escrupulosamente a lo largo de un período suficientemente largo (5-10 años), permiten extraer importantes consideraciones sobre el comportamiento de la especie estudiada.

La necesidad de optimizar al máximo los recursos destinados a la recolección de aceituna, hacen necesario el desarrollo de estimaciones de producción lo más tempranas y precisas posibles, o bien identificar variables que influyan marcadamente en el rendimiento del olivar. Consecuentemente, el

conocimiento por adelantado de la producción permitiría una mejor planificación de la comercialización del aceite (Galán *et al.*, 2005). Carrasco (2016) determinó que las temperaturas mínimas en el período en el cual se produce la ruptura de la latencia y las temperaturas máximas en el período en el cual tiene lugar el cuajado, crecimiento y endurecimiento del endocarpo del fruto, presentaban altos coeficientes de correlación con los rendimientos futuros de aceituna, obteniendo ecuaciones de regresión para la predicción de rendimiento. En Córdoba (España) desarrollaron un modelo de previsión de producción de aceituna basado en datos de polen atmosférico (Galán *et al.*, 2004). En esa misma provincia también se observó que la precipitación y la temperatura mínima de primavera y otoño son las variables más influyentes en la producción final (Galán *et al.*, 2005). Otro modelo señala que la temperatura máxima durante el período de polinización principal y las precipitaciones anteriores y posteriores a dicho período obtuvieron un buen ajuste con el rendimiento del olivar. Igualmente, los modelos predictivos deben diseñarse para cada área geográfica en concreto, debiendo corregirse y reajustándose los coeficientes a medida de que se disponga con información de más años, y complementándose con observaciones de campo, sobre todo en aquellos años en los que ocurra algún fenómeno imprevisto (González *et al.*, 1999).

1.9. Problemática planteada

La superficie implantada con olivos en el SOB sigue aumentando notablemente su participación respecto de la superficie nacional, sumado a que las condiciones edáficas y climáticas permiten la obtención de un aceite de oliva cuya calidad se distingue frente al de otras zonas productivas tradicionales del país (Picardi y Obiol, 2011). En un modelo de producción como este, en el que existe una escasa información acerca del comportamiento de la cv. Arbequina en la región, es importante comenzar con un estudio del comportamiento de la planta relacionado con las variables climáticas locales para obtener información valiosa que aporte a futuras investigaciones.

1.10. Hipótesis

- El comportamiento fenológico y las variables de crecimiento del olivo cv. Arbequina, se verán condicionados por los factores ambientales locales en el sudoeste bonaerense.

1.11. Objetivos

1.11.1 Objetivo general

El objetivo principal de esta tesis es generar información regional acerca del comportamiento del olivo cv. Arbequina en distintos sitios emplazados en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires y aportar herramientas para pronosticar con mayor precisión el rendimiento del cultivo en la región.

1.11.2. Objetivos específicos

- Realizar la caracterización climática de tres áreas de estudio: Puan, Coronel Dorrego y Cabildo.
- Analizar el riesgo climático que implica la implantación de olivos cv. "Arbequina" en la región SOB, a partir del análisis de las temperaturas extremas.
- Describir la fenología de "Arbequina" en cada una de las zonas estudiadas.
- Relacionar la temperatura y las precipitaciones con el comienzo y duración de las etapas fenológicas más relevantes del cultivo.
- Determinar las variables climáticas de mayor influencia en el rendimiento final del olivo.
- Distinguir las variables de crecimiento del olivo más relevantes que determinarán la producción.

2. Materiales y métodos

2.1. Área de estudio

Se seleccionaron tres sitios en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires entre las latitudes 37-38° S. Esta área se encuentra al sur de la Provincia Fitogeográfica (PF) Pampeana y en el Distrito del caldén dentro de la PF del Espinal (Pardiñas *et al.*, 2004).

El estudio se realizó durante 4 años consecutivos: 2014, 2015, 2016 y 2017. Los sitios de estudio fueron: Puan, Cabildo y Coronel Dorrego (en adelante, Dorrego). En este último se trabajó en dos olivares: Dorrego 1 (temporadas 2014-2015 y 2015-2016) y Dorrego 2 (temporadas 2016-2017 y 2017-2018), ubicados a una latitud y distancia al mar similar (20 y 29 km hasta el mar desde 1 y 2 respectivamente). En la **Tabla 1** se encuentra detallada la ubicación de cada uno.

Tabla 1. Ubicación geográfica de los sitios de estudio (Google Earth).

Sitio	elevación (msnm)	Coordenadas	Período de estudio
Puan	234	37°31' S, 62°46' O	2014-2017
Cabildo	154	38°34' S, 61°59' O	2015-2017
Dorrego 1	49	38°50' S, 61°06' O	2014-2015
Dorrego 2	80	38°44' S, 61°31' O	2016-2017

En cada sitio se utilizó un diseño Anidado. Se eligieron tres hileras al azar y dentro de cada una se eligieron tres plantas al azar. Los parámetros evaluados fueron: estudio de la fenología, rendimiento (kg planta^{-1}), vigor de la planta (volumen de copa en $\text{m}^3 \text{ planta}^{-1}$ y superficie de copa en $\text{m}^2 \text{ planta}^{-1}$), eficiencia productiva (kg m^{-3}) y crecimiento de los brotes.

El olivar cv. Arbequina seleccionado en Puan fue implantado en el año 2008 con un marco de plantación de 7 x 5 m (285 plantas por hectárea; pl ha^{-1}). En Cabildo la implantación de esta variedad se realizó en el año 2008 con un marco de 7 x 3,5 m (408 pl ha^{-1}). En Dorrego 1 las plantas de “Arbequina” seleccionadas para el ensayo fueron implantadas en los años 2006, 2008 y 2010, con un marco de plantación de 7 x 3,5 m (408 pl ha^{-1}), mientras que en

Dorrego 2 se implantaron en el año 2008 con un marco de plantación de 7 x 4,5 m (317 pl ha⁻¹).

El riego se realizó en función de las recomendaciones efectuadas por Orgaz *et al.* (2017), quienes brindan las herramientas necesarias para el cálculo de la evapotranspiración del cultivo (ET_c). Además, entregan valores mensuales de Kc para los meses de enero a diciembre desarrollados en un olivar intensivo adulto de la región de Córdoba, España, pero es recomendable calcular las necesidades hídricas del cultivo con valores obtenidos localmente. Las dosis de riego se determinaron por los propietarios de cada finca en función de las precipitaciones registradas, de modo que no exista un déficit de agua para las plantas.

2.2. Descripción de los sitios

2.2.1. Puan

La zona se encuentra incluida en la Provincia Fitogeográfica de la Estepa Pampeana Distrito Austral en transición hacia el oeste al Distrito Occidental.

El clima predominante es de estepa con limitantes hídricas, de régimen de temperatura térmico, que responde a un clima continental. Las lluvias están concentradas en otoño y primavera con un promedio histórico anual de precipitaciones de 721 mm (Scian, 2010), con una temperatura media anual de 15°C (Campo *et al.*, 2012). El período libre de heladas es relativamente corto debido a la influencia del sistema orográfico Sierras de la Ventana sobre el régimen térmico de la zona, siendo de 160 a 170 días (Marini, 2008). El suelo del sitio (**Tabla 2**) donde se llevó a cabo el estudio clasifica como Argiudol petrocálcico, de 58 cm de profundidad (Merodo y Mosna, 2016).

Tabla 2. Características generales del suelo (Merodo y Mosna, 2016).

Horizonte	Prof. (cm)	Textura	pH (1:2,5)	MO (%)	CIC cmol kg ⁻¹	PSI (%)
Ap	0-15	F	6,8	3,3	23,9	2,1
Bt1	15-33	Fa	7,2	2,7	26,4	2,6
Bt2	33-47	Fa	7,3	0,7	25,8	2,3
BC	47-58	FaA	7,5	0,5	26,8	2,2

F franco, a arcilloso, A arenoso.

2.2.2. Cabildo

La zona está incluida en la Provincia Fitogeográfica de la Estepa Pampeana Distrito Austral en transición a la Provincia del Espinal (Scian, 2010). En la región el clima es de transición entre semiárido y húmedo, con un régimen térmico que responde al clima continental pero atenuado por la influencia marítima.

La precipitación media anual es de 638 mm (datos brindados por el Criadero de Semillas de la Asociación de Cooperativas Argentinas de Cabildo). Las máximas precipitaciones se dan en verano, generalmente en el mes de marzo y las mínimas precipitaciones se dan en el invierno, generalmente en el mes de julio. La temperatura media anual es de 15°C. La máxima media anual es de 21°C y la mínima media anual de 8°C. El período libre de heladas es de 134 días (Mosciaro y Dimuro, 2009).

Los suelos corresponden geomorfológicamente a la porción media de la llanura subventánica occidental. El material parental de estos suelos está formado por un manto de sedimentos loésicos, principalmente de origen eólico, de edad holocena con una textura franco arenosa que suprayace a un horizonte petrocálcico. El suelo del sitio donde se llevó a cabo el estudio (**Tabla 3**) clasifica como Argiustol petrocálcico. La profundidad del perfil es de 90 cm. Tiene un régimen hídrico y de temperatura correspondiente al ústico y térmico, respectivamente (Bambozzi y Corribolo, 2006).

Tabla 3. Características generales del suelo (Bambozzi y Corribolo, 2006).

Horizonte	Prof. (cm)	Textura	pH (1:2,5)	MO (%)	CIC cmol kg ⁻¹	PSI (%)
Ap	0-8	F	6,4	3,3	17,5	6
A2	8-17	Fa	7,1	2,9	20,2	6,1
Bt1	17-33	Fa	7,4	2	22,5	5,5
Bt2	33-53	Fa	7,7	1,4	24,8	6,9
BC	53-68	Fa	7,9	0,8	25,1	6,3
C	68-80	Fa	8,1	0,7	25,9	6,9
Ck	80-90	Fa	8,3	0,5	17,2	10,5

F franco, a arcilloso.

2.2.3. Coronel Dorrego

Se encuentra dentro del Distrito Austral de la provincia Fitogeográfica Pampeana. Esta zona forma parte de la Gran Zona Mixta del Centro Sur de la provincia de Buenos Aires y presenta un clima templado lluvioso con inviernos suaves y veranos cálidos (Scian, 2010).

El clima es templado, subhúmedo a semiárido, con marcada influencia marina (Rosetti, 2016). La temperatura media anual es de 14°C (Campo *et al.*, 2009). La temperatura media del mes más caluroso (enero) es de 20,3°C y de 7°C para el mes más frío (julio). El promedio anual de precipitaciones disminuye de sentido este-sudoeste, desde los 665 mm en la zona de Faro (Dorrego 1) hasta los 550 mm en las proximidades de San Román (Dorrego 2), siendo los meses húmedos los de primavera y otoño. El período libre de heladas es de 200 días, con heladas desde el mes de mayo al mes de octubre (Cantamutto *et al.*, 2016).

Ambos suelos clasifican como Argiudol petrocálcico (Teruel y Castelli, 2007). Tiene un régimen hídrico údico y un régimen de temperatura térmico. La profundidad promedio del perfil es de 60 cm.

Tabla 4. Características generales del suelo (Aguirre et al., 2011).

Horizonte	Prof. (cm)	Textura	pH (1:2,5)	MO (%)	CIC cmol kg ⁻¹	PSI (%)
Ap	0-11	F	6,9	5,1	17,1	10,5
A2	11-23	F	7,0	2,7	19,5	10,3
Bt	23-45	Fa	7,4	1,7	24,3	8,6
BC	45-60	FaA	7,6	0,9	19,5	11,3

F franco, a arcilloso, A arenoso.

2.3. Datos climáticos

Los datos meteorológicos utilizados para esta tesis fueron provistos por la Agencia de Extensión Rural de 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 recopilaron datos diarios y horarios de cada sitio dentro del área de investigación. Los mismos fueron registrados durante el período comprendido entre el 1 de enero de 2005 y el 31 de diciembre del 2017.

Se analizaron las temperaturas medias, su desvío estándar y máximas y mínimas absolutas de las temperaturas máximas y mínimas diarias en cada estación del año y para cada sitio. Además, se analizaron los percentiles 5 (p05) y 95 (p95), los cuales definen los eventos extremos de temperatura (por debajo de p05 y por encima de p95). El mismo tiene como objetivo caracterizar las temperaturas extremas (máximas y mínimas) para la determinación de umbrales de temperatura del aire, el cual se aborda a partir del análisis de datos diarios de las temperaturas máximas y mínimas registradas en las 3 estaciones meteorológicas.

2.3.1. Balance hídrico en los sitios evaluados

En la **Figura 8** se presenta el balance hídrico para cada sitio (series 1983-2003 en Dorrego, 1980-2009 en Cabildo y 1996-2014 en Puan), donde se observa un marcado déficit de agua en los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero. Estudios realizados en la región pampeana argentina (Podestá *et al.*, 1999) señalan que en los años Niña las lluvias tienden a ser inferiores a lo normal entre octubre y diciembre. A su vez, las repercusiones más fuertes de las anomalías ocurren al final de la primavera tanto en eventos Niño como en eventos Niña en la región pampeana argentina (Bohn *et al.*, 2011).

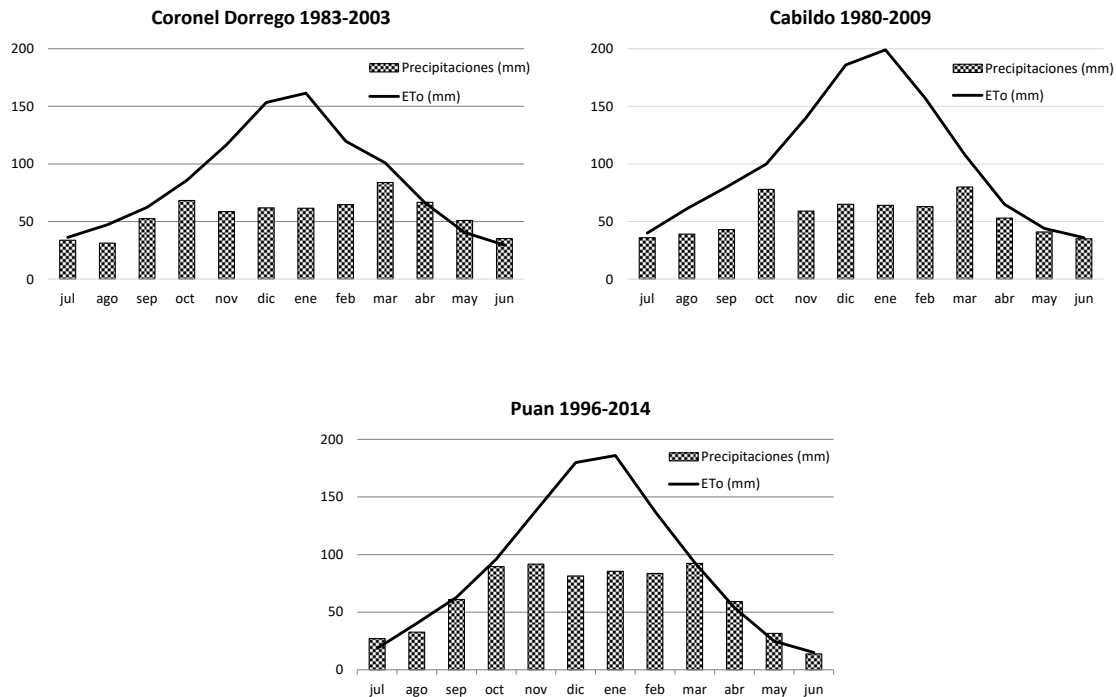


Figura 8. Balance hídrico en Coronel Dorrego, Cabildo y Puan. ETo evapotranspiración potencial.

2.3.2. Modelo térmico para evaluar el período de vernalización

El modelo térmico desarrollado por Denney *et al.* (1985) se utilizó para evaluar el período de vernalización y el mismo utiliza las temperaturas medias máximas de cada día entre 12,5 y 21,1°C y las temperaturas medias mínimas de cada día entre 0 y 12,5°C. Se contabiliza el número de días con temperaturas máximas promedio diarias ($12,5^{\circ}\text{C} < T < 21,1^{\circ}\text{C}$) y mínimas promedio diarias ($0^{\circ}\text{C} < T < 12,5^{\circ}\text{C}$). En el hemisferio sur el período de vernalización utilizando esta metodología abarca desde el 1 de mayo hasta el 30 de noviembre (Ayerza y Sibbett, 2001). Ayerza y Sibbett (2001) dividen el período de vernalización en dos grupos: el período mayor o igual a 100 días (floración normal) y el período menor a 100 días, por considerarlo un valor umbral para el normal desarrollo de la floración.

2.3.3. Unidades de calor

La acumulación térmica se expresa en grados-día o cantidad de calor que se acumula en 24 horas por sobre una temperatura umbral. La metodología

adoptada fue la descrita por Tapia *et al.* (2009). Se calcularon las sumas térmicas (grados día) considerando las temperaturas medias diarias con una temperatura base de 12,5°C (Cazanga *et al.*, 2013) para el período 2014-2016 desde brotación a floración y 2014-2017 desde la floración al cuaje. Las unidades de calor se calcularon utilizando las fechas de brotación, floración y cuaje registradas en cada sitio para cada año en el estudio de la fenología. Alcalá y Barranco (1992) y Mormeneo (2008) también afirman que la temperatura umbral más apropiada para la acumulación de calor es de 12,5°C, la cual puede ser utilizada para predecir el momento de floración.

2.3.4. Temperaturas extremas

Se analizaron los días con temperaturas iguales o superiores a 37,8°C durante el ciclo del cultivo (Hartmann y Ospitz, 1980). A su vez se cuantificaron los días con temperaturas mayores o iguales a 30°C durante el período de floración.

Además, se ha realizado una caracterización agroclimática de las heladas ocurridas en los tres sitios, analizando el número de heladas ocurridos, la fecha de la primer y última helada y la temperatura mínima absoluta durante los años de estudio.

Se realizó un análisis para calcular la probabilidad de helada anterior al 15 de mayo, la fecha límite en otoño con probabilidad de helada menor al 10%, la probabilidad de helada posterior a la fecha de brotación y un análisis para el cálculo de riesgo de ocurrencia de heladas extremas, siguiendo la metodología descrita por Villalobos y López-Bernal (2017)

La probabilidad de helada es:

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

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

Donde P_y es la fracción de años en los que ocurren heladas, m_{LF} es la fecha media de la última helada, s_{LF} es la desviación estándar, m_{FF} es la fecha

media de la primer helada, s_{FF} es la desviación estándar y z es el valor de la distribución normal estándar, cuyo valor se puede calcular como:

$$P(z \leq x) = 0,5 [1 \pm \{ (1 - \exp(-2x^2/\pi)) \}^{1/2}]$$

La raíz positiva se toma si $x > 0$ y la negativa si $x < 0$. Recordar que $P(z > x) = 1 - P(z \leq x)$.

Para el análisis de riesgo de heladas se distingue la probabilidad $P(T < T_c)$ de ocurrencia de temperatura por debajo de una temperatura crítica (T_c) en cualquier año y el riesgo (R_i), que es la probabilidad de que el evento ocurra al menos una vez durante la vida útil de la plantación (nd , años; se tomó como referencia 10 años de vida). En lugar de riesgo podemos usar certeza ($C = 1 - R_i$), que es entonces la probabilidad de que el evento no ocurra durante la vida útil. Se calculó para cada sitio la probabilidad de ocurrencia de heladas menor a -7°C . Suponiendo una distribución de Bernoulli, la certeza está relacionada con la probabilidad de tener una temperatura por debajo de T_c en cualquier año: $C = [1 - P(T < T_c)]^{nd}$

La probabilidad de un evento extremo en un año determinado debería calcularse como el cociente entre el número de eventos extremos observados y el número de años de registro. Sin embargo, estamos tratando de eventos muy poco frecuentes, por lo que necesitaríamos registros muy largos, que nunca están disponibles (por ejemplo, 1000 años). Para series de datos cortas lo que hacemos es calcular los parámetros de la distribución estadística subyacente. Se asume una distribución de valores extremos de tipo I, también conocida como distribución de Gumbel:

$$P(T < T_c) = 1 - \exp [- \exp ((T_c - \beta) / \alpha)]$$

Combinando las ecuaciones anteriores:

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

Siendo $\alpha = \sigma / 1,283$ y $\beta = \mu + 0,577 \alpha$; σ = desvío estándar y μ = media de las temperaturas mínimas absolutas.

2.4. Desarrollo fenológico de la cv. Arbequina y su relación con el clima local

El seguimiento fenológico se realizó durante cuatro temporadas entre los años 2014 y 2017. En el último año los datos se registraron únicamente al momento de floración. Los sitios evaluados fueron descriptos previamente y se compararon olivares cv. Arbequina implantados en el año 2008.

En el estudio fenológico se reunieron las observaciones de campo realizadas semanalmente en el período que comprendió desde septiembre (brotación) hasta enero (endurecimiento del carozo) y cada tres días en la fase de floración (Rojo Úbeda, 2014) (el muestro semanal para el estudio fenológico es el tiempo mínimo recomendado para una correcta toma de datos - Vázquez 2000; Oteros, 2014).

Para la obtención de datos fenológicos se requiere utilizar una metodología determinada. De modo general, todos los métodos se basan en la utilización de una clave asignada a cada estado de desarrollo fenológico. En la presente tesis se ha utilizado la escala BBCH (desarrollada por Zadoks *et al.*, 1974 y descripta para el olivo por Sanz-Cortés, *et al.*, 2002) por ser el sistema estandarizado (**Tabla 5**). El mismo es numérico y cubre todos los estados de la planta.

Tabla 5. Estadios fenológicos del cultivo del olivo según la escala BBCH descritos por Saéñz-Cortés *et al.* (2002) y mejorada por Rapoport y Moreno-Alías (2017). Se detallan los estadios estudiados en esta tesis.

<i>Código</i>	<i>Descripción</i>
Estadio principal 0: Desarrollo de las yemas vegetativas	
Estadio principal 1: Desarrollo de las hojas	
Estadio principal 3: Desarrollo de los brotes	
Estadio principal 5: Desarrollo de las inflorescencias	
50	Las yemas florales, situadas en las axilas de las hojas, están completamente cerradas; son puntiagudas y sin pedúnculo y los primordios foliares externos son de color ocre.
51	Brotación: las yemas florales comienzan a hincharse y se separan de la base mediante un pedúnculo.
54	El eje principal continúa alargándose y se aprecian todos sus nudos pero hay poco alargamiento de los entrenudos.
55	Los botones florales se redondean y se separan entre sí debido al crecimiento del eje principal y las ramificaciones de la inflorescencia. Se distinguen todos los grupos florales que van a haber. Se percibe alargamiento de los entrenudos del raquis. No se distingue aún entre corola y cáliz.
57	El botón floral sigue aumentando de tamaño y la corola es de mayor longitud que el cáliz. La corola empieza a cambiar de color, adquiriendo un tono verde más claro, y se empiezan a distinguir los pétalos individuales.
59	La corola cambia del color verde al blanco.
Estadio principal 6: Floración	
60	Comienzo de la floración. El botón floral continúa hinchándose y se abren las primeras flores. Aparecen los estambres.
65	Plena floración: la mayoría de las flores están abiertas (más del 50 % de las flores de la inflorescencia, en más del 70 % de las inflorescencias).
68	La mayoría de los pétalos han caído o están marchitos.
69	Fin de la floración, cuajado inicial de fruto y caída de ovarios no fecundados. Se observan jóvenes frutos, con muy poco crecimiento, que sobrepasan escasamente la cúpula formada por el cáliz.
Estadio principal 7: Desarrollo del fruto	
Estadio principal 8: Maduración del fruto	
Estadio principal 9: Senescencia	

Las fenofases utilizadas en la escala BBCH para el olivo fueron adaptadas a una escala desde 0 a 8 desde la dormición de las yemas hasta el comienzo de la fructificación, al igual que lo realizado por Rojo Úbeda (2014). Las

fenofases se agruparon de la siguiente manera: dormancia: yemas completamente cerradas (0/BBCH 50); prefloración: brotación (1/BBCH 51); formación del racimo floral (2/BBCH 54), hinchamiento del botón floral (3/BBCH 55) y diferenciación de corola de verde a blanco (4/BBCH 59); floración: comienzo de floración (5/BBCH 60), plena floración (6/BBCH 65) y fin de floración (7/BBCH 68); cuajado inicial del fruto, caída de ovarios no fecundados y crecimiento inicial de frutos (8/BBCH 69).

2.4.1. Análisis estadístico

Para el análisis de los datos se realizaron correlaciones de Pearson entre variables climáticas de temperatura media, máxima y mínima, precipitaciones y humedad relativa con las etapas fenológicas comienzo y duración de prefloración (brotación) y comienzo y duración de floración.

2.5. Evaluación del crecimiento y rendimiento

El estudio de las variables de crecimiento se realizó durante dos temporadas 2015-2016 y 2016-2017. Los sitios evaluados fueron descritos anteriormente y se compararon olivares cv. Arbequina.

2.5.1. Experimento 1 - Influencia del año de implantación sobre variables de crecimiento y el rendimiento.

Se analizó la Influencia del año de implantación sobre las variables: crecimiento de las brindillas en primavera (brotes ubicados en la zona media de la copa, evitando los ramos muy vigorosos o débiles; Dos Santos Ramos, 2000), volumen de copa (VC), superficie de copa (SC), circunferencia (o perímetro) de tronco (Ct), rendimiento (R) y eficiencia productiva (EP). El crecimiento de los brotes se evaluó a través de la medida de la longitud, número de nudos y el diámetro basal de cada brote. Para la medición se empleó un escalímetro digital. El ensayo se realizó en Dorrego 1 durante la temporada 2015-2016 con olivos implantados en los años 2006, 2008 y 2010 (9, 7 y 5 años de edad respectivamente). Se utilizó un diseño Anidado. Se eligieron tres hileras al azar y dentro de cada una se seleccionaron tres plantas al azar. A su vez, se seleccionaron 4 brotes por planta y se promediaron. En

este análisis el factor sitio se mantiene fijo para priorizar y observar qué factores podrían influir en la producción del olivo a través del uso de covariables (VC, SC y Ct).

2.5.2. Experimento 2 - Influencia de los sitios evaluados sobre las variables de crecimiento y el rendimiento en el SOB

Se analizaron las variables: crecimiento de las brindillas en primavera y en verano-otoño, VC, SC, Ct, R y EP en los tres sitios de estudio con olivos implantados en el año 2008 (edad: 7 años). El crecimiento de los brotes se evaluó a través de la medida de la longitud, número de nudos y el diámetro basal de cada brote. Para la medición se empleó un escalímetro digital. El ensayo se realizó en Dorrego, Puan y Cabildo durante las temporadas 2015-2016 y 2016-2017. Se utilizó un diseño Anidado. Se eligieron tres hileras al azar y dentro de cada una se seleccionaron tres plantas al azar. A su vez, se seleccionaron 4 brotes por planta y se promediaron.

El volumen de copa y la superficie de copa (en $m^3 \text{ pl}^{-1}$ y $m^2 \text{ pl}^{-1}$ respectivamente) de los árboles experimentales se midieron realizando a campo la estimación del diámetro de copa (Dcop) (mediante la medida de cuatro radios) y su altura (Hcop). Ambos se obtuvieron mediante asimilación de la copa a un esferoide. Se aplicaron posteriormente las fórmulas:

$$\mathbf{VC = \pi/6 \times Dcop^2 \times Hcop}$$

$$\mathbf{SC = \pi \times Dcop \times Hcop}$$

Se utilizó la metodología propuesta por Villalobos *et al.* (1995), quienes comprobaron la validez de este tipo de medidas frente a otras más exhaustivas. La variable Ct se determinó utilizando una cinta métrica (cm). A estas variables las denominaremos variables de forma.

En el período de cosecha, a partir de cada uno de los árboles seleccionados, se recolectó manualmente la totalidad de los frutos, determinándose la producción en base al peso total de los frutos (kg) por árbol, y utilizando los datos de volumen de copa se obtuvo la eficiencia productiva (kg m^{-3}), considerada la más adecuado para expresar la producción total (Lombard

et al., 1988). La importancia de esta variable radica en que se elimina la posibilidad de que las diferencias en producción se deban a diferencias en el tamaño de los árboles.

2.5.3. Análisis estadístico

Para los análisis estadísticos, las variables fueron transformadas con logaritmo neperiano.

Experimento 1: Para comparar las edades (olivos implantados en 2006, 2008 y 2010) de a pares de la cv. Arbequina en Dorrego 1, se utilizó DMS de Fisher al 5%. Solo se realizó el test cuando el análisis resultó significativo. Se aplicó un ANOVA simple a cada variable y una comparación de rectas para la relación entre rendimiento y cada una de las variables predictoras utilizando un ANCOVA. Se analizó la relación entre R y VC como variable predictora (X_i) por ser el modelo que mejor ajustaba. Esta relación se considera de tipo potencial: $R = k \times [X_i]^b$. En un gráfico se trazaron isóneas de igual eficiencia productiva, para luego comparar esta variable con los resultados de analizar R con VC como covariable (lo denominaremos rendimiento relativo). A partir de las fórmulas de VC y SC, que involucran las mediciones del diámetro de copa y altura de copa, se sugirió analizar R en función de estas medidas que son leídas directamente a campo, teniendo en cuenta las tres edades de "Arbequina". Las variables se transformaron a logaritmo neperiano, siguiendo con la metodología utilizada. Se hizo un análisis de componentes principales utilizando como variables de clasificación la edad de la plantación. Se realizaron correlaciones utilizando el test de Pearson entre las variables de crecimiento: longitud de brotes (Lb), nudos por brote (Nb) y diámetro basal de los brotes (Db), VC, SC, Ct, R y EP.

Experimento 2: Se realizó un análisis de componentes principales, utilizando como variables de clasificación los sitios estudiados. Se realizaron gráficos para predecir SC y VC a partir de Ct y R a partir de Ct, SC y VC. Se hicieron correlaciones entre variables de temperatura media, máxima y mínima, precipitaciones, humedad relativa, comienzo y duración de prefloración y comienzo y duración de floración con las variables R, Lb, Nb y Db. Estos

análisis brindarán información que pueda ser comprobada en futuros ensayos con estudios más avanzados.

3. Resultados y discusión

3.1. Datos climáticos

3.1.1. *Temperaturas diarias estacionales*

Se presentan los resultados correspondientes a las temperaturas medias, su desvío estándar y máximas y mínimas absolutas de las temperaturas máximas y mínimas diarias en cada estación del año y para cada sitio.

En la **Tabla 6** se observa que las medias de las temperaturas máximas diarias presentaron valores superiores en Cabildo mientras que Dorrego presentó los valores más bajos en las cuatro estaciones estudiadas. Respecto a las mínimas absolutas de las temperaturas máximas, Dorrego presentó los valores más bajos, salvo en otoño con un valor medio de 6,4°C.

Los percentiles 5 (p05) y 95 (p95) fueron utilizados como umbrales para definir las temperaturas extremas. Para las temperaturas máximas diarias los valores de p05 fueron superiores a 10°C, salvo en invierno, que estuvieron entre 7,8 y 8,3°C. Esto nos indica que solamente el 5% de las temperaturas estuvieron por debajo de estos valores. Si bien en primavera y verano se registraron máximas absolutas superiores a 37,8°C en las tres localidades estudiadas, el 95% de los registros en verano fueron inferiores 36,4°C, 36,2°C y 36,7°C en Puan, Dorrego y Cabildo respectivamente. En primavera, estación donde ocurre la floración, el 5% de los registros fue mayor a 33,1°C, 32,7°C y 33,9°C en Puan, Dorrego y Cabildo respectivamente.

Tabla 6. Valores medios de temperatura, máximos y mínimos absolutos, desviación estándar y percentiles 5 y 95 de la media para las temperaturas máximas diarias (°C) estacionales. Período 2005-2017 (Estaciones meteorológicas Maltería Pampa en Puan, INTA Coronel Dorrego y criadero ACA en Cabildo).

Estación	Sitio	Media	Máx.	Mín.	DE	p05	p95
Invierno	<i>Puan</i>	15,3	31,9	4,8	4,6	8,2	23,7
	<i>Dorrego</i>	14,9	31,7	0,0	4,6	7,8	22,8
	<i>Cabildo</i>	15,5	32,6	3,5	4,5	8,3	23,2
Primavera	<i>Puan</i>	24,1	37,8	8,8	5,6	14,3	33,1
	<i>Dorrego</i>	23,0	38,3	0,0	6,0	12,7	32,7
	<i>Cabildo</i>	24,3	42,1	8,3	5,9	13,9	33,9
Verano	<i>Puan</i>	29,4	42,1	14,3	4,5	21,8	36,4
	<i>Dorrego</i>	28,3	40,1	13,8	5,0	20,1	36,2
	<i>Cabildo</i>	29,4	41,9	15,1	4,8	21,1	36,7
Otoño	<i>Puan</i>	18,8	36,3	5,6	5,8	10,5	29,4
	<i>Dorrego</i>	18,6	34,6	6,4	5,4	10,7	28,2
	<i>Cabildo</i>	19,1	34,9	6,7	5,6	10,8	29,1

Para las temperaturas mínimas (**Tabla 7**), las medias en invierno tuvieron valores entre 3,5 y 5,1°C, aspecto importante desde el punto de vista productivo teniendo en cuenta que la temperatura adecuada durante el reposo invernal requerida para el olivo está en el rango entre 0 y 15°C (Villalobos y López-Bernal, 2017) (sumado a que las medias de las temperaturas máximas en invierno fueron entre 14,9 y 15,5°C).

Las temperaturas mínimas absolutas fueron inferiores a 0°C en otoño, invierno y primavera en las tres localidades. Sin embargo, sólo el 5% de las temperaturas invernales fueron menores a -2,9°C, -0,6°C y -1,9°C, con mínimas absolutas de -9,7°C, -4,2°C y -6,7°C en Puan, Dorrego y Cabildo respectivamente. En primavera, el 5% de los registros fue menor a 2,7°C, 3,1°C y 2,6°C. Durante el otoño, el p05 fue de -0,7°C, 1,7°C y -0,2°C en Puan, Dorrego y Cabildo, mientras que las mínimas absolutas fueron entre -4°C y -8,5°C. El p95 estuvo en el rango de 10,2-11,3°C en invierno y 20,2-25,2°C en verano, con valores intermedios en primavera y otoño.

Tabla 7. Valores medios de temperatura, máximos y mínimos absolutos, desviación estándar y percentiles 5 y 95 de la media para las temperaturas mínimas diarias (°C) estacionales. Período 2005-2017 (Estaciones meteorológicas Maltería Pampa en Puan, INTA Coronel Dorrego y criadero ACA en Cabildo).

Estación	Sitio	Media	Máx.	Mín.	DE	p05	p95
Invierno	<i>Puan</i>	3,5	17,3	-9,7	4,0	-2,9	10,2
	<i>Dorrego</i>	5,1	18,8	-4,2	3,7	-0,6	11,3
	<i>Cabildo</i>	4,3	19,0	-6,7	4,1	-1,9	11,1
Primavera	<i>Puan</i>	10,1	20,7	-4,7	4,2	2,7	16,7
	<i>Dorrego</i>	10,3	24,8	-2,7	4,5	3,1	17,7
	<i>Cabildo</i>	10,2	24,4	-4,2	4,7	2,6	17,8
Verano	<i>Puan</i>	14,8	23,1	3,7	3,6	8,5	20,2
	<i>Dorrego</i>	15,4	26,8	5,6	3,8	9,4	21,4
	<i>Cabildo</i>	16,3	36,8	4,6	5,2	9,1	25,2
Otoño	<i>Puan</i>	6,9	20,4	-6,2	4,9	-0,7	15,2
	<i>Dorrego</i>	8,5	22,0	-4,0	4,5	1,7	16,2
	<i>Cabildo</i>	7,4	20,6	-8,5	4,9	-0,2	16,0

Para verificar la fiabilidad de los datos utilizados en este análisis, se observó la relación que existe entre las temperaturas máximas y mínimas en los tres sitios estudiados utilizando correlaciones de Pearson. En general, tanto para las máximas como las mínimas, se observa una marcada similitud en los registros de las tres estaciones meteorológicas y para cada estación del año con un coeficiente de correlación alto, salvo en verano donde los valores fueron más bajos (**Tabla 8**). Las correlaciones de las temperaturas máximas siempre igualaron o superaron a las mínimas para cada estación del año. En primavera los niveles de correlación fueron los mismos tanto para las temperaturas máximas como para las mínimas.

Tabla 8. Coeficiente de correlación de Pearson entre las temperaturas promedio máximas y mínimas para cada estación del año. Periodo 2005-2017.

		TmiPua	TmiDorr	TmiCab		TmaPua	TmaDorr	TmaCab
DEF	TmiPua	1	***	<i>ns</i>	TmaPua	1	***	***
	TmiDorr	0,75	1	*	TmaDorr	0,82	1	***
	TmiCab	0,28	0,41	1	TmaCab	0,83	0,87	1
MAM	TmiPua	1	***	***	TmaPua	1	***	***
	TmiDorr	0,93	1	***	TmaDorr	0,94	1	***
	TmiCab	0,81	0,79	1	TmaCab	0,95	0,99	1
JJA	TmiPua	1	***	***	TmaPua	1	***	***
	TmiDorr	0,89	1	***	TmaDorr	0,91	1	***
	TmiCab	0,86	0,92	1	TmaCab	0,89	0,94	1
SON	TmiPua	1	***	***	TmaPua	1	***	***
	TmiDorr	0,96	1	***	TmaDorr	0,96	1	***
	TmiCab	0,97	0,98	1	TmaCab	0,97	0,98	1

D-E-F dic ene feb, *M-A-M* mar abr may, *J-J-A* jun jul ago, *S-O-N* sep oct nov, *mi* mínima, *ma* máxima *, **, ***, *ns*; correlación significativa a 0,05; 0,01; 0,001 y no significativo ($p > 0,05$), respectivamente.

3.1.2. Temperaturas mínimas

Se considera helada a un descenso de la temperatura ambiente a niveles inferiores o iguales a 0°C. La ocurrencia de heladas en la región se producen normalmente por advección de aire polar con consecuente enfriamiento por radiación (Scian, 2010). Los órganos del olivo muestran distinto grado de sensibilidad a la helada (Gómez del Campo *et al.*, 2004). El orden de sensibilidad es: raíces secundarias > raíces primarias > hojas apicales > hojas basales > brotes > yemas vegetativas (Mancuso, 2000; Fiorino y Mancuso, 2000). Prácticas culturales tales como la poda, el riego y la fertilización afectan en mayor o menor medida la resistencia de la planta a un estrés por congelación. La edad del árbol es también importante, puesto que árboles jóvenes se dañan más severamente que los más adultos cuando sufren los efectos de las bajas temperaturas (Fontanazza y Preziosi, 1969). Si bien la intensidad es un factor importante, la duración del fenómeno de heladas también puede afectar la producción y, en algunos casos, la supervivencia de la planta (Babelis *et al.*, 2013).

Durante la floración del olivo, temperaturas próximas a 0°C pueden provocar la formación incompleta de la flor. En el período de crecimiento las temperaturas inferiores a 0°C dañan el fruto, reduciendo la producción y la calidad del aceite (Carbó, 2002).

Se presentan en las **Tablas 9, 10 y 11** la frecuencia mensual y anual de heladas para los tres sitios de estudio. El número de heladas promedio fue de 24 (315 heladas/13 años) en Puan, 9 (116/13) en Dorrego y 20 (254/13) en Cabildo.

En Puan se registraron 3 heladas en abril (2 en 2008 y 1 en 2010), mientras que en Cabildo sólo 2 (2010). En Dorrego no se registraron temperaturas bajo cero durante el mes mencionado. La mayor cantidad de heladas durante el mes de mayo se observó en Puan, con una media de 2,3 heladas (30 registros/13 años), mientras que en Dorrego la media fue menor a 1 (sólo 3 registros en 13 años). Cabildo presentó una media de 1,5 heladas (19 registros/13 años).

Las heladas se concentraron en los meses de junio, julio y agosto. La ocurrencia de heladas durante el mes de septiembre (mes en el que ocurre la brotación; ver sección 3.2.2, **Tabla 25**) fue de 69% (9 años con heladas en el mes mencionado) en Puan y Dorrego y del 100% en Dorrego (en todos los años hubo como mínimo una helada en septiembre); mientras que en octubre fue de 23% en Puan (3 años con heladas en el mes mencionado), 8% en Dorrego (1 año con heladas) y 39% en Cabildo (5 años con heladas). Sin embargo, a pesar que la fecha media de floración de "Arbequina" ocurrió, en promedio, el 6 de noviembre en la región (ver sección 3.2.2, **Tabla 24**) no se registraron temperaturas menores o iguales a 0°C en dicho mes durante 13 años. La información sobre ocurrencia de temperaturas congelantes o levemente superiores a 0°C es muy importante ya que puede provocar la formación incompleta de la flor, reduciendo la polinización y el cuajado de frutos. Estos daños serán menores cuanto menor sea la duración de las bajas temperaturas y la brusquedad con que se produzcan. Favorablemente, la población de flores muestra una gran variabilidad en velocidad de desarrollo que resulta en un largo período (10-14 días) entre la primera y la última flor

abierta, por lo tanto, el impacto de las temperaturas extremas será limitado y puede ser posteriormente compensado por la reducción de la caída de frutos en post-floración (Villalobos y López-Bernal, 2017).

Tabla 9. Frecuencia mensual y anual de heladas en Puan.

PUAN	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Total
2005	0	2	2	9	6	3	0	0	22
2006	0	4	3	7	6	2	0	0	22
2007	0	7	11	18	12	0	0	0	48
2008	2	4	3	0	5	5	0	0	19
2009	0	3	6	16	3	2	0	0	30
2010	1	3	2	11	9	1	0	0	27
2011	0	1	4	10	8	1	0	0	24
2012	0	1	9	18	3	0	1	0	32
2013	0	3	9	8	10	3	1	0	34
2014	0	1	5	5	3	0	0	0	14
2015	0	0	8	7	0	2	1	0	18
2016	0	1	4	3	1	4	0	0	13
2017	0	0	7	3	2	0	0	0	12
Total	3	30	66	112	66	23	3	0	315
%	1,0	9,5	23,2	36,5	21,6	7,3	1,0	0,0	100

Tabla 10. Frecuencia mensual y anual de heladas en Coronel Dorrego.

DORREGO	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Total
2005	0	0	2	2	1	1	0	0	6
2006	0	0	2	1	1	0	0	0	4
2007	0	1	2	11	6	0	0	0	20
2008	0	1	1	1	3	2	0	0	8
2009	0	0	3	3	0	4	0	0	10
2010	0	0	2	1	7	1	0	0	11
2011	0	0	1	6	2	1	0	0	10
2012	0	0	1	11	2	1	0	0	15
2013	0	1	2	1	3	1	0	0	8
2014	0	0	1	2	0	0	0	0	3
2015	0	0	3	3	0	1	1	0	8
2016	0	0	1	2	0	2	0	0	5
2017	0	0	3	3	2	0	0	0	8
Total	0	3	24	47	27	14	1	0	116
%	0,0	2,6	20,7	40,5	23,3	12,1	0,9	0,0	100

Tabla 11. Frecuencia mensual y anual de heladas en Cabildo.

CABILDO	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Total
2005	0	1	4	6	3	5	2	0	21
2006	0	4	7	0	2	1	0	0	14
2007	0	3	9	15	12	1	0	0	40
2008	0	5	4	4	7	2	0	0	22
2009	0	0	3	7	0	5	0	0	15
2010	2	3	4	8	8	4	0	0	27
2011	0	0	7	6	7	1	2	0	23
2012	0	0	7	14	4	1	0	0	26
2013	0	0	5	5	9	2	0	0	21
2014	0	0	2	3	2	1	0	0	8
2015	0	0	3	5	0	2	1	0	11
2016	0	1	4	3	1	6	0	0	15
2017	0	2	2	5	0	2	0	0	11
Total	2	19	61	81	55	33	5	0	254
%	0,8	7,5	24,0	31,9	21,7	13,0	2,0	0,0	100

El desarrollo de los frutos de olivo se extiende desde la antesis, a finales de primavera, hasta recolección, con máxima concentración de aceite a mediados de otoño (Rondanini *et al.*, 2014). Con cerca de 2500 ha de montes de olivo, el partido de Coronel Dorrego concentra el 94,5% de la producción bonaerense (Elisei y Aguirre, 2011). La elaboración de aceite es el principal destino de la producción, y si bien se obtienen productos de excelente calidad (Obiol *et al.*, 2006), es importante considerar la fecha de la primer helada en la región. La probabilidad de ocurrencia de heladas nos brinda una medida del riesgo de cultivar olivos en cada zona: en el período evaluado (2005-2017), en Puan la fecha media de la primer helada fue el 17 de mayo (**Tabla 13**). En Dorrego la fecha media de la primer helada fue el 13 de junio (**Tabla 14**) y en Cabildo la fecha media de la primer helada fue el 26 de mayo (**Tabla 15**). La cosecha en el SOB comienza en abril (Elias y Barbero, 2017) y puede extenderse hasta el mes de junio (datos propios), por lo que podría afectar la calidad de los aceites. Como consecuencia de las heladas, algunos de los procesos característicos de la maduración se ven fuertemente acelerados tales como la pérdida de textura de la pulpa, la respiración, producción de etileno y la actividad de enzimas pectolíticas (Morelló *et al.*, 2003). Todos estos cambios observados, además de afectar al fruto podrían influir en la composición y características físico-químicas, principalmente en el estado oxidativo de los aceites. Es por esto que la época de recolección debe ser un aspecto

importante a considerar ya que puede afectar a la composición y características organolépticas de los aceites (Civantos *et al.*, 1992; Humanes y Civantos, 1993).

Utilizando la metodología propuesta por Villalobos y López-Bernal (2017), se detalla a continuación, a modo de ejemplo, el procedimiento para el cálculo de riesgo de daños por helada en Puan luego de la fecha de brotación:

Como todos los años ocurren heladas $P_y=1$, la brotación de la cv. Arbequina ocurrió en promedio el día 263 (día juliano - dj) (20 de septiembre; ver sección 3.2.2, **Tabla 25**) y la fecha media de la última helada fue el dj 259 con un desvío estándar de 22 (**Tabla 13**), la probabilidad de helada después del día 20 de septiembre será:

$$P(\text{helada después del día 263}) = P_y \cdot P [z > ((t - m_{LF}) / s_{LF})]$$

$$P(\text{helada después del día 263}) = 1 \cdot P [z > ((263,7 - 259) / 22)]$$

$$P [z > 0,214] = 1 - P [z \leq 0,214]$$

$$P (z \leq 0,214) = 0,5 [1 + \{ (1 - \exp (-2 \cdot 0,214^2 / \pi)) \}^{1/2}] = 0,58$$

Y, por tanto, la probabilidad de helada después del 20 de septiembre en Puan será $1 - 0,58 = \underline{\underline{0,42}}$ (42%).

De forma análoga, la probabilidad de helada después del 8 de septiembre en Dorrego (fecha media de brotación cv. Arbequina; ver sección 3.2.2, **Tabla 25**) será de 49% y la probabilidad de helada después del 12 de septiembre en Cabildo (fecha media de brotación cv. Arbequina y, a su vez, la más temprana; ver sección 3.2.2, **Tabla 25**) será de 94% (**Tabla 12**). Si se realiza el mismo análisis teniendo en cuenta la fecha más temprana de brotación en cada sitio, la probabilidad de helada en Dorrego después del 28 de agosto será de 69%, mientras que la probabilidad de helada en Puan después del 14 de septiembre será de 54%. Estos resultados son de vital importancia para inversiones futuras, ya que si bien el olivo se ha instalado como alternativa productiva en la región aumentando la superficie año tras año, es necesario considerar las variedades a implantar y su fecha de brotación. Utilizando esta metodología y

teniendo en cuenta que la cosecha de aceitunas en el SOB comienza en abril y puede continuar hasta el mes de junio, se estableció como criterio la probabilidad de helada antes del 15 de mayo. La misma es del 45% en Puan, 1% en Dorrego y 26% en Cabildo. Además, se calculó la fecha con probabilidad de helada menor al 10%. En Puan, el riesgo de helada será menor al 10% hasta el 25 de abril, en Dorrego hasta el 27 de mayo y en Cabildo hasta el 4 de mayo. Estos resultados sugieren que no se prolongue la época de recolección de fruta más allá de las fechas mencionadas, observándose una mayor flexibilidad en Dorrego.

Tabla 12. Riesgo de helada en Puan, Dorrego y Cabildo.

	Probabilidad de helada		Fecha límite con PH < 10% en otoño
	Después de brotación*	Antes del 15 mayo	
Puan	42%	45%	25 de abril
Dorrego	49%	1%	27 de mayo
Cabildo	94%	26%	4 de mayo

* Fecha media de brotación, PH probabilidad de helada.

Tabla 13. Fecha de la primer y última helada en Puan. Años 2005-2017.

PUAN Año	Primera helada		Última helada	
	Fecha	Día juliano	Fecha	Día juliano
2005	21 de mayo	141	12 de septiembre	255
2006	18 de mayo	138	5 de septiembre	248
2007	7 de mayo	127	30 de agosto	242
2008	13 de abril	104	13 de septiembre	257
2009	18 de mayo	138	28 de septiembre	271
2010	23 de abril	113	2 de septiembre	245
2011	20 de mayo	140	3 de octubre	276
2012	5 de junio	157	10 de octubre	284
2013	7 de mayo	127	24 de octubre	297
2014	23 de mayo	143	27 de agosto	239
2015	12 de junio	163	3 de octubre	276
2016	18 de mayo	139	23 de septiembre	267
2017	5 de junio	156	3 de agosto	215
<i>Promedio</i>	17 de mayo	137	14 de septiembre	259
<i>Desvío est</i>		17		22

Tabla 14. Fecha de la primer y última helada en Coronel Dorrego. Años 2005-2017.

DORREGO	Primera helada		Última helada	
	Año	Fecha	Día juliano	Fecha
2005	13 de junio	164	1 de septiembre	244
2006	10 de junio	161	21 de agosto	233
2007	30 de mayo	150	25 de agosto	237
2008	29 de mayo	150	5 de septiembre	249
2009	23 de junio	174	29 de septiembre	272
2010	15 de junio	166	2 de septiembre	245
2011	26 de junio	177	23 de septiembre	266
2012	16 de junio	169	22 de septiembre	266
2013	15 de mayo	135	22 de septiembre	265
2014	26 de junio	177	27 de julio	208
2015	18 de junio	169	10 de octubre	283
2016	27 de junio	178	29 de septiembre	273
2017	5 de junio	156	16 de agosto	228
<i>Promedio</i>	13 de junio	164	8 de septiembre	251
<i>Desvío est</i>		13		22

Tabla 15. Fecha de la primer y última helada en Cabildo. Años 2005-2017.

CABILDO	Primera helada		Última helada	
	Año	Fecha	Día juliano	Fecha
2005	7 de mayo	127	10 de octubre	303
2006	20 de mayo	140	4 de septiembre	247
2007	29 de mayo	149	7 de octubre	280
2008	25 de mayo	146	5 de septiembre	279
2009	3 de junio	154	30 de septiembre	273
2010	23 de abril	112	23 de septiembre	266
2011	3 de junio	154	3 de octubre	276
2012	6 de junio	158	26 de septiembre	270
2013	8 de junio	159	22 de septiembre	265
2014	14 de junio	165	15 de septiembre	289
2015	18 de junio	169	10 de octubre	283
2016	3 de mayo	123	24 de septiembre	267
2017	27 de mayo	147	28 de septiembre	271
<i>Promedio</i>	26 de mayo	146	2 de octubre	275
<i>Desvío est</i>		17		13

Otro aspecto importante es el registro de las temperaturas mínimas absolutas (**Tabla 16**). Aunque el olivo requiere un período de bajas temperaturas para la salida del reposo de las yemas de flor y posterior floración, la temperatura mínima a la que se somete la planta en invierno es uno de los factores más limitantes para el crecimiento del árbol. Por otro lado,

las heladas primaverales u otoñales limitan la productividad y/o calidad de las plantaciones de olivo. Las heladas más rigurosas se observaron en Puan, con una temperatura mínima absoluta en los 13 años evaluados de -9,7°C en el mes de julio (año 2007) y una media de -5,0°C; seguidas de Cabildo con el registro más bajo de -8,5°C en el mes de junio (en 2005) y una media de -4,7°C; y por último Dorrego, con una temperatura mínima absoluta de -4,2°C en el mes julio (2007) y una media de -2,8°C. La cercanía al mar podría ser un factor atenuante del frío (Gómez del Campo *et al.*, 2004) y lo que provocó que no existan temperaturas muy bajas en Dorrego. Por otro lado, Larcher (1970) afirmó que el olivo sufre severos daños por debajo de -12°C y a -7°C pueden producirse lesiones en la parte aérea de la planta (Pallioti y Bong, 1996). Si bien en Dorrego no se observó una temperatura de -7°C, en el resto de los sitios se registró una temperatura mínima absoluta comprendida entre los -7°C y -12°C. Además, Vita Serman (2015) menciona que los otoños lluviosos o con abundantes dosis de riego y las altas temperaturas, mantienen un activo crecimiento vegetativo provocando una menor tolerancia al frío en invierno. Como en los años de estudio la temperatura nunca llegó a -12°C, con los datos de la **Tabla 16** se calculó el riesgo de que se produzcan heladas de -7°C en 10 años, siguiendo la metodología adoptada por Villalobos y López-Bernal (2017). A modo de ejemplo 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 (**Tabla 16**), $\alpha=\sigma/1,283$ y $\beta=\mu+0,577.\alpha$, α será 1,5 y β será -4,14.

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

$$C = \{ \exp [- \exp ((-7 - (-4,14)) / 1,5)] \}^{nd}$$

$$C = 0,23$$

Este valor nos indica que el riesgo en Puan de que se produzcan lesiones en la parte aérea de la planta en 10 años debido a las heladas (temperatura de -7°C) es del 77%, es decir, aproximadamente en 8 de cada 10 años. De forma análoga, el riesgo de que se produzcan heladas de -7°C es de 2% en Dorrego (probablemente la temperatura no llegue a -7°C en 10 años) y 71% en Cabildo

(aproximadamente 7 de cada 10 años). Como se mencionó anteriormente, a partir del registro de 13 años, el 8% de los inviernos (1 registro/13 años) en Puan y Cabildo presentó una temperatura menor a -7°C ($-9,7^{\circ}\text{C}$ y $-8,5^{\circ}\text{C}$, respectivamente), mientras que en Dorrego nunca se llegó a ese valor (temperatura mínima absoluta: $-4,2^{\circ}\text{C}$). Utilizando la metodología descrita por Villalobos y López-Bernal (2017), la probabilidad de ocurrencia de $-9,7^{\circ}\text{C}$ en Puan fue de 27%, la probabilidad de $-8,5^{\circ}\text{C}$ en Cabildo fue de 46% y la probabilidad de $-4,2^{\circ}\text{C}$ en Dorrego fue de 69%. En comparación a otras regiones olivareras, en un trabajo llevado a cabo en el Valle del Tulum en San Juan observaron una muy baja probabilidad de que se produzcan descensos térmicos hasta o por debajo de -12°C en la mayor parte del área (Babelis *et al.*, 2013). Gómez del Campo *et al.* (2010) menciona que en este sitio el 45% de los inviernos estudiados (dos temporadas) presentó una temperatura mínima absoluta de $-10,0^{\circ}\text{C}$ y $-10,5^{\circ}\text{C}$ ocasionando bajas producciones. Esto podría deberse a que otros autores señalan que el olivo puede resistir una temperatura de -7°C en reposo vegetativo y con -10°C sufre daños graves (Caballero, 1992).

Tabla 16. Temperaturas mínimas absolutas ($^{\circ}\text{C}$) para los sitios de estudio: Puan, Coronel Dorrego y Cabildo. Periodo 2005-2017.

Año	Puan		Dorrego		Cabildo	
	TM. abs. anual ($^{\circ}\text{C}$)	Fecha	TM. abs anual ($^{\circ}\text{C}$)	Fecha	TM. abs anual ($^{\circ}\text{C}$)	Fecha
2005	-6,1	14/6	-4,0	14/6	-8,5	14/6
2006	-3,4	21/8	-1,0	6/6	-3,0	11/6
2007	-9,7	9/7	-4,2	8/7	-6,4	9/7
2008	-3,8	17/8	-3,2	18/6	-4,9	5/9
2009	-3,6	23/6	-2,7	29/9	-4,4	29/9
2010	-6,8	2/8	-3,9	2/9	-6,6	18/7
2011	-4,8	4/8	-3,2	1/7	-4,2	23/9
2012	-6,2	7/6	-2,8	15/7	-5,8	15/7
2013	-6,0	19/6	-3,3	26 /8	-6,5	25/8
2014	-4,1	26/7	-2,2	27/7	-2,1	27/7
2015	-3,9	23/6	-2,3	23/6	-2,5	23/6
2016	-2,4	21/8	-1,3	27/7	-3,2	17/7
2017	-4,2	19/6	-2,1	16/7	-2,6	20/6
Promedio	-5,00		-2,78		-4,67	
D.E.	1,92		0,99		1,98	

TM. abs. temperatura mínima absoluta, D.E. Desviación estándar

Prácticas culturales tales como la poda, el riego y la fertilización afectan en mayor o menor medida la resistencia de la planta a un estrés por congelación. La poda en otoño antes de las heladas provoca que la copa del olivo quede expuesta y produce un crecimiento vegetativo el cual no tiene tiempo suficiente para endurecer antes de que llegue el frío intenso. Además, la aplicación tardía de fertilizantes nitrogenados, es decir, en cantidades que persistan en otoño, pueden provocar un crecimiento vegetativo continuo que no endurecerá antes de que llegue el invierno. Por otro lado, aplicar un adecuado riego en primavera estimularía la recuperación del daño por temperaturas de congelamiento (Ruiz *et al.*, 2007). Vita Serman (2015) observó que la menor resistencia a la congelación estuvo en aquellas plantas que no disminuyeron la tasa de crecimiento de brotes en otoño, y tanto la aclimatación por frío como el estrés hídrico aumentaron la resistencia a la congelación.

3.1.3. *Período de vernalización*

El frío invernal es considerado esencial y tal vez el factor primario para la inducción de la floración en el olivo (Denney y McEachern, 1983). En todos los sitios se obtuvo un número medio de días superior a 100, es decir que se cumplieron los requerimientos de vernalización, según la metodología utilizada por Denney *et al.* (1985). Esto coincide con los resultados hallados por Almorox *et al.* (2015) en un trabajo realizado en la región utilizando la misma metodología, donde se concluyó que el período de vernalización se completa exitosamente en la zona estudiada. La misma también fue utilizada por Ayerza y Sibbett (2001), quienes dividieron los períodos de vernalización de 19 sitios en dos grupos: período mayor o igual a 100 días y período menor a 100 días. Ellos concluyeron que la región mediterránea cumplía el período con un número mayor a 100 días, mientras que en regiones de Argentina algunos sitios no cumplieron este requerimiento, como Catamarca y La Rioja, y otros como San Juan y Mendoza excedieron ese valor. En España la duración más larga fue en Zaragoza, con 200 días, y en Italia en Crotona y Palermo, con 190 días. Según Gómez del Campo *et al.* (2010) en los valles de La Rioja Capital y Catamarca el período invernal es más corto. Tal es así, que las temperaturas suaves a lo largo del año modifican el ritmo de crecimiento vegetativo del olivo respecto a la Cuenca Mediterránea y causan problemas de exceso de vigor.

Los tres sitios presentaron valores muy similares, entre 159 y 177 días para las temperaturas mínimas promedio diarias y entre 108 y 115 para las temperaturas máximas promedio diarias (**Tabla 17**). Sin embargo, Dorrego tuvo un período de vernalización mayor al de Puan y Cabildo, por lo cual podría ser el sitio más adecuado para implantar otras variedades de mayor requerimiento de frío. Esta similitud en los valores hallados podría deberse a que prácticamente no hay diferencias de altitud entre los sitios, además de encontrarse en una latitud similar (Gómez del Campo *et al.*, 2010). Según Campo de Ferreras *et al.* (2004), las localidades situadas en proximidades al Sistema de Ventania, como es Puan, muestran menor amplitud térmica al que les correspondería tener por pertenecer al clima continental.

Tabla 17. Período de vernalización. Número de días con temperaturas mínimas promedio diarias ($0^{\circ}\text{C}<T<12,5^{\circ}\text{C}$) y máximas promedio diarias ($12,5^{\circ}\text{C}<T<21,1^{\circ}\text{C}$) en los tres sitios de estudio. Período 2005-2017.

	$0^{\circ}\text{C}<T<12,5^{\circ}\text{C}$			$12,5^{\circ}\text{C}<T<21,1^{\circ}\text{C}$		
	Puan	Cabildo	Dorrego	Puan	Cabildo	Dorrego
2005	168	166	174	105	109	104
2006	170	144	193	116	100	127
2007	148	164	178	103	103	103
2008	166	156	178	91	88	96
2009	157	143	180	117	95	118
2010	131	168	178	88	109	115
2011	136	140	170	88	108	119
2012	159	146	163	117	106	114
2013	159	147	157	109	95	96
2014	175	150	184	124	105	132
2015	174	174	172	132	135	121
2016	188	182	188	111	120	104
2017	191	190	181	131	136	144
Med \pm dS	163 \pm 17,8	159 \pm 16,1	177 \pm 9,7	110 \pm 14,9	108 \pm 14,4	115 \pm 14,3

Med media

3.1.4. Unidades de calor

Las unidades de calor (grados-día base $12,5^{\circ}\text{C}$) para “Arbequina” se calcularon teniendo en cuenta el inicio de la fase de brotación y el inicio y fin de floración observado en los sitios y años evaluados (ver secciones 3.2.1 y 3.2.2, **Figuras 9 y 10**, respectivamente). Se realizó la acumulación térmica desde

brotación a floración, y desde floración a cuaje, para cada año en los tres sitios. Los valores para la etapa comprendida desde brotación a floración fueron muy variables en función del sitio y el año estudiado. La media en Puan fue de 155,3 grados-día, 104,4 grados-día en Dorrego y 190,5 grados-día en Cabildo (como se mencionó en materiales y métodos, durante el año 2017 se analizó solamente el momento de floración). Se observó que en Cabildo los grados-día necesarios para llegar a floración fueron mayores en relación a Puan y Dorrego, mientras que éste último presentó los valores más bajos. Tapia *et al.* (2003 y 2009) observaron que el requerimiento de unidades de calor (grados día base 12,5°C) desde brotación a floración para la cv. Arbequina fue de 160,0 grados-día, siendo mayor al requerimiento de calor en Dorrego, menor a Cabildo y similar a Puan. Sin duda, el requerimiento será distinto en función de la zona estudiada. Un estudio realizado en Dorrego de un año de duración (Contreras, 2009) menciona que los grados-día entre brotación y floración fueron de 144, valor semejante al obtenido en dicha localidad en el año 2015. Sin embargo, la información al respecto en la región es escasa, por lo que estos resultados podrían ser de utilidad para futuras investigaciones.

Las sumas térmicas para el período que va desde floración hasta cuaje del fruto fueron de 104,5 grados-día en Puan, 108,8 grados-día en Dorrego y 106,8 grados-día en Cabildo (**Tabla 18**). Los valores fueron bastante homogéneos para los tres sitios. Por lo tanto, a nivel regional se requiere una acumulación térmica promedio en el SOB de 106,7 grados-día desde floración hasta cuajado del fruto. Estos valores siempre superaron los descriptos por Tapia *et al.* (2009), quienes mencionaron que la acumulación térmica en ese período fue de 69,4 grados-día.

Tabla 18. Unidades de calor (grados-día base 12,5°C) acumuladas en los períodos brotación-floración y floración-cuaje para la cv. Arbequina en Puan, Cnel. Dorrego y Cabildo.

Año	Sitio	Unidades de calor	
		Brotación-Floración	Floración-Cuaje
2014	Puan	143,4	102,3
	Cnel. Dorrego	41,3	109,5
2015	Puan	181,3	100,1
	Cnel. Dorrego	147,7	99,3
	Cabildo	176,0	100,8
2016	Puan	141,1	144,4
	Cnel. Dorrego	124,3	136,5
	Cabildo	205,0	138,1
2017	Puan	*	74,9
	Cnel. Dorrego	*	83,2
	Cabildo	*	81,5
<i>Promedio</i>	Puan	155,3	104,5
	Cnel. Dorrego	104,4	108,8
	Cabildo	190,5	106,8

*durante el año 2017 solo se evaluó el período de floración

3.1.5. Temperaturas máximas extremas

El olivo puede llegar a soportar temperaturas de hasta 50°C, aunque las temperaturas adecuadas en verano para la fructificación no deberían superar los 35°C ni tampoco estar por debajo de los 25°C (Tapia *et al.*, 2009). De acuerdo a los datos registrados en nuestro estudio, las máximas temperaturas corresponden a los meses de diciembre a febrero (desde el 15 de diciembre hasta el 22 de febrero), por lo que se ven ampliamente disminuidos los riesgos de daños por altas temperaturas en la fase de floración (**Tabla 19**). Sin embargo, estas temperaturas pueden incidir en la maduración y síntesis de ácidos grasos, carbohidratos y otros compuestos de la aceituna (García *et al.*, 2013). En Dorrego se registró una temperatura superior a los 40°C en enero de 2012, lo que significa 8% de ocurrencia en el mes mencionado (1 registro en 13 años), mientras que hubo dos eventos en Puan (enero de 2012 y 2014) y 3 en Cabildo (años 2006, 2012 y 2017), equivalente a 15 % y 23% de ocurrencia respectivamente. En el mes de diciembre únicamente en Cabildo se registraron temperaturas mayores a 40°C, con una ocurrencia de 8% (año 2013). En este sitio se registraron temperaturas máximas mayores o iguales a 37,8°C con una ocurrencia del 46% en el mes de diciembre (años 2006, 2011, 2013, 2015,

2016 y 2017), mientras que en Puan y Dorrego del 23% (años 2013, 2015 y 2017). En enero, la ocurrencia de temperaturas mayores o iguales a 37,8°C fue de 31% en Cabildo (años 2006, 2010, 2012 y 2017) y 39% en Puan (años 2009, 2010, 2012, 2014 y 2017) y Dorrego (años 2006, 2009, 2012, 2014 y 2017). Durante el mes de febrero, la ocurrencia de esta temperatura fue de 31% en Cabildo (años 2006, 2007, 2009 2017), 23 % en Puan (años 2009, 2012 y 2017) y 15 % en Dorrego (años 2007 y 2009). Los valores de temperatura observados son más bajos a los que se registran en otras regiones olivareras de Argentina, como por ejemplo en el Valle Central de Catamarca y en La Rioja, donde las temperaturas alcanzan 45°C en verano (Gómez del Campo *et al.*, 2010). También en zonas olivareras de España, las temperaturas estivales alcanzan comúnmente los 40°C como es el caso de Toledo (García *et al.*, 2002). En la Comunidad de Andalucía (España), las temperaturas máximas alcanzan los 43-45°C en verano (Redolfi *et al.*, 2003), valores superiores a los registrados en los sitios evaluados en este estudio. Si bien en febrero se registraron algunas temperaturas superiores a 37,8°C, nunca superaron los 40°C, lo cual toma relevancia teniendo en cuenta que las temperaturas alcanzadas durante los meses de mayor síntesis de aceite (febrero y marzo) serían las que mayor impacto tendrían sobre el contenido de aceite, mientras que las temperaturas alcanzadas próximas al endurecimiento del hueso son las que mejor explicarían las variaciones en la composición de ácidos grasos. Las temperaturas máximas durante la cosecha del olivo también puede afectar la calidad del aceite. En Catamarca la recolección del fruto comienza en marzo, mes donde la temperatura máxima promedio puede llegar a 31°C y pueden iniciarse fermentaciones en la aceituna (Gómez del Campo *et al.*, 2010), mientras que en el SOB la media máxima no alcanza ese valor, teniendo en cuenta que la cosecha comienza en abril (Elias y Barbero, 2017).

Tabla 19. Temperaturas máximas $\geq 37,8^{\circ}\text{C}$ en el período 2005-2017.

Puan		Dorrego		Cabildo	
Fecha	T. máx ($^{\circ}\text{C}$)	Fecha	T. máx ($^{\circ}\text{C}$)	Fecha	T. máx ($^{\circ}\text{C}$)
23/01/2009	37,8	27/01/2006	39,5	28/01/2006	40,3
24/01/2009	39,2	02/02/2007	38,3	18/02/2006	38,4
14/02/2009	37,8	03/02/2007	37,9	19/02/2006	37,9
18/02/2009	38,4	21/01/2009	38,2	31/12/2006	39,0
19/02/2009	38,1	24/01/2009	39,0	02/02/2007	39,6
24/01/2010	38,3	18/02/2009	37,8	03/02/2007	38,2
27/01/2010	38,7	01/01/2012	37,9	18/02/2009	38,5
28/01/2010	39,2	08/01/2012	38,4	27/01/2010	38,0
05/01/2012	38,9	09/01/2012	40,1	27/12/2011	37,9
08/01/2012	39,0	16/12/2013	38,3	01/01/2012	38,3
09/01/2012	40,5	23/12/2013	38,2	04/01/2012	38,3
12/02/2012	37,9	06/01/2014	38,6	05/01/2012	40,9
15/12/2013	37,8	17/01/2014	39,5	07/01/2012	38,0
16/12/2013	39,4	30/01/2014	38,1	08/01/2012	39,2
17/12/2013	38,1	26/12/2015	37,9	09/01/2012	40,6
23/12/2013	38,5	20/01/2017	38,4	14/12/2013	38,6
06/01/2014	39,4	29/12/2017	38,6	15/12/2013	38,7
17/01/2014	42,1			16/12/2013	42,1
18/01/2014	38,9			17/12/2013	38,7
20/01/2014	38,0			20/12/2013	39,3
27/12/2015	38,2			21/12/2013	39,2
20/01/2017	39,1			22/12/2013	41,9
21/01/2017	39,8			23/12/2013	40,4
02/02/2017	39,9			27/12/2015	39,7
29/12/2017	38,4			20/12/2016	37,9
				19/01/2017	38,5
				20/01/2017	40,1
				28/01/2017	38,1
				29/01/2017	38,2
				22/02/2017	38,0
				28/12/2017	38,7
				29/12/2017	38,8

La mayor cantidad de eventos con temperaturas altas (a partir de $37,8^{\circ}\text{C}$) registrados en Cabildo, sumado al período con heladas más extenso y a la temperatura media más alta, podría estar dado por las condiciones del sistema de circulación atmosférico de Bahía Blanca y la región. Esto favorece el ingreso de masas de aire de características continentales, a pesar de su proximidad a cuerpos de agua que facilitan la incorporación de vapor a la atmósfera de modo que se atenúen las temperaturas extremas (Campo de Ferreras *et al.*, 2004).

3.1.6. Precipitaciones en cada estación del año

En la **Tabla 20** se detallan las lluvias acumuladas en cada estación del año durante el periodo 2014-2017. Las precipitaciones en la estación invernal fueron mayores en 2014, mientras que en la primavera del año 2017 se registró un menor aporte de agua de lluvia, excepto para Cabildo. En verano las mayores precipitaciones ocurrieron en el 2016, excepto para Cabildo donde el año 2015 superó tan solo por 5 mm al 2016.

Tabla 20. Precipitaciones en las estaciones de otoño, invierno, primavera y verano para cada sitio. Años 2014, 2015, 2016 y 2017.

	2014	2015	2016	2017
<i>Puan</i>				
Prec. verano	197	274	494	269
Prec. otoño	294	230	312	335
Prec. invierno	177	69	73	161
Prec. primavera	362	491	260	183
<i>Cabildo</i>				
Prec. verano	220	395	390	371
Prec. otoño	366	44	207	187
Prec. invierno	339	81	49	176
Prec. primavera	302	191	135	153
<i>Dorrego</i>				
Prec. verano	149	228	275	255
Prec. otoño	270	113	265	134
Prec. invierno	238	105	63	203
Prec. primavera	327	216	143	68

Prec. Precipitaciones (mm).

3.1.7. El clima en floración

El registro de precipitaciones del año 2015 durante la floración en Puan (datos presentados más adelante) totalizó 252 mm (**Tabla 21**). En 2017, por el contrario, el total de lluvias en esa fase fue de 7,6 mm, siendo el valor más bajo para esa localidad. Los mayores aportes de agua por precipitación en Dorrego se dieron en el año 2014, con 220 mm acumulados en la etapa de floración, mientras que durante el 2017 fue de 22 mm, siendo un valor notablemente

inferior. En Cabildo se observó el mismo comportamiento, con un registro de 15 mm en el momento de la floración durante el año 2017. Por otro lado, también se contabilizaron las precipitaciones para el período 2005-2013, en los cuales se determinó como fecha de floración el promedio de los años 2014-2017 para Puan y Dorrego y 2015-2017 para Cabildo. Este último presentó una media menor (32,2 mm) respecto a Puan (59,5 mm) y Dorrego (67,6 mm) en la etapa de floración, fase del ciclo fenológico en la que el cultivo puede sufrir lavado de polen en la atmósfera y perjudicar el rendimiento a cosecha (Galán *et al.*, 1988; Gómez del Campo y Rapoport, 2008).

Tabla 21. Precipitaciones en floración durante el período 2005-2017.

Precipitaciones en floración (mm)			
Año	Puan	Dorrego	Cabildo
2005	44,0	65,2	55,8
2006	39,0	18,3	15,2
2007	45,2	52,5	17,2
2008	17,2	32,7	12,4
2009	56,4	76,4	63,8
2010	61,0	130,9	35,6
2011	52,6	87,8	46,8
2012	93,2	49,0	28,2
2013	39,9	33,0	24,6
2014	34,3*	220,0*	35,8
2015	252,4*	62,8*	41,8*
2016	31,0*	28,2*	20,4*
2017	7,6*	22,1*	21,0*
Media ± dS	59,5 ± 61,6	67,6 ± 55,4	32,2 ± 16,2

**precipitaciones durante el período de floración observado en los años evaluados (capítulo 3). Los valores restantes corresponden al período de floración promedio de los 4 años de estudio para Puan y Dorrego y de 3 años para Cabildo.*

Los valores de temperatura registrados en septiembre, octubre y noviembre (**Tabla 22**) son menores a los hallados en otras áreas olivaderas de Argentina, por ejemplo en Catamarca y La Rioja capital, donde la temperatura promedio en primavera es de 23,0°C y de 22,8°C respectivamente. En Sevilla y Jaén (España) la temperatura promedio en esa estación es de 19,0°C y 17,0°C respectivamente (Gómez del Campo *et al.*, 2010), valor que podría aproximarse a los de la región SOB.

Tabla 22. Temperaturas medias para los meses de septiembre, octubre y noviembre

		Temp. (°C) antes y durante floración			
sitio	mes	2014	2015	2016	2017
Puan	sep	12,7	10,7	11,3	11,5
	oct	15,8	11,5	13,8	14,1
	nov	17,9	18,2	18,1	16,9
Dorrego	sep	13,4	10,8	11,7	12,3
	oct	14,7	12,2	14,1	14,7
	nov	17,3	18,7	18,8	16,4
Cabildo	sep	13,8	11,2	11,7	12,4
	oct	16,1	12,2	14,9	14,8
	nov	18,6	19,4	19,2	16,9

En nuestro estudio se contabilizaron los días con temperaturas mayores o iguales a 30°C durante el período de floración para cada sitio. La descripción a partir de 13 años de datos climáticos indicó que en todos los sitios se registraron temperaturas mayores algún día en floración (**Tabla 23**). Sin embargo, en Dorrego hubo menos eventos de esta naturaleza (una media de 3,9 días). El número de días, en general para todos los años, fue menor a Puan y Cabildo, que tuvieron una media de 6,5 días. Estos resultados, sin duda, están condicionados por la duración de la floración en cada sitio (que será mencionada más adelante). La probabilidad de ocurrencia de esta temperatura fue del 31% en Puan y Cabildo y 14% en Dorrego (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). En comparación con zonas olivareras de similar latitud, si bien en el sur de España y el centro-sur de Italia las temperaturas máximas hacia el fin de floración oscilan entre los 28-30°C y los 23-30°C respectivamente, los valores no superan los 30°C (Aguilera *et al.*, 2013).

Tabla 23. Número de días con temperaturas $\geq 30^{\circ}\text{C}$ durante el periodo de floración.

Días con temperatura $\geq 30^{\circ}\text{C}$ en floración			
<i>Año</i>	Puan	Dorrego	Cabildo
2005	8	6	6
2006	8	3	6
2007	6	2	7
2008	16	12	13
2009	8	2	2
2010	3	0	3
2011	2	6	7
2012	4	4	5
2013	10	6	13
2014	3*	2*	6
2015	4*	4*	6*
2016	9*	4*	7*
2017	2*	0*	4*
Media \pm dS	6,5 \pm 4,0	3,9 \pm 3,2	6,5 \pm 3,3

**temperaturas $\geq 30^{\circ}\text{C}$ durante el período de floración observado en los años evaluados (capítulo 3). 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.*

3.2. Desarrollo fenológico de la cv. Arbequina y su relación con el clima local.

3.2.1. Brotación de olivos cv. Arbequina

Se presentan los años 2014, 2015 y 2016 del estudio fenológico desde la salida del reposo de las yemas hasta el desarrollo del fruto (**Figura 9**).

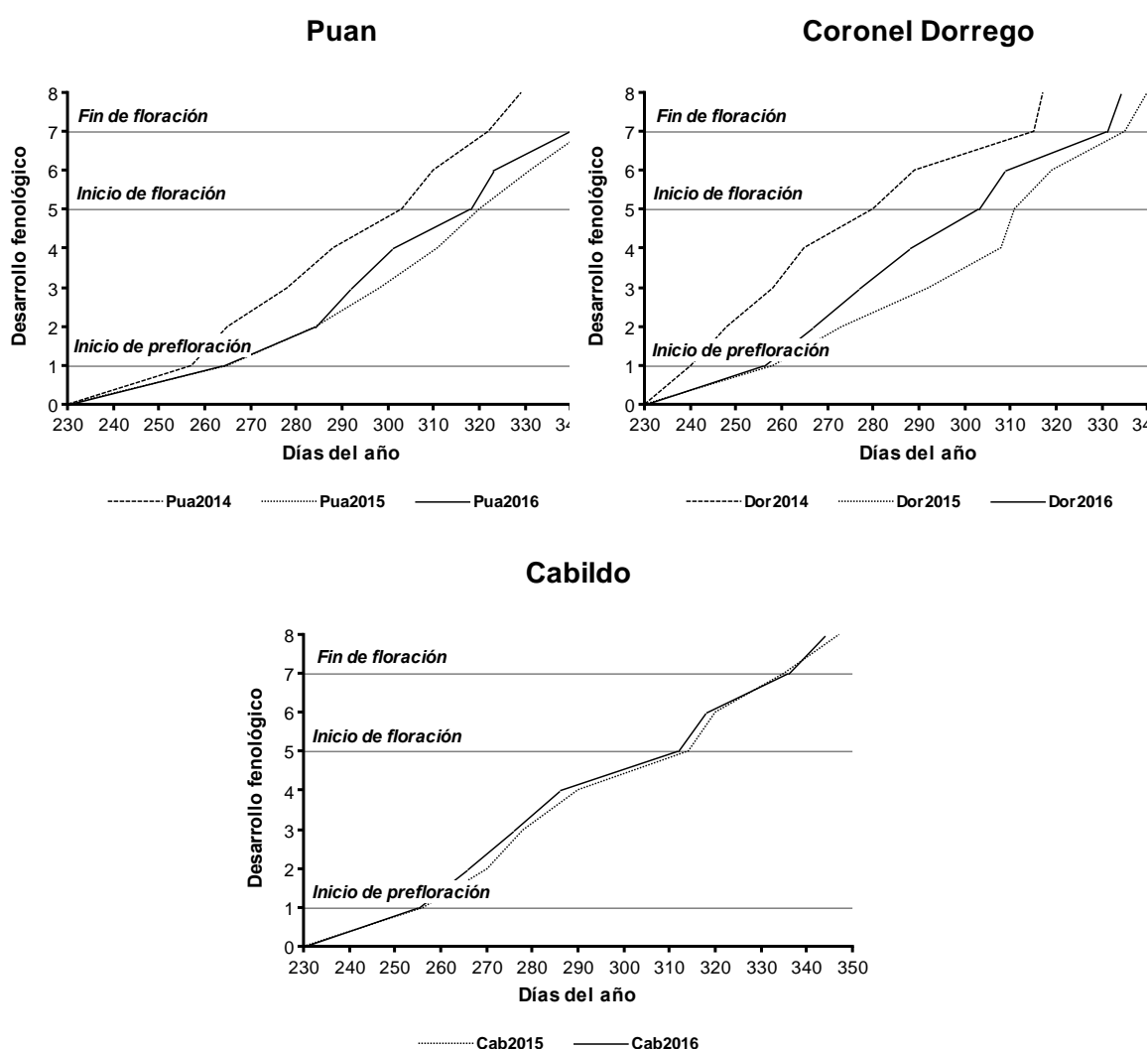


Figura 9. Estados fenológicos del olivo en los sitios Puan (Pua), Dorrego (Dor) y Cabildo (Cab). Años 2014, 2015 y 2016.

La brotación ocurre cuando se activan las yemas una vez finalizada la dormancia. Se pudo observar una marcada anticipación en la salida del receso invernal de las yemas fructíferas en el año 2014 para las dos localidades evaluadas ese año. Los años 2015 y 2016 se comportaron de manera muy similar en los tres sitios, siendo este último año el más adelantado. La fase de

brotación se dio entre el 14 y 25 de septiembre en Puan, entre el 28 de agosto y el 13 de septiembre en Dorrego y el 12 y 13 de septiembre (años 2016 y 2015 respectivamente) en Cabildo. Diferencias en las características climáticas propias de cada zona de estudio podrían explicar la variabilidad observada. Varios autores afirman que la principal causa en la variación de la fenología de un sitio respecto a otro es la diferencia de temperatura (Wielgolaski, 2003; Milla *et al.*, 2009; Aguilera, 2012; Jochner *et al.*, 2012). La temperatura del suelo en invierno, o quizás otros factores relacionados con el funcionamiento de la raíz, podrían causar bajo potencial hídrico de la hoja y cierre de los estomas a pesar de un alto potencial hídrico del suelo y una baja demanda atmosférica en los meses de invierno (Cornic y Mássacci, 1996). Pavel y Fereres (1998) encontraron evidencias de que la disminución del potencial hídrico de hoja estaba asociada a la temperatura del suelo, pero no se conoce a ciencia cierta la mecánica del proceso. Cuenya *et al.* (2017) afirmaron que el incremento de la temperatura del suelo provocó un aumento en la brotación en el cultivo de caña de azúcar y Camacho (1995) y Andreini *et al.* (2008) indicaron que, luego de la acumulación de horas frío, temperaturas más elevadas inducirían a la brotación de las yemas en el olivo. 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), por lo que podría suponerse que la temperatura del suelo fue mayor en 2014. En Dorrego la temperatura media de invierno fue similar en 2014 y 2015 (10,0°C y 10,1°C) y menor en 2016 (9,7°C). En el año 2015 la temperatura media de invierno en Cabildo fue mayor a 2016 (10,8°C y 10,0°C). Si bien estos registros no explicarían totalmente la variación en las fechas de brotación, consideraremos también el registro de heladas. En Dorrego hubo una menor cantidad de temperaturas bajo 0°C en 2014 (3 heladas), seguido de 2016 (5 heladas) y 2015 (8 heladas) (**Tabla 10**), lo que podría indicar que existió un invierno menos riguroso y un adelantamiento de la fase de brotación en 2014, seguido de 2016. En Puan se observó mayor cantidad de heladas en 2015 (18) y registros similares en 2014 y 2016 (14 y 13 respectivamente) (**Tabla 9**). En Cabildo se registraron 11 heladas en 2015 y 15 heladas en 2016 (**Tabla 11**). Por otra parte, como se mencionó anteriormente, se ha demostrado que la temperatura del suelo también influye en la capacidad de absorción de agua. En el olivo, temperaturas por debajo de 15°C producen una reducción

drástica de la permeabilidad de las membranas que el agua debe atravesar en su camino desde la interfaz suelo-raíz hasta los haces xilemáticos. Por lo tanto la capacidad de absorción de las raíces se verá limitada por las bajas temperaturas, afectando la fotosíntesis y la transpiración de la planta (Villalobos y López-Bernal, 2017).

3.2.2. Inicio y duración de la floración en olivos cv. Arbequina

Las fechas del inicio de esta fase en los años de estudio oscilaron entre el 8 y 16 de noviembre en Cabildo, entre el 7 de octubre y 10 de noviembre en Dorrego y entre el 30 de octubre y 15 de noviembre en Puan (**Figura 10**). La duración de la floración varió entre 16-20 días en 2014, 12-17 días en 2015, 13-18 días en 2016 y 15-22 días en 2017. Por último, el orden relativo de la floración de la cv. Arbequina en el SOB representa otro aspecto a tener en cuenta. Esta variable se mantiene constante a través de los años, es decir, Dorrego florece primero y más tarde lo hacen Cabildo y por último Puan (salvo en el año 2017 donde se observó que el inicio de floración fue el 14 y 16 de noviembre en Puan y Cabildo respectivamente).

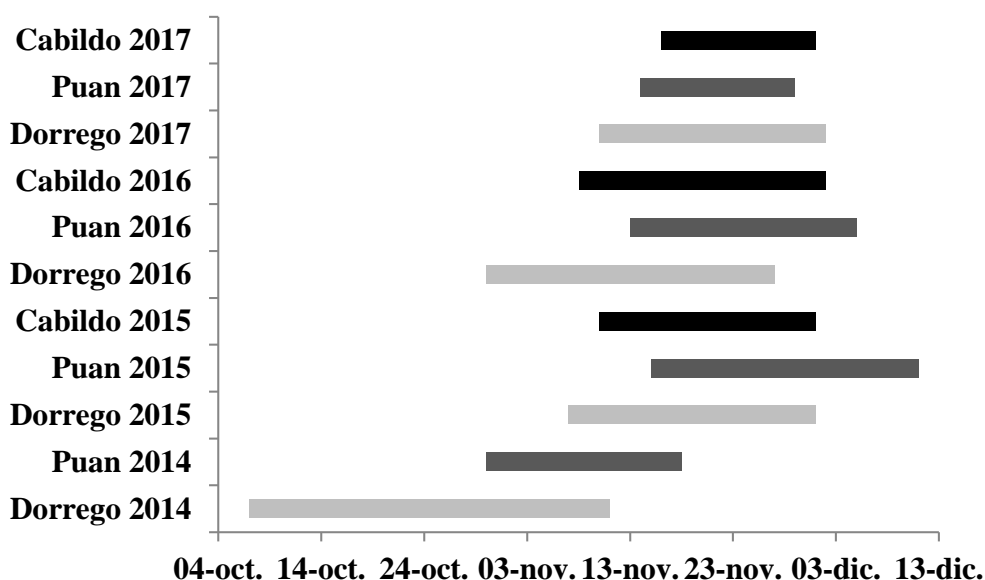


Figura 10. Períodos de floración para cada sitio de estudio. Años 2014, 2015, 2016 y 2017.

La floración de “Arbequina” en el SOB osciló entre el 7 de octubre y el 6 de diciembre, y la fecha media de inicio fue el 6 de noviembre (promedio entre las

fechas de inicio de floración en la región) para los cuatro años de observación (**Tabla 24**). Comparativamente al hemisferio norte encontramos que este resultado es muy similar al reportado por Rallo y Cuevas (2017) en la provincia de Córdoba (España), donde la época de floración media del olivo es el 10 de mayo, pero con diferencias de más de veinte días entre años. En comparación a otras zonas olivícolas de Argentina, en un estudio llevado a cabo en la Colección de Olivos del INTA San Juan, la floración de la cv. Arbequina se observó entre el 30 de septiembre y el 2 de noviembre (Babelis *et al.*, 2013). Gómez del Campo *et al.* (2010) mencionan que la floración en esa provincia comienza a fines de octubre, al igual que en Chilecito, La Rioja, mientras que en Catamarca la floración comienza a principios de octubre. 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 del país mencionado la floración ocurre desde mitad del mes de octubre hasta principios de noviembre (Conde *et al.*, 2019). En Sevilla y Toledo (España), la floración transcurre a mitad de mayo (noviembre en el Hemisferio Sur - H.S.) y en Úbeda (provincia de Jaén, España) a fin de mayo. En Almodóvar del Campo, España, 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.*, 2003).

La época de inicio de floración está ligada a las diferencias que ocurren en las precipitaciones y la temperatura. Según lo observado en la **Tabla 22**, las temperaturas promedio de 2014 en los dos meses anteriores a la plena floración (septiembre y octubre) en Dorrego (13,4°C y 14,7°C) y Puan (12,7°C y 15,8°C) presentaron los valores más altos en relación al resto de los años. Esto pudo haber provocado que la floración se adelantara durante ese año. Babelis *et al.* (2013) analizaron las temperaturas de los meses que anteceden al proceso de floración en San Juan y advirtieron que existía una relación entre el inicio de la misma y las temperaturas máximas de los meses de agosto y septiembre, mientras que en La Rioja y Catamarca las suaves temperaturas de primavera adelantan la floración del olivo, así como la fenología en general. Según Oteros (2014), los parámetros que más influyen en la intensidad de la floración en la provincia de Córdoba (España) son la precipitación durante el período de prefloración y la temperatura durante el mes de marzo (septiembre

en el hemisferio sur). En Cabildo la temperatura media de octubre más alta se registró en 2016 (14,9°C; **Tabla 22**), año en que se adelantó la fecha de floración respecto a 2015 y 2017 (**Figura 10**). En los años 2015 y 2017, el inicio de la floración estuvo más atrasado con respecto al 2014 y 2016 (**Tabla 24**), probablemente porque las temperaturas medias de primavera fueron más bajas en 2015 y 2017 (15,4°C y 16,2°C en Puan; 16,4°C y 16,6°C en Cabildo; 15,2°C y 16,4°C en Dorrego) respecto a las medias de 2014 y 2016 (17,4°C y 16,8°C en Puan; 18,0°C y 17,9°C en Cabildo; 16,6°C y 17,3°C en Dorrego).

La duración media de la floración se observó que fue más prolongada en Dorrego en relación a Puan y Cabildo (**Tabla 25**). Sin embargo, en el año 2015 Puan presentó la floración más extensa (26 días; **Figura 10**). Estas diferencias podrían atribuirse al mayor registro de precipitaciones en el transcurso de esa fase (252,4 mm en Puan, 62,8 mm en Dorrego y 41,8 mm en Cabildo durante el año 2015; **Tabla 21**). Según Saenz Laín *et al.* (2003), la duración de la fase comprendida desde que comienza la apertura de la corola hasta que la flor está completamente abierta se alarga cuando se producen precipitaciones en su transcurso. La floración más prolongada en Dorrego se observó en 2014 (35 días), en conjunto con una mayor pluviometría, con 220 mm acumulados durante floración (**Tabla 21**). La mayor duración también pudo estar afectada por la exposición a temperaturas más bajas debido al adelantamiento en la fecha de brotación y de floración, considerando que en el año 2014 la floración en Dorrego comenzó el 7 de octubre (14,7°C en octubre de 2014, en comparación a 18,7°C, 18,8°C y 16,4°C en noviembre de 2015, 2016 y 2017 respectivamente; **Tabla 22**). Según Lavee (1986), un período de floración prolongado, debido a bajas temperaturas, podría ser beneficioso ya que incrementaría el cuajado. Un estudio llevado a cabo en San Juan encontró grandes diferencias en la duración de la floración entre años, y advierte una clara relación entre la duración y la fecha de floración del olivo. Fechas precoces de floración provocarían períodos más prolongados de esta fase, en cambio fechas tardías generarían un efecto contrario. Sin duda esto tiene una relación directa con las temperaturas ambientales durante la época de floración del olivo en cada año evaluado (Babelis *et al.*, 2013). Grijalba *et al.* (2007) observaron un acortamiento de la duración de floración cuando las

temperaturas fueron más altas (registros de 32 a 36°C antes y durante floración). Además, temperaturas altas durante la antesis (floración) pueden provocar frutos partenocárpicos (FP) (Navarro-Ainza y López-Carvajal, 2013). Ayerza y Coates (2004) reportaron una mayor cantidad de FP en áreas donde la temperatura del aire alcanza los 41°C durante esa etapa, seguramente relacionado a una baja viabilidad del polen. En Puan y Cabildo la floración mas prolongada fue en el año 2015, en coincidencia con el mayor aporte de agua de lluvia en cada sitio (252 y 42 mm respectivamente). La duración de floración en el 2017 posiblemente fue menor debido a que las fechas tardías de floración podrían haber provocado períodos más cortos de esta fase, como ya se mencionó (Babelis *et al.*, 2013). A su vez, las precipitaciones durante la fase mencionada fueron más escasas en 2017 (22, 8 y 21 mm en Dorrego, Puan y Cabildo, respectivamente).

Tabla 24. Comienzo (día juliano) y duración (días) de las etapas de 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 (\pm 4,7)	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)

Tabla 25. Comienzo (día juliano) y duración (días) de las etapas de prefloración (PRE) y floración (FLO) para cada sitio (media 2014-2017 \pm desvío estándar).

Sitio	ComienzoPRE	DuraciónPRE	ComienzoFLO	DuraciónFLO
Puan	263,7 (\pm 6,1)	49,7 (\pm 4,0)	314,5 (\pm 7,7)	21,0 (\pm 3,9)
Dorrego	251,3 (\pm 9,9)	47,0 (\pm 6,6)	302,3 (\pm 15,4)	28,3 (\pm 4,8)
Cabildo	255,5 (\pm 0,7)	58,0 (\pm 0,0)	315,7 (\pm 3,8)	21,3 (\pm 2,5)
Media	257,0 (\pm 8,5)	50,8 (\pm 6,2)	310,4 (\pm 11,6)	23,7 (\pm 5,1)

3.2.3. Relaciones entre el comportamiento fenológico del olivo y las variables climáticas

A continuación se detallan los resultados del test de correlación de Pearson para encontrar posibles relaciones entre variables climáticas de temperatura, humedad y precipitaciones en distintas épocas del año y las

etapas fenológicas comienzo y duración de prefloración y floración. De las 34 variables climáticas analizadas en este trabajo, en la siguiente tabla se encuentran detalladas las más significativas en conjunto con los estadios fenológicos. Dentro de ellas, la temperatura fue la variable que más influyó en el comienzo y duración de las fenofases analizadas (**Tabla 26**), lo que coincide con lo reportado por Rojo Úbeda (2014) en Toledo, España.

Tabla 26. 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: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

La brotación estuvo correlacionado positivamente sólo con la temperatura mínima de agosto (*TminAgo*), a medida que ésta aumenta provoca un adelanto en la ruptura de la dormición de las yemas. Esto significa que luego de la acumulación de horas frío, temperaturas más elevadas inducirían a la brotación de las yemas. Como se señaló anteriormente para la **Figura 9**, esta relación podría explicarse con un aumento de la temperatura del suelo (Villalobos y López-Bernal, 2017).

Se observó una correlación inversa entre la duración de la floración (*DuraciónFLO*) y las temperaturas en prefloración (*TmaxPRE*, *TminPRE*). Esto pudo deberse a una coincidencia en las temperaturas de prefloración (expuesto en la sección anterior a partir de la **Tabla 22**) y floración, es decir, primaveras

calurosas que aumentan la temperatura en ambas fases y provocan una menor duración de floración. Las precipitaciones en floración (*PrecFLO*) correlacionaron positivamente con la duración de esta etapa, confirmándose que las precipitaciones aumentan su duración en “Arbequina”.

3.3. Evaluación del crecimiento y rendimiento

3.3.1. Experimento 1 - Influencia del año de implantación sobre variables de crecimiento y el rendimiento.

Hubo diferencias significativas en la longitud del brote (Lb) ($p=0,0078$) entre edades de plantación (**Tabla 27**). Por el contrario, las variables nudos por brote (Nb) y diámetro basal de los brotes (Db) no variaron estadísticamente entre plantaciones. A pesar de ello, el mayor crecimiento en longitud del brote se tradujo paralelamente en un mayor número de nudos, es decir de hojas y yemas. Este mayor número de hojas se traduciría en frutos más grandes, debido al aumento en la cantidad de órganos fuente para la fruta (Contuliano, 2011).

Tabla 27. Crecimiento de primavera y comparación del volumen de copa y rendimiento en olivares de 9, 7 y 5 años de edad. Ciclo 2015-2016.

Edad plantación	crecimiento primavera			VC m ³ árbol ⁻¹	SC m ² árbol ⁻¹	Ct cm	Rendimiento kg árbol ⁻¹	Ef product. kg m ⁻³
	Lb (cm)	Nb	Db (mm)					
9	11,8(±1,5) a	11,6(±1,2)	2,0(±0,2)	16,6(±4,0) c	31,9(±5,0) c	54,8 (±5,5) c	54,4 (±13,8) b	3,3 (±0,5) a
7	13,1(±1,3) ab	12,0(±1,4)	2,1(±0,1)	10,2(±4,7) b	21,4 (±6,6) b	40,0 (±8,1) b	46,1 (±15,8) b	4,8 (±0,9) b
5	14,6(±2,3) b	12,8(±2,5)	2,2(±0,2)	5,5(±1,1) a	14,1 (±2,2) a	31,3 (±1,7) a	30,8 (±6,0) a	5,7 (±0,9) c

El análisis estadístico se realizó utilizando los datos corregidos con logaritmo neperiano. Los valores son las medias y errores estándar de las medias sin transformar. *Lb* longitud de brote, *Nb* nudo por brote, *Db* diámetro basal del brote, *VC* volumen de copa, *SC* superficie de copa, *Ct* circunferencia de tronco, *Ef product* eficiencia productiva. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (Fisher, $p \leq 0,05$). Solo se realizó el análisis de comparaciones de pares cuando el ANOVA resultó significativo.

Se seleccionó la variable volumen de copa (VC) por ser la que mejor ajustaba (residuos vs. predichos) y para realizar un análisis más complejo de la eficiencia productiva (EP), utilizándola como covariable del rendimiento (R) (**Tabla 28**). Si bien estos resultados son similares a los hallados en el ANOVA (en donde realizamos EP a partir del cociente entre R y VC), utilizando a VC como covariable no existen diferencias estadísticas entre 5 y 7 años, por lo tanto, difiere de lo observado anteriormente, donde EP variaba para todas las edades (**Tabla 28**). Por lo tanto, 5 y 7 comparten la misma ecuación por ser paralelas coincidentes, mientras que 9 es una recta paralela no coincidente (**Figura 11**).

Ecuaciones que surgen a partir del gráfico de la **Figura 11**:

$$5 \text{ y } 7 \text{ años } \succ R = 8,55 \times VC^{0,74}$$

$$9 \text{ años } \succ R = 6,77 \times VC^{0,74}$$

Tabla 28. Análisis de la covarianza del Rendimiento (R) utilizando como variable predictora a VC.

Fuente de var.	F	p	coefic.	5 años 7 años 9 años			
edad	3,4123	0,05		DMS	b	b	a
Covarible (VC)	75,5786	< 0,0001	0,7383	5%			

Por lo tanto, el rendimiento relativo en función de VC demostró que existen diferencias de comportamiento entre plantas de 5 y 7 años respecto a 9 años. Este análisis nos permite predecir qué producción obtendremos a partir del volumen de la copa en plantaciones con características similares en Dorrego. El rendimiento en olivares de 5 a 7 años se predice a partir de una misma ecuación mientras que a los 9 (u 8) años existe una modificación de la misma. Esto quiere decir que, si un ejemplar de 5 o 7 años tuviera el mismo volumen de copa que otro de 9 años, en promedio, los primeros tendrán mayor rendimiento. Es decir, se necesitaría mayor volumen de copa para obtener la misma producción (**Figura 11**). Este cambio coincide con el momento de máxima cosecha en un olivar intensivo, el cual oscila entre los 7-10 años (Tous *et al.*, 2007). Las isolíneas marcadas en el gráfico nos permiten observar que con plantaciones de 9 años la eficiencia productiva es baja (valores menores a 4 kg m^{-3}), mientras que en 5 y 7 los valores son más altos (valores de EP entre $4 \text{ y } 7 \text{ kg m}^{-3}$).

Esta metodología es aplicable a un olivar de la región de Dorrego y con el mismo modelo de plantación, es decir, uno intensivo. En un sistema de plantación en seto, o superintensivo, a partir del 6^o-7^o año empiezan a detectarse descensos de producción debido a la falta de iluminación y aireación en el interior de las copas de los olivos, provocando también una mayor incidencia de algunas plagas y enfermedades (Tous *et al.*, 2007). Este efecto podría compararse al que ocurre en nuestro estudio. A medida que las plantas aumentan su edad, aumenta el volumen de su copa y el rendimiento, pero

comienza a disminuir la eficiencia de producción (mayor volumen de copa improductivo).

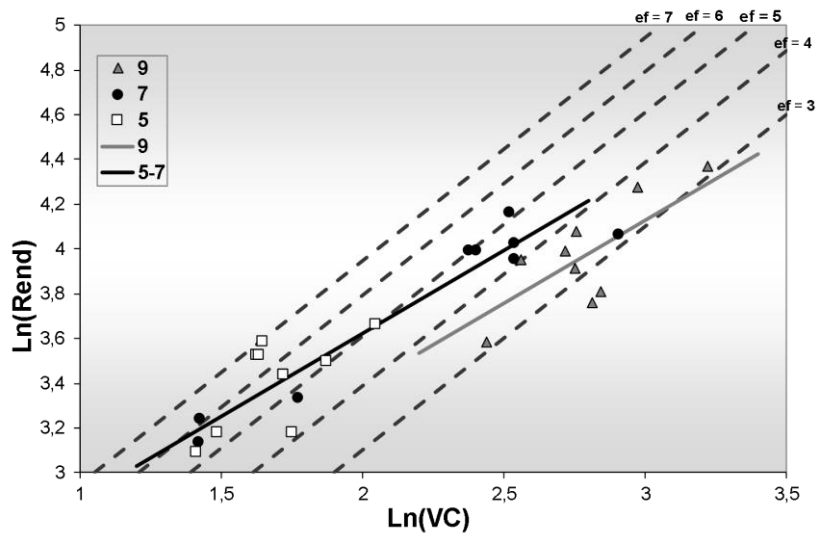


Figura 11. Rendimiento en función del volumen de copa en árboles con 9, 7 y 5 años de edad en Coronel Dorrego. Los datos fueron transformados aplicando logaritmo neperiano.

El análisis de componentes principales (CP) utilizando la edad de la plantación como criterio de clasificación, reflejó una explicación de la variación total del 81,5 % (CP1+CP2) (**Figura 12**). Se puede observar claramente la separación de las plantaciones de 5 y 9 años sobre el CP1, el cual explica la mayoría de la variabilidad. El porcentaje de variación reconstruido (porcentaje de reconstrucción) para cada variable en la CP1 y 2 fue mayor al 82 % en cada una de ellas excepto Db (37%). Esto significa que las plantas de 9 años estuvieron relacionadas positivamente con las variables de “forma” del cultivo (VC, SC y Ct), así como también con R. Las mismas tuvieron mayor aporte al eje 1 ($r = 0,97; 0,97; 0,96$ y $0,87$ respectivamente) con un porcentaje de reconstrucción en el gráfico de 99, 99, 93 y 82% respectivamente. La plantación de 5 años tuvo una relación negativa con estas variables. A su vez, podemos deducir del gráfico que las mismas están relacionadas entre sí. Lb y Db, en conjunto con Nb, tuvieron un comportamiento perpendicular a las variables de forma lo cual significa que no estarían relacionadas. Sin embargo, Lb y Db demostraron una buena relación con el eje 1 ($r = -0,77$ y $-0,48$ respectivamente). Nb se relacionó principalmente al eje 2 ($r = 0,86$).

Los árboles de 5 años estuvieron relacionados positivamente con la eficiencia productiva (kg m^{-3}), revelando una mayor producción por unidad de volumen, es decir, una mayor eficiencia como se vio en el ANOVA; mientras que los ejemplares de 9 años tuvieron una relación negativa con la variable mencionada. Esto puede deberse en parte al mayor vigor que presentaron estas plantas por haber sido implantadas con anterioridad (Pastor y Humanes, 2006).

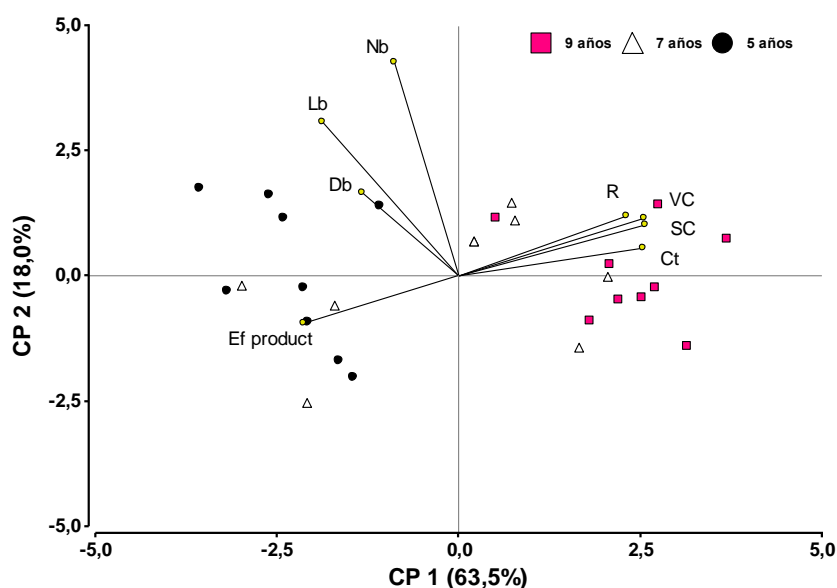


Figura 12. Biplot del análisis de componentes principales para los tres años de plantación. Los datos fueron transformados aplicando logaritmo neperiano. Lb longitud de brote, Nb nudos por brote, Db diámetro basal del brote, (crecimiento primavera); R: rendimiento por planta (kg planta^{-1}); Ct: circunferencia del tronco (cm); VC: volumen de copa ($\text{m}^3 \text{pl}^{-1}$); SC: superficie de copa ($\text{m}^2 \text{pl}^{-1}$); Ef product: eficiencia productiva (kg m^{-3}).

A partir del análisis exploratorio se realizó un análisis más detallado de la información (**Tabla 29**). Se observó que la correlación más alta se da entre las variables VC y SC con Ct. A su vez, las mismas presentan correlaciones altas con R. La variable Lb correlaciona positiva y significativamente con Nb, Db y EP; y negativamente con el resto de las variables. Al igual que en el biplot, se observó una buena relación de Lb con Nb (0,72), lo cual coincide con Muñoz (2008) que asegura que el mayor crecimiento de brote se logra por un mayor número y largo de entrenudos. Haciendo hincapié en la siguiente temporada, esta información toma relevancia debido a que un mayor número de nudos va a

aumentar el número de yemas capaces de ser inducidas y por lo tanto potencialmente productivas. Sumado a esto, las yemas florales en el olivo se sitúan en las axilas de los nudos de la madera de un año, por lo tanto, la formación de brotes, su largo y número de nudos, condicionarán la producción del año siguiente (Ramírez, 2001). Las correlaciones significativas y negativas observadas entre Lb y las variables Ct, VC, SC, R y EP podrían deberse a una relación inversa entre las variables de producción de aceitunas y el crecimiento vegetativo.

Tabla 29. Correlaciones de Pearson entre variables de crecimiento.

	Lb	Nb	Db	Ct	VC	SC	R	Ef prod.
Lb	1	***	*	***	**	**	**	*
Nb	0,72	1	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Db	0,45	0,25	1	ns	ns	ns	ns	ns
Ct	-0,60	-0,25	-0,38	1	***	***	***	***
VC	-0,56	-0,14	-0,34	0,94	1	***	***	***
SC	-0,58	-0,15	-0,38	0,95	0,99	1	***	***
R	-0,52	-0,07	-0,26	0,89	0,91	0,89	1	**
Ef prod.	0,39	0,16	0,34	-0,75	-0,83	-0,83	-0,53	1

Correlaciones utilizando los datos corregidos con logaritmo neperiano. *Lb* longitud de brote, *Nb* nudos por brote, *Db* diámetro basal del brote, *Ct* circunferencia del tronco, *R* rendimiento por planta (kg planta^{-1}), *Ef prod* eficiencia productiva (kg m^{-3}), *VC* volumen de copa ($\text{m}^3 \text{planta}^{-1}$). *, **, ***, ns; correlación significativa a 0,05; 0,01; 0,001 y no significativo ($p > 0,05$), respectivamente.

Visto y considerando que las fórmulas extraídas de la bibliografía para calcular VC y SC utilizan elementos medidos a campo, se planteó estudiar las variables que intervienen en su cálculo (*Dcop* y *Hcop* respectivamente) y relacionarlas con el rendimiento. Además, debido a que se utilizan las mismas variables para estimar VC y SC, éstas se encuentran muy relacionadas entre sí. Por ello surge la necesidad de conocer cuál de las dos variables tiene mayor influencia sobre el porcentaje de varianza total (*Dcop* o *Hcop*).

Se observó que *Dcop* en relación al rendimiento intervino estadísticamente con un 81,5% en la explicación del modelo, mientras que *Hcop* lo hizo con un 68,5%. Utilizando las dos variables se obtuvo un 83,0%. Por este motivo se optó por utilizar únicamente *Dcop*. El análisis estadístico

expresó que las rectas entre años son paralelas y además coincidentes, con la misma pendiente y el mismo exponente para todas las edades (**Figura 13**).

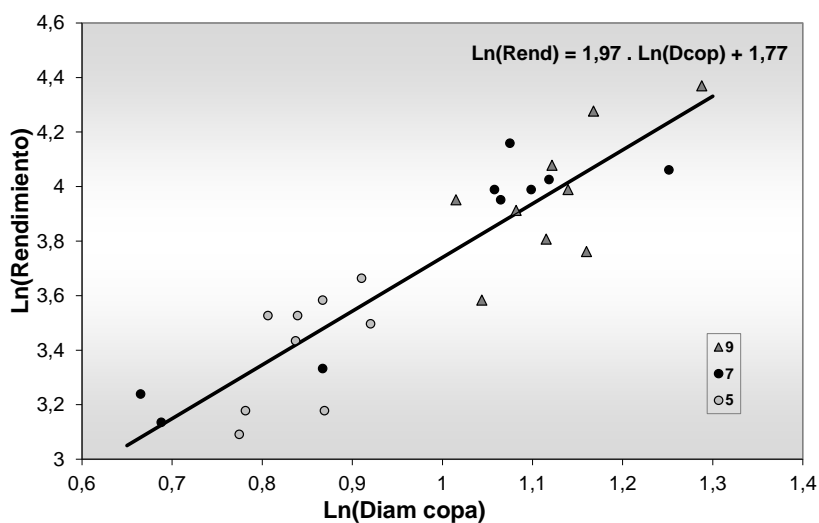


Figura 13. Predicción del rendimiento (Rend) a partir del diámetro de la copa (Dcop).

La ecuación que se propone como alternativa a VC y SC, obtenida a partir de la ecuación de la recta, y que utiliza únicamente el diámetro de copa es:

$$R = 5,87 * Dcop^{1,97}$$

Por lo tanto, se podría expresar como:

$$R = 6 * Dcop^2$$

Donde las variables se expresan como: *R* (kg) y *Dcop* (m).

Esta ecuación no reemplaza el concepto de eficiencia productiva ni las ecuaciones de VC y SC que aparecen en la bibliografía, sino que simplifica el modelo para predecir el rendimiento. Es decir, con *Dcop* logramos obtener el *R* estimado en plantaciones relativamente nuevas.

3.3.2. Experimento 2 - Influencia de los sitios evaluados sobre las variables de crecimiento y el rendimiento en el SOB

Para explorar las relaciones entre las proporciones de las distintas variables (VC, SC, Ct, R, EP, Lb, Nb y Db) y sitios evaluados, se realizó un

análisis de componentes principales (**Figura 14**). El análisis de componentes principales (CP), en este caso utilizando los ambientes como criterio de clasificación, reflejó una explicación de la variación total del 78 % (CP1+CP2), valor similar al obtenido en el biplot anterior. De dicho análisis se desprende una fuerte asociación entre las variables VC, SC, Ct y R, totalmente contraria a las variables Lb, Nb y Db (crecimiento de primavera), aspecto que se vuelve a repetir si lo comparamos con el análisis realizado en función de la edad de las plantaciones. Las primeras tuvieron mayor aporte al eje 1 ($r = 0,89$; $0,91$; $0,91$ y $0,89$ respectivamente) que explicó el 56 % de la variabilidad total. Las variables Lb y Nb estuvieron más relacionados al eje 2 ($r = 0,83$ y $0,73$ respectivamente), que en conjunto con Db ($r = 0,51$) explicaron el 22 % de la variabilidad. La eficiencia productiva, a diferencia del ensayo llevado a cabo para comparar edades en Dorrego 1, estuvo asociada al conjunto de variables de forma, con un aporte mayor en el eje 1 ($r = 0,75$). Lo que podemos observar del gráfico es que las variables que más se diferencian entre ambientes son VC, SC, Ct, R y EP. Respecto al resto de las variables (Lb, Nb y Db), podría considerarse que el brote se desarrolla de manera similar indistintamente del sitio.

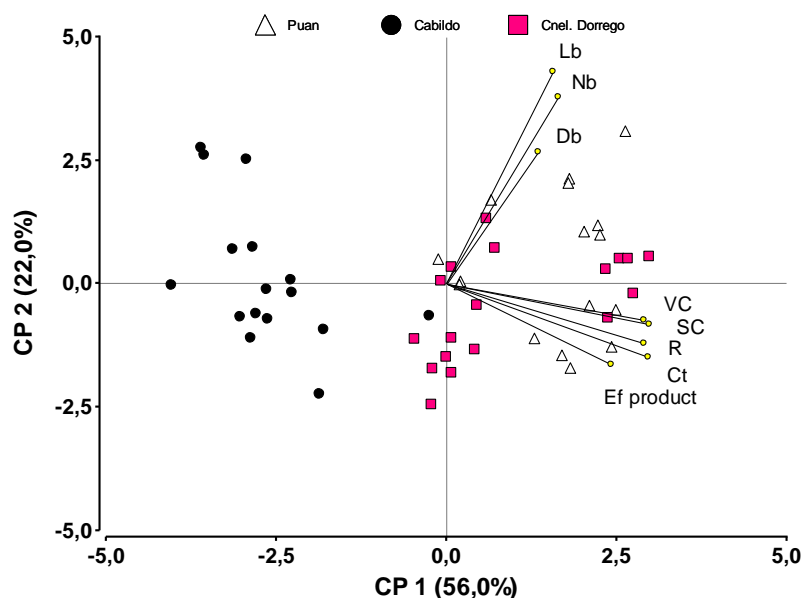


Figura 14. Biplot del análisis de componentes principales para los tres sitios evaluados. Los datos fueron transformados aplicando logaritmo neperiano Lb: longitud de brote, Nb: nudos por brote, Db: diámetro basal del brote (crecimiento primavera); R: rendimiento por planta (kg planta^{-1}); Ct: circunferencia del tronco (cm); VC: volumen de copa ($\text{m}^3 \text{pl}^{-1}$); SC: superficie de copa ($\text{m}^2 \text{pl}^{-1}$); Ef product: eficiencia productiva (kg m^{-3}).

Se observó que hubo crecimiento vegetativo tanto en primavera como en verano-otoño para todos los sitios evaluados. El crecimiento de brotes vegetativos ocurrió principalmente entre fines de septiembre y mitad de diciembre. Estos resultados concuerdan con los reportados previamente por Huarcussi (2016), quien describió que el 80 % del largo final del brote ya estaba desarrollado en el mes de diciembre. Sin embargo, el desarrollo de estos brotes está fuertemente influenciado por la carga frutal debido a la competencia por asimilados y nutrientes. Contuliano (2011) afirmó que los brotes de olivo alcanzaron el 80% del crecimiento entre el 29 de diciembre y el 20 de enero. Esto puede deberse, en parte, a las altas temperaturas de verano (en diciembre y enero se registraron temperaturas por encima de 38°C en todos los sitios), que como ya fue mencionado conducen progresivamente al cierre de estomas, lo que impide el intercambio gaseoso y la fotosíntesis (Rallo y Cuevas, 2017).

Si bien en todos los sitios estudiados el crecimiento de primavera (**Tabla 30**) fue mayor al de verano-otoño, Cabildo fue el sitio con mayor crecimiento de brotes en verano-otoño respecto de Puan y Dorrego para las dos temporadas (**Tabla 31**). Las precipitaciones de verano y otoño de 2016 y 2017 pueden haber provocado un crecimiento compensatorio (390 y 270 mm en verano y otoño de 2016 y 371 y 187 mm en verano y otoño de 2017; **Tabla 20**) que superó al de Puan y Dorrego. En todos los sitios evaluados el crecimiento de primavera para el año 2015 superó al de 2016. Por lo tanto, es probable que las mayores precipitaciones observadas ese año en primavera, en comparación al año siguiente, hayan tenido una influencia positiva en el crecimiento de los brotes (491, 191 y 216 mm en 2015 y 260, 135 y 143 mm en 2016, en Puan, Dorrego y Cabildo respectivamente). Un estudio realizado en Aimogasta (La Rioja) reveló una mayor elongación de los brotes cuando se aumentó la cantidad de agua aplicada, incluso por encima del 100% de la evapotranspiración durante toda la temporada (Searles *et al.*, 2011). Caride (2014) también coincide en que las precipitaciones favorecen el crecimiento primaveral de los brotes. En zonas donde se desarrolla la olivicultura en Argentina, como la región olivarera de Catamarca, La Rioja, San Juan y Mendoza, también se ha visto que las temperaturas medias resultan

fundamentales para el desarrollo de las brindillas, siendo más altas que en la cuenca mediterránea. En la región olivarera argentina (NOA) el período de crecimiento se desarrolla desde principios de primavera hasta finales de otoño, donde el crecimiento de los brotes puede llegar hasta el metro de longitud. Éste exceso de vigor complica la mecanización del cultivo (Garrido, 2018) y podría ser explicado como una respuesta al riego en interacción con las altas temperaturas de la primavera que ocurren en esa región (Searles *et al.*, 2011). En el sur de España, el crecimiento vegetativo del olivo ocurre principalmente en primavera y algo más lento en otoño (Caride, 2014), en coincidencia con nuestra zona.

Tabla 30. Crecimiento de primavera en brotes del año. Variables: longitud (Lb), número de nudos (Nb) y diámetro basal (Db) del brote.

Temporada	Sitio	Lb	Nb	Db
2015-2016	Dorrego	11,8 a	11,58 b	2,0 a
	Puan	16,48 b	11,56 b	4,7 b
	Cabildo	10,93 a	8,08 a	2,0 a
2016-2017	Dorrego	8,0 a	6,5 a	2,11 a
	Puan	10,6 b	6,9 a	2,4 b
	Cabildo	7,6 a	6,3 a	2,07 a

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (Fisher, $p \leq 0,05$).

Tabla 31. Crecimiento de verano-otoño en brotes del año. Variables: longitud (Lb), número de nudos (Nb) y diámetro basal (Db) del brote.

Año	Sitio	Lb	Nb	Db
2015-2016	Puan	3,65 a	2,94 a	0,37 a
	Cabildo	6,65 b	4,11 a	0,71 a
	Dorrego	0,59 a	0,48 a	0,16 ab
2016-2017	Puan	0,86 a	0,44 a	0,08 a
	Cabildo	2,55 b	2,41 b	0,23 b

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (Fisher, $p \leq 0,05$).

Con el fin de obtener una visión general de la relación entre Lb y Nb se graficaron los datos de crecimiento de primavera de los tres sitios (**Figura 15**). El largo y número de nudos por brote se relacionaron con un $R^2=0,69$. Cuando se extiende el largo del brote aumenta la cantidad de nudos, mientras que el

diámetro basal lo hace con una pendiente casi nula. Bugnon y Bessis (1968) y Mullins *et al.* (2006) afirmaron que existe una relación directa entre el número de nudos formados y el crecimiento de la rama en el cultivo de la vid, producto de la división y elongación del meristema apical del brote.

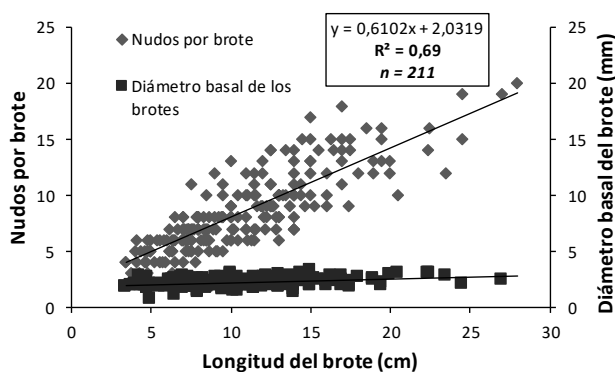


Figura 15. Crecimiento de primavera en el SOB. Se observan los nudos y diámetro basal por brote en función de la longitud de los mismos.

Se realizaron las ecuaciones de predicción de la superficie ($\text{m}^2 \text{pl}^{-1}$) y del volumen ($\text{m}^3 \text{pl}^{-1}$) de la copa a partir del perímetro del tronco (cm) (**Figura 16**).

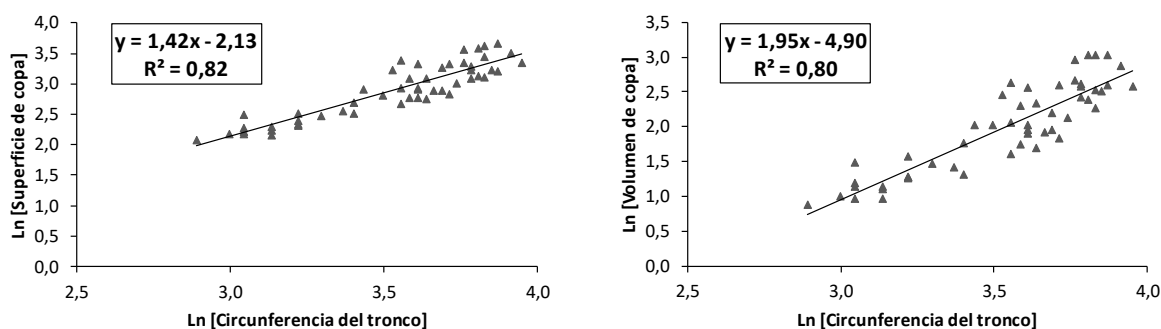


Figura 16. Estimación de la superficie y del volumen de la copa por olivo a partir del perímetro del tronco.

Es posible observar un buen ajuste para SC y VC en función de Ct. A partir de las ecuaciones de las rectas podemos describir las ecuaciones generales: $SC=0,12 \cdot Ct^{1,42}$ y $VC=0,01 \cdot Ct^{1,95}$; con SC en $\text{m}^2 \text{pl}^{-1}$, VC en $\text{m}^3 \text{pl}^{-1}$ y Ct en cm. Diversos autores (Ebel *et al.*, 1995; González-Altozano y Castel, 1999) afirman que el incremento de la sección del tronco da una idea del crecimiento vegetativo ocurrido. La predicción de la superficie de la copa y del

volumen de copa a partir de la circunferencia del tronco (cm) determinó una relación altamente significativa ($p < 0,0001$) en ambos casos, con un $R^2 = 0,82$ y $0,80$ respectivamente.

Martínez *et al.*, (2016) encontraron un alto grado de concordancia entre las medidas de volumen de copa obtenidas de forma manual y los obtenidos por sensores remotos. En nuestro estudio esta tarea podría verse facilitada con una estimación rápida del volumen de la estructura arbórea a partir de la medición del perímetro del tronco y así obtener el volumen de copa total por hectárea (en función de la cantidad de plantas por hectárea), lo cual podría ser de utilidad para optimizar el manejo del olivar. Goswami *et al.* (2014) indicaron que la productividad de un árbol depende de muchos factores, pero principalmente el manejo de la vegetación, el cual dependerá del patrón de crecimiento, número de plantas por hectárea y de las técnicas de poda, ya que todo ello afecta a la cantidad de luz interceptada.

Estos resultados pueden ser de utilidad para predecir un volumen óptimo de la copa, estado donde se obtienen los mejores rendimientos. Si se supera el volumen de copa óptimo que el medio es capaz de mantener, se producirán inconvenientes como consecuencia de un mayor déficit hídrico estival (caída de frutos y defoliaciones).

Además, se analizó R a partir de C_t , SC y VC , siendo la primera la variable que mejor ajustó ($R^2 = 0,71$) (**Figura 17**). Este valor fue mayor al que mencionó Ramírez (2001) para la cv. Arbequina, quien obtuvo un $R^2 = 0,55$. Los valores hallados por este autor a partir de la superficie de la copa ($R^2 = 0,54$) y del volumen de copa ($R^2 = 0,53$) fueron levemente inferiores a los encontrados en nuestro estudio ($R^2 = 0,57$ y $0,56$ respectivamente). Esto nos indica que la forma más segura de obtener una estimación del rendimiento en términos generales y para plantas de 7 años en el SOB, es a través del perímetro del tronco (C_t), variable que es más sencilla de medir a campo. A su vez, Moses y Enriquez (1979) también encontraron correlaciones fuertes y positivas entre la circunferencia del tronco y el rendimiento en plantas de cacao. Las ecuaciones generales que se describen a partir de los gráficos son: $R = 0,02 * C_t^{3,75}$,

$R=9,12*SC^{2,47}$ y $R=376,15*VC^{1,74}$; con R en kg, Ct en cm, SC en $m^2\ pl^{-1}$ y VC en $m^3\ pl^{-1}$.

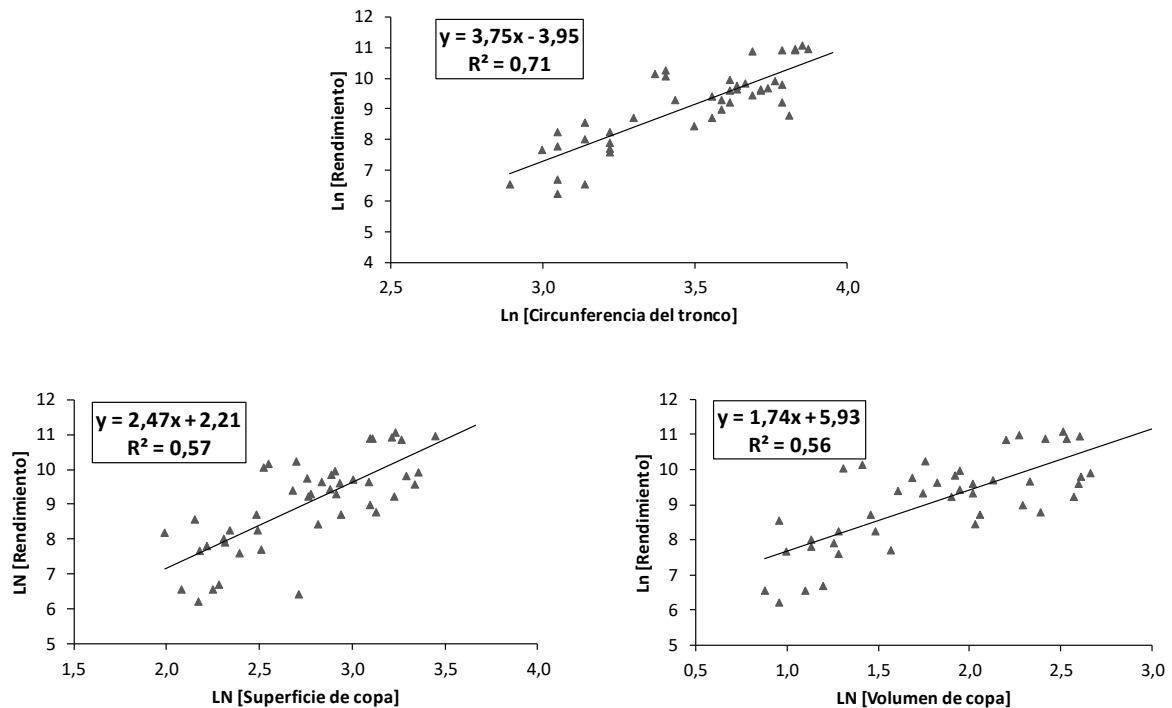


Figura 17. Predicción del rendimiento a partir del perímetro de tronco, Volumen de copa y Superficie de copa.

Atendiendo a la climatología del SOB se ha analizado la influencia que tienen las variables precipitación, temperatura y comienzo y duración de prefloración y floración sobre la producción del olivo (Rendimiento) y sobre las variables Lb, Nb y Db. De este modo se conocerán las condiciones que propician una mejor producción. El crecimiento de los brotes estuvo relacionado positivamente con las precipitaciones, principalmente en noviembre (época de floración) y diciembre (**Tabla 32**). Esto coincide con lo mencionado anteriormente y con lo expresado por Quezada *et al.* (2005), quienes afirman que la longitud de los brotes está influenciada por la cantidad de agua que se le aplique al olivar.

Tabla 32. Coeficientes de correlación entre las condiciones climáticas y el rendimiento y crecimiento primaveral de longitud, nudos y diámetro basal de los brotes.

Variable	Rendimiento <i>n</i> = 36	Lb <i>n</i> = 54	Nb <i>n</i> = 54	Db <i>n</i> = 54
TmaxAgo	ns	-0,45***	-0,72***	ns
TmaxSep	-0,66***	ns	-0,47***	ns
TmaxOct	ns	-0,58***	-0,78***	-0,31*
TmaxNov	-0,78***	ns	ns	ns
TmaxDic	ns	-0,48***	-0,78***	ns
TmaxJun-FLO	-0,72***	ns	ns	ns
TmaxJun-PRE	-0,69***	0,31*	0,28*	ns
TmaxPRE	-0,41*	ns	-0,37**	ns
TminJul	-0,43**	-0,43**	ns	-0,77***
TminAgo	ns	0,49***	ns	0,62***
TminSep	0,41*	0,44**	ns	0,64***
TminSON	ns	-0,71***	-0,78***	-0,50***
TminPRE	ns	-0,37**	-0,64***	ns
TmJul	-0,74***	ns	ns	-0,40**
TmAgo	-0,43**	-0,37**	ns	-0,32*
TmSep	ns	-0,71***	-0,83***	-0,52***
TmOct	ns	-0,65***	-0,80***	-0,41**
TmNov	-0,67***	-0,44**	-0,37**	-0,51***
TmPRE	ns	-0,32*	-0,63***	ns
TmJJA	-0,71***	ns	ns	-0,34*
ComienzoPRE	0,36*	0,49***	0,30*	0,54***
DuraciónPRE	-0,81***	ns	ns	0,30*
ComienzoFLO	-0,34*	0,43**	ns	0,50***
DuraciónFLO	0,83***	ns	ns	ns
PrecFLO	ns	0,68***	0,64***	0,90***
PrecSep	0,73***	0,35**	ns	0,48***
PrecOct	0,42*	0,56***	0,35**	0,56***
PrecNov	ns	0,69***	0,60***	0,84***
PrecDic	ns	0,68***	0,57***	0,90***
PrecFeb	-0,35*	-	-	-
HRMay-PRE	0,65***	ns	ns	ns
HRJul-PRE	0,65***	ns	ns	ns

Correlaciones de Pearson con $p < 0,05$. En negrita y cursiva se marcaron las correlaciones mayores a 0,6. *Lb* *Nb* y *Db* longitud, número de nudos y diámetro basal de brotes, *Tmax* temperatura máxima, *Tmin* temperatura mínima, *Tm* temperatura media, *Prec* precipitaciones (mm), *May* mayo, *Jun* Junio, *Jul* julio, *Sep* septiembre, *Oct* octubre, *Nov* noviembre, *Dic* diciembre, *JJA* junio julio y agosto, *SON* septiembre octubre y noviembre, *PRE* prefloración, *FLO* floración. *, **, ***, *ns*; correlación significativa a 0,05; 0,01; 0,001 y no significativo ($p > 0,05$), respectivamente.

El desarrollo del fruto está estrechamente ligado a las condiciones medioambientales (Beltrán *et al.*, 2004). Las variables climáticas que influyeron en el rendimiento estuvieron relacionadas negativamente mediante coeficientes de correlación altos con la temperatura máxima de noviembre (*TmaxNov*). En un estudio para predecir los rendimientos de fruta de la cv. Coratina a partir de

las variables térmicas, Carrasco (2016) halló resultados muy similares. Estos resultados podrían estar relacionados a que el crecimiento del tubo polínico en el ovario se inhibe cuando la temperatura durante la floración supera los 30°C y que las temperaturas elevadas durante el período de floración son perjudiciales puesto que conducen a un elevado grado de aborto ovárico y a una menor producción de olivas.

Las precipitaciones durante el mes de octubre (*PrecOct*) se relacionaron positivamente con el rendimiento de las plantas. Este comportamiento pudo deberse a que el mayor efecto del aporte hídrico sobre los frutos se produce durante la fase I del crecimiento de los mismos, manifestando así la importancia de este primer estado de crecimiento del fruto (Prioetti y Antognozzi, 1996). Las lluvias de febrero (*PrecFeb*) se correlacionaron negativamente con el rendimiento. En nuestro estudio un exceso de lluvias en otoño (312 y 335 mm, 207 y 187 mm y 265 y 135 mm en Puan, Cabildo y Dorrego en los años 2016 y 2017, respectivamente; **Tabla 19**) pudo haber causado pérdidas de frutos, lo que se tradujo en un menor rendimiento (Quiroga, 2014).

El rendimiento del cultivo se relacionó negativamente y mediante índices altos con la duración de prefloración (*DuraciónPRE*) y positivamente con la duración de floración (*DuraciónFLO*), siendo esta última la variable que más influyó. Este comportamiento nos indica que, al prolongarse la floración, provocaríamos un incremento de la carga debido al aumento del porcentaje de flores abiertas y cuajado de los frutos, de la mano de un incremento en la cantidad de agua disponible para el cultivo durante esta fase (Pierantozzi, 2012). Además, ambos comportamientos ocurren simultáneamente si tenemos en cuenta que las fechas precoces de floración prolongarían la duración de esta fase, en cambio fechas tardías de inicio de floración generarían cortas duraciones.

Según Sinclair y Seligman (2000), la previsión de la producción de los cultivos resulta de gran interés para agricultores e instituciones agrarias públicas, puesto que una estimación precoz de la cosecha final ayuda en gran medida a planificarla y supone una importante fuente de información de cara a

la planificación de los recursos humanos y económicos necesarios para la recogida del fruto, además de optimizar las estrategias de comercio y distribución internacional (Galán *et al.*, 2008).

La información generada en este estudio es de vital importancia para la región, ya que no sólo está centrada en la sistematización de las observaciones fenológicas, sino también en destacar la necesidad de que se continúen realizando ensayos de campo, para calibrar los modelos de rendimiento y contar en un futuro con una red de información de producción del olivo en el SOB.

4. Conclusiones

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 en el SOB cuyo destino es la producción de aceite, especialmente de la cv. Arbequina, ha planteado la necesidad de generar información regional acerca de cómo se comporta esta variedad en relación al clima local.

El estudio de la fenología de “Arbequina” ha demostrado que existe una variabilidad geográfica dentro del SOB; aquellos olivares cercanos al mar presentaron una ruptura de latencia e inicio de floración más temprano que los que se encuentran en áreas más continentales. Los sitios evaluados en el SOB cumplen con los requerimientos de frío para que ocurra la brotación de las yemas con el aumento de las temperaturas primaverales en la cv. Arbequina. En los sitios donde se realizó el estudio climático, la brotación de las yemas fructíferas está fuertemente influenciada por la posibilidad de heladas en esa época. Los brotes que resulten afectados no llegarán a floración, por lo tanto, esto podría provocar una pérdida parcial o total de la producción, aspecto que se observa principalmente en Puan y Cabildo.

No se observaron temperaturas extremas máximas en floración, las cuales incrementarían las pérdidas de rendimiento (mayores a 37,8°C) en esta fase. Por el contrario, ocurrieron en la época estival, durante los meses de diciembre, enero y febrero. Al final de ciclo de la planta debemos tener los recaudos para que el momento de recolección de aceitunas se anticipe a las heladas de otoño. En Dorrego sería recomendable cosechar antes del 27 de mayo para que el riesgo de daños por heladas sea bajo, mientras que en Puan y Cabildo se debería realizar antes del 25 de abril y el 4 de mayo, respectivamente.

El SOB presenta condiciones climáticas aptas para que se produzca un crecimiento vegetativo en primavera y otro en verano-otoño, aunque de menor magnitud. Esta información es valiosa para la región, en donde no existen precedentes de estudio de este tipo, sino más bien se extrae información de

otras zonas olivareras de Argentina, ambientes donde el olivo expresa un excesivo crecimiento, ocasionado por las altas temperaturas.

El rendimiento, volumen y superficie de copa, circunferencia de tronco y eficiencia productiva son las variables que más se diferenciaron entre ambientes. Las mismas no tienen relación con las variables del brote (longitud, nudos y diámetro basal de los brotes).

Se obtuvo una ecuación de predicción del rendimiento a partir del diámetro de la copa. La misma puede utilizarse para predecir la producción en plantaciones relativamente nuevas con 5 a 9 años de edad para la región de Coronel Dorrego. Esta ecuación simplifica el modelo para predecir el rendimiento por ser una medición directa y fácil de obtener y puede requerir un ajuste en futuros estudios.

Si bien el olivo se ha instalado como alternativa productiva en la región aumentando la superficie año tras año, los resultados observados en este trabajo deberían ser el punto de partida para que futuras investigaciones estudien el comportamiento de diferentes variedades del olivo en el SOB. Además, en los sitios evaluados existe un alto riesgo de daños por heladas en "Arbequina" en momentos críticos como es la brotación de yemas para futuras flores. Por este motivo se recomienda un estudio agroclimático más exhaustivo para poder determinar zonas de mayor aptitud. Estos resultados serán de vital importancia para inversiones futuras de la cv. Arbequina o variedades nuevas, principalmente para las zonas más cercanas al mar, que es donde se observaron las mejores condiciones.

5. Bibliografía

Aguilera, F. 2012. Modelos de previsión precoz de cosecha en el olivo (*Olea europaea* L.) basados en información aerobiológica, fenológica y meteorológica: diseño experimental aplicado al olivar giennense. Instituto de Estudios Giennenses, Jaén, España.

Aguilera, F. y Ruiz, L. 2009. Período de floración del olivo (*Olea europaea* L.) en la provincia de Jaén. Expoliva. Jaén, España.

Aguilera, F.; Orlandi, F.; Ruiz, L.; Galán, C.; Mozo, H.G.; Bonofiglio, T.; Oteros, J.; de la Guardia, C.D.; Trigo, M.d.M.; Pérez, R. y Fornaciari, M. 2013. La floración del olivo (*Olea europea* L.) como elemento bioindicador de cambios en el clima mediterráneo: análisis preliminar. XVI simposio Expoliva. Jaén, España.

Aguirre, M.E.; Elisei, V.R.; Commegna, M.A. y Santamaría, R.M. 2011. Evolución de la salinidad en un suelo irrigado del sudoeste bonaerense. *Ciencia del suelo*, 29.

Alcalá, A. R. y Barranco, D. 1992. Prediction of flowering time in olive for the Cordoba olive collection. *HortScience*, 27(11), 1205-1207.

Alcántara, C.; Soriano, M.A.; Saavedra, m. y Gómez, J.A. 2017. Sistemas de manejo del suelo. En: Barranco, D., Fernández-Escobar, R. y Rallo, L. (eds), *El Cultivo del Olivo* (pp. 335-417). Madrid, España: Eds. Mundi-Prensa.

Almorox, J.; Suñer, L.G.; Laurent, G. y Aguirre, M.E. 2015. Análisis de las temperaturas en dos áreas de interés olivícola del sudoeste bonaerense, Argentina. *Revista de Climatología*, 15.

Amiotti, N.M.; Blanco, M.dC.; Schmidt, E.S. y Díaz, S. 2010. Variabilidad espacial de los suelos y su relación con el paisaje. En Paolini, JD (ed), *Ambiente y recursos naturales del partido de Bahía Blanca* (pp.127-174). Bahía Blanca, Argentina: Ed UNS.

Andreini, L.; Bartolini, S.; Guivarch, A.; Chriqui, D. y Vitagliano, C. 2008. Histological and immunohistochemical studies on flower induction in the olive tree (*Olea europaea* L.). *Plant Biology* 10(5): 588-595.

Antunes, A.F.D.S. 1999. Acortamiento del periodo juvenil en olivo mediante tecnicas de forzado de crecimiento y elección de los genitores (tesis de posgrado). Universidad de Córdoba, Córdoba, España.

Armendáriz, I.; Aparicio, E.; Pérez-Sanz A. y Nicolás, J. 2009. El olivo en Valladolid: un cultivo en expansión. Dpto. de Hortofruticultura. Equipo de Protección Vegetal. ITACyL. Agricultura (p. 122-127).

Ayerza, R. y Coates, W. 2004. Supplemental pollination: Increasing olive (*Olea europaea* L.) yields in hot, arid environments. *Experimental Agriculture* 40(4): 481-491.

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

Babelis, G.C.; Vita Serman, F. y Sierra, E.M. 2013. Adaptación agroclimática del olivo y otras especies frutales en el Valle del Tulum. 180 p. Fundación ArgenINTA. San Juan, Argentina.

Ruiz B., N.; Lorite T., I.J.; Gavilán Z., P.; Navarro G., C. y Estévez G., J. 2007. Efecto de las heladas en el olivar andaluz: identificación y evaluación, análisis térmico y técnicas de teledetección. Junta de Andalucía, IFAPA, Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa. Sevilla, España.

Bambozi, D.A. y Corriolo, E.P. 2006. Propiedades de dos suelos del campo experimental del ACA en Cabildo. Tesis de grado. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina.

Barranco, D. 2017. Variedades y patrones. En D. Barranco, R. Fernández-Escobar y L. Rallo (Editores), *El Cultivo del Olivo* (pp. 65-95). Madrid, España: Eds. Mundi-Prensa.

Beltrán, G.; Berja, C.; Aguilera, M.P. y Uceda, M. 2005. Influencia de las heladas en las características fisico-químicas del aceite de oliva. Expoliva Symposium. Jaén, España.

Beltrán, G.; del Río, C. y Sánchez, S. 2004. Seasonal changes in olive fruit characteristics and oil accumulation during ripening process. *J. Sci. Food Agric.* 84: 1783-1790.

Bohn, V.Y., Piccolo M.C. y Perillo, G.M.E. 2011. Análisis de los períodos secos y húmedos en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Rev. Climatol.*, 11:31-43.

Bongi, G. y 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, W.H. y Hartmann, H.T. 1961. Studies on self and cross pollination of olives under varying temperature conditions. *Calif. Agric.* 15 (3), 4–5.

Bueno, L. 2010. Comparación de dos sistemas de formación en olivo cv. Arbequina. Jornadas de Ciencia y Técnica en la UNSJ. San Juan, Argentina.

Bugnon, F. y Bessis, R. 1968. Biologie de la vigne. Acquisitions recentes et problemes actuels. Masson et CIE. Monografie 3. París. 160p.

Callejas, R. 2001. Formación de la yema floral en el olivo y sus consecuencias sobre el añerismo. *Aconex* 71: 16-23.

Camacho, F. 1995. Olivo: biología floral. Pp 69-75. In: Porras, A., J. Cabrera y M. Soriano (Ed). *Olivicultura y Elaiotecnia*. Ediciones Universidad de la Castilla-La Mancha, Castilla La Mancha, España. 323p.

Campo, A.M.; Bagnulo, C.B. y Pacheco, R. 2012. Cambios en el régimen pluviométrico y sus efectos sobre la producción agropecuaria en el partido de Puan. *Nadir: rev. electron. geogr. Austral*.

Campo, A.; Ramos, M. y Zapperi, P. 2009. Análisis de las variaciones anuales de precipitación en el suroeste bonaerense, Argentina. 12º Encuentro de Geógrafos de América Latina. Montevideo, Uruguay.

Campo de Ferreras, A.M.; Capelli de Steffens, A.M. y Diez, P.G. 2004. El clima en el suroeste bonaerense. Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina.

Cantamutto, M.; Bertucci, C. y Huarte, D. 2016. El trigo en el sudoeste bonaerense. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Regional Buenos Aires Sur.

Carbó, J.L.E. 2002. Recuperación del potencial productivo de olivos afectados por heladas: técnicas de cultivo. Informaciones técnicas. Nº 111. *Surcos de Aragón*, (79), 38-41.

Caride Q., A.C. 2014. Efecto de la variabilidad climática sobre la producción del Olivo en España. *Avances en ciencias de la tierra*, (5), 55-71. Tesis de grado. Universidad de Vigo. Vigo, España.

Carrasco D., V.R. 2016. Relación entre las temperaturas y el rendimiento del olivo (*Olea europaea*) en la zona de Lanchas-Pisco. Tesis de posgrado. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.

Castillo-Llanque F. y Rapoport, H. 2011. Relationship between reproductive behavior and new shoot development in 5-year-old branches of olive trees (*Olea europaea* L.). *Trees*, 25 (5), 823-832.

Cazanga S., R.; Leiva M., C.; von Bennewitz A., E.; Quiñones D., X.; Fredes M., C.; Hernández B., J.P.; Norambuena V., P.; Varas T., F. y Retamal G., M. 2013. Antecedentes técnicos y económicos para la producción de Olivo en la Región del Maule. Chile.

Cimato, A.; Cantini, C. y Sani, G. 1989. Climate-phenology relationships on olive cv. Frantoio. In *Internacional Symposium on Olive Growing* 286 (pp. 171-174).

Civantos, L.; Contreras, R. y Grana, R.M. 1992. Obtención del aceite de oliva virgen. Ed. Agrícola Española, S. A. 47-56.

CNA. Censo Nacional Agropecuario. 2018. https://www.indec.gob.ar/ftp/cuadros/publicaciones/cna2018_resultados_preliminares_agricultura.pdf.

COI. Consejo Oleícola Internacional. 2019. <http://www.internationaloliveoil.org/>

Conde, P.; Villamil, J.J.; Bruzzone, J.; Leoni, C.; Zoppolo, R. y Villamil, J. 2019. Catálogo de cultivares de olivo. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Uruguay.

Contreras A., N. 2009. Caracterización Agro-climática y potencial del sector olivícola en Coronel Dorrego y Río Colorado. Tesis de grado. Bahía Blanca, Argentina.

Contuliano C., E.D. 2011. Efectos de la poda de verano en olivos (*Olea europea* L.) variedad Coratina. Tesis de grado. Santiago, Chile.

Cornic, G. y Massacci, A. 1996. Leaf photosynthesis under drought stress. In: Baker, N.R. (Ed). Photosynthesis and Environment, Kluwer Academic publishers, The Netherlands. Pp.347-366.

Cuenya, M.I.; García, M.B.; Romero, C.D.; Romero, E.R. y Chavanne, E.R. 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.

De la Rosa, R.; Rallo, L. y Rapoport, H.F. 2000. Olive floral bud growth and starch content during winter rest and spring budbreak. *HortScience* 35 (7): 1223-1227.

De Melo-Abreu, J.P.; Barranco, D.; Cordiro, A.M.; Tous, J.; Rogado, B.M. y Villalobos, F.J. 2004. Modelling olive flowering date using chilling for dormancy release and thermal time. *Agric. For Meteorol* 125: 117-127.

Denney, J.O. y McEachern, R. 1983. An analysis of several climatic temperature variables dealing with olive reproduction. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 108 (4), 578–581.

Denney, J.O.; McEachern, G.R. y Griffiths, J.F. 1985. Modeling the thermal adaptability of the olive (*Olea europaea* L.) in Texas. *Agricultural and Forest Meteorology*, 35(1-4), 309-327.

Di Rienzo, J.A.; Casanoves, F.; Balzarini, M.G.; Gonzalez, L.; Tablada, M. y Robledo, C.W. 2013. InfoStat versión 2013. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Dos Santos Ramos, A.M. 2000. Inducción floral y latencia de las yemas del olivo (*Olea europaea* L.). Tesis doctoral. Universidad de Córdoba, Córdoba, España.

Ebel, R.C.; Proebsting, E.L. y Evans, R.G. 1995. Deficit irrigation to control vegetative growth in apple and monitoring fruit-growth to schedule irrigation. *HortScience* (30):1229-1232.

Elias S., R. y Barbero, A.C. 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. y Aguirre, M.E. 2011. Variables meteorológicas de dos sitios de interés olivícola de Coronel Dorrego. *AgroUNS*, 15: 17-20.

Eloy, M. 2011. Análisis de los factores que influyen en la vecería del olivo (*Olea europaea* L.) en la Región Tacna. Tesis de posgrado. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú.

Enilton, F.C.; Rogério, O.J.; Janni, A.H. y Vagner, B.C. 2015. Oliveira: aspectos técnicos e cultivo no Sul do Brasil. Brasília. Brasil. ISBN 978-85-7035-531-7.

Ezpeleta, A.M. 1994. Disponibilidades térmicas para los cultivos en el fondo de la depresión de Sariñena. Lucas Mallada. Revista de Ciencias, (6), 171-190.

FAO. 2020. FAOSTAT. Estadísticas mundiales.

Fernández-Escobar, R. 2017. Fertilización. En: Barranco, D., Fernández-Escobar, R. y Rallo, L. (eds), El Cultivo del Olivo, 7ª edición: pp. 419-490. Madrid, España: Eds. Mundi-Prensa

Fernández-Escobar, R.; de la Rosa, R.; León, L.; Gómez, J.A.; Testi, F.; Orgaz, F.; Gil-Ribes, J.A.; Quesada-Moraga, E.; Trapero, A. y Msallmen, M. 2012. Sistemas de producción en Olivicultura. *Olivae* 118; pp. 56-68.

Fernández-Escobar, R.; Gómez-Valledor, G. y Rallo, L. 1983. Influence of pistil extract and temperature on in vitro pollen germination and pollen tube growth of olive cultivars. *J. Hort. Sci.* 58:219-227.

Ferreyra, E.; Sellés Van, G. y Sellés, M. 2001. Riego deficitario controlado en olivos. Estrategias de riego para enfrentar situaciones de escasez de agua en frutales. Santiago, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA Nº 59. 48 p.

Fiorino P. y Mancuso, S. 2000. Olivo e basse temperature: danni da freddo, adattamento e resistenza. *L'Informatore Agrario* 22: 55-59.

Fitter, A.H. y Hay, R.K.M., 1987. *Environmental Physiology of Plants*. Academic Press, London.

Fontanazza, G. y Preziosi, P. 1969. L'Olivo e le base temperature. *Osservazioni su*, 37, 737-745.

Fournier, L.A. y Charpantier, C. 1978. El tamaño de la muestra y la frecuencia de las observaciones en el estudio de las características fenológicas de los árboles tropicales. *Cespedesia*. Suplemento 2. Vol 7, 25-26.

Galán, C.; Vázquez, L.; García-Mozo, H y Domínguez, E. 2004. Forecasting olive (*Olea europaea*) crop yield based on pollen emission. *Field Crops Research* 86, 43-51.

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.

Galán, C.; García-Mozo, H.; Vázquez, L.; Ruiz, L.; De la Guardia, C.D. y Domínguez Vilches, E. 2008. Modeling Olive Crop Yield in Andalucía, Spain. *Agronomy Journal*. 100 (1): 98-104.

Galán, C.; Infante García-Pantaleón, F.; Ruiz de Clavijo Jiménez, E. y Domínguez Vilches, E. 1988. Variación estacional y diaria del polen de *Olea europaea* L. en la atmósfera de Córdoba en relación con los parámetros meteorológicos.

Galán, C.; García-Mozo, H.; Vázquez, L; Ruiz, L. y Días de la Guardia, C. 2005. Previsión de la producción oleícola en Andalucía mediante datos de emisión polínica. Simposio Expoliva. Jaén ,España.

García T., O. 2016. Modelización de la transpiración del olivo y el almendro en condiciones de déficit hídrico. Tesis de posgrado. Universidad de Córdoba. Córdoba, España.

García M., J.F.; Cheverría G., E.Y. y Jaramillo G., L.S. 2013. Diferencias climáticas entre las regiones tradicionalmente productoras de olivo (*Olea europaea* L.) en el mundo y el Alto Ricaurte en Colombia. *Cultura Científica*, (11), 124-132.

García R., L.; Lacasta D., C. y Meco, R. 2002. Control ecológico de la mosca del olivo: Eficacia de trampas y atrayentes alimenticios.

Garrido, P.P. 2018. Respuesta vegetativa y producción del olivar en set al riego deficitario controlado durante primavera en San Juan, Argentina. Tesis de grado. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.

Gómez del Campo, M; García V., C.A. y Barranco, D. 2004. Evaluación de la tolerancia a helada de diez variedades de olivo. *Agricultura: Revista agropecuaria*, (869), 958-963.

Gentili, J.O., Zapperi, P.A., Gil, V. y Campo, A.M. 2013. Eventos extremos en el sur de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Diseño preliminar de una base de datos. Actas del 14^o Encuentro de geógrafos de América Latina "Reencuentro de saberes territoriales latinoamericanos". Lima, Perú, 1-11.

Gómez del Campo, M. y Barranco, D. 2005. Field evaluation of frost tolerance in 10 olive cultivars. *Plant Genetic Resources: characterization and utilization* 3(3): 385-390.

Gómez del Campo, M.; Morales-Sillero, F.; Vita Serman, F.; Rousseaux, M.C. y Searles, P.S. 2010. El Olivar en los Valles áridos del Noroeste de Argentina (provincias de Catamarca, La Rioja y San Juan). *Economía, Ciencia y Técnica. Olivae* N 114. p 23-44. ISSN: 0255-996X.

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

González M., F.J.; Candau, P. y Marroquín S., A. 1999. Previsión de cosecha de aceitunas en el olivar sevillano, en función del polen atmosférico, así como de datos climáticos y agronómicos. In: *Calendario Meteorológico*. Pp. 271-280.

González-Altozano, P. y Castel, J.R. 1999. Regulated deficit irrigation in Clementina de Nules citrus trees. I. Yield and fruit quality effects. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* (74):706-713.

González Zafra, A. 2017. Estudio de la mejora de la floración en olivar por efecto del estrés hídrico. Tesis de grado. Sevilla, España.

Goswami, A.K.; Nagaraja, A. y Thakre, M. 2014. Canopy Management of Fruit Crops. *Biotech*, IARI, New Delhi.

Griggs, W.H., Hartmann, H.T., Bradley, M.V., Iwakiri, B.T. y Whisler, J.E., 1975. Olive Pollination in California. Bulletin 869. University of California, Davies, CA.

Grijalva C., R.L.; Macías D., R.; López C., A.; Robles C, F. y Navarro A., J.C. 2014. Comportamiento de cultivares de olivo para aceite (*Olea europaea* L) bajo condiciones desérticas de Sonora. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 5(1), 17-27.

Hackett, W.P. y Hartmann, H.T. 1967. The influence of temperature on floral initiation in the olive. *Physiologia Plantarum*, 20(2), 430-436.

Hartmann, H.T. 1953. Effect of winter chilling on fruitfulness and vegetative growth in the olive. *Am. Soc. Hort. Sci.* 62, 184–190.

Hartmann, H.T. y Ospitz, K.W. 1980. Olive Production in California, rev. ed. Leaflet 2474, Univ. of California Div. of Agric. Sci., Davis.

Hartmann, H.T. y Porlingis, I. 1957. Effect of different amounts of winter chilling on fruitfulness of several olive varieties. *Botanical Gazette*, 119(2): 102-104.

Hartmann, H. y Porlingis, I. 1958. Fruitfulness in the olive: Winter chilling may explain higher yields of orchards in the interior Central Valley than of those in southern California. *California Agriculture*, 12(5), 6-11.

Hernández, F. 2010. Patrimonio y turismo en la construcción de nuevos territorios. El partido de Coronel Dorrego, provincia de Buenos Aires, como caso de estudio. *Huellas*, 14, 117-149.

Huarcusi C, AA. 2016. Fenología del olivo (*Olea europea* L.) var. Sevillana en una campaña productiva en la yarada-tacna. Tesis de grado. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.

Humanes, J. y Civantos, M. 1993. Producción de aceite de oliva de calidad. Influencia del cultivo. Colección: Apuntas 21/92. Ed. D. G. de

Investigación, Tecnología y Formación Agroalimentaria y Pesquera da la Junta de Andalucía. Sevilla

Iturrieta, T., J.F. 2012. Análisis de las variables climáticas temperatura, horas frío y dotación de recursos hídricos sobre la producción del cultivo del olivo (*Olea europea* L.) en el valle de Azapa, comuna de Arica. Tesis de posgrado. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna, Perú.

Janick, J. 2007. Fruits of the Bible. *HortScience* 42, 1072–1076.

Jochner, S.C.; Sparks, T.H.; Estrella, N. y 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.

Kaniewski, k; Van Campo, E.; Boiy, T; Terral, J.F.; Khadari, B. y Besnard, G. 2012. Primary domestication and early uses of the emblematic olive tree: palaeobotanical, historical and molecular evidence from the Middle East, *Biol Rev* 87: 885-899.

Koubouris, G.C.; Metzidakis, I.T. y Vasilakakis, M.D. 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.

Kour, D.; Bakshi, P.; Wali, V.K.; Sharma, N.; Sharma, A. y Iqbal, M. 2018. Alternate Bearing in Olive-A Review. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*, 7(9), 2281-2297.

Lang, G. A. 1987. Dormancy: a new universal terminology. *HortScience*, 22 (5): 817-820.

Larcher, W. 1970. Kakteresistenz und uberwinterungsvermogen mediterraner Holzplanzer. *Oecologia Plantarum* 5: 267-286.

Lavee, S. y Avidan, N. 1994. Protein content and composition of leaves and shoot bark in relation to alternate bearing of olive trees (*Olea europaea* L.). *Acta Hort.* 356:143-147.

Lavee, S. 1986. Olive. En: MONSELISE, S. Handbook of fruit set and development. CRC Press. Pp. 261-276.

Lavee, S. 1996. Biology and physiology of the olive. In: International Olive Oil Council. World Olive Encyclopedia. Plaza and Janes, Barcelona, Spain, pp.59-110.

Lombard, P.B.; Callan, N.W.; Dennis J.F.G.; Looney, N.E.; Martin, G.C.; Renquist, A.R. y Mielke, E.A. 1988. Towards a standardized nomenclature, procedures, values, and units in determining fruit and nut tree yield performance. HortScience (USA).

Lopes, E.; Mondragão-Rodrigues, F.; Vivas, P.; de Carvalho, G.P. y Alcino, L. 2019. Fenología floral del olivo en tres variedades tradicionales portuguesas y su relación con las variables ambientales. Simposium Expoliva. Jaén, España.

Loussert, R. 1980. El olivo. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, España. 532p.

Lucena, B.; Manrique, T. y Méndez, M.A. 2017. La olivicultura en el mundo y España. En D. Barranco, R. Fernández-Escobar y L. Rallo (eds), El Cultivo del Olivo, 7ª edición (pp. 1-33). Madrid, España: Eds. Mundi-Prensa.

Lupín, B.; Tedesco, L.; Pérez, S.M. y Cincunegui, C. 2017. Aceite de oliva del Sudoeste Bonaerense: aspectos relevantes de la producción y el consumo. X Jornadas Interdisciplinarias de Estudios Agrarios y Agroindustriales Argentinos y Latinoamericanos.

Mancuso, S. 2000. Electrical resistance changes during exposure to low temperature measure chilling and freezing tolerance in olive tree (*Olea Europaea* L.) plants. *Plant, Cell and Environment* 23: 291-299.

Marini, M.F. 2008. El avance de la frontera agrícola en el área adyacente al sistema Sierras de la Ventana (Buenos Aires, Argentina). *Investigaciones geográficas*, (47), 111-121.

Marcos, D. 2010. El frío en Olivicultura. Boletín N° 9. www.variedadesdeolivo.com.

Martínez, J.; Agüera, J.; Sarri, D.; Lisci, R.; Vieri, M. y Pérez-Ruiz, M. 2016. Desarrollo de aplicación para la estimación del volumen de estructuras arbóreas con LIDAR terrestre. II Simposio Nacional de Ingeniería Hortícola. Almería, España.

Mas, T.E. 2013. Efectos del régimen de riego sobre el crecimiento vegetativo, la cosecha y el contenido graso del fruto en un cultivo intensivo de olivos (*Olea europaea* L., cv. Arbosana). Tesis de pregrado. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.

Mérida, P. 2018. Seguimiento de la fenología general en el período de floración y fructificación del olivo en el término municipal de Arico. Tesis de grado. Universidad de La Laguna. Santa Cruz de Tenerife, España.

Merodo, F.R. y Mosna, J.S. 2016. Caracterización de dos suelos del norte del partido de Puan. Tesis de grado. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina.

Milla, R.; Giménez-Benavides, L.; Escudero, A. y Reich, P.B. 2009. Intra and interspecific performance in growth and reproduction increase with altitude: a case study with two *Saxifraga* species from northern Spain. *Functional Ecology*, 23(1): 111-118.

Moorthy, I; Miller, J; Berni, JAJ; Zarco-Tejada, P; Hu, B y Chen, J. 2011. Field characterization of olive (*Olea europaea* L.) tree crown architecture using terrestrial laser scanning data. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(2), 204-214.

Morelló, J.R; Motilva, M.J.; Ramo, T. y Romero, M.P. 2003. Effect of freeze injuries in olive fruit on virgin olive oil composition. *Food Chem* 81, 547-553.

teMormeneo, I. 2008. Horas de frío y sumas térmicas en la predicción del inicio de la etapa reproductiva en plantas de olivo (*Olea europea* L.). *Actas V*

Jornadas Interdisciplinarias del Sudoeste Bonaerense. Bahía Blanca, Argentina.

Mormeneo, I.; Deriugin, A. y Murray, M.G. 2012. Fenología de la floración del olivo (*Olea europea* L.) en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires y su relación con el patrón de dispersión polínica. XIV Reunión Argentina de Agrometeorología. 17 al 19 de octubre. Mendoza, Argentina.

Mosciaro, M. y Dimuro, V. 2009. Zonas agroeconómicas homogéneas Buenos Aires Sur. Estudios socioeconómicos de la sustentabilidad de los sistemas de producción y recursos naturales. *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*. ISSN: 1851-6955.

Moses, D.D. y Enríquez, G.A. 1979. Responses of 10 year-old cacao trees (*Theobroma cacao* L.) to different thinning and fertilizer treatments. In 7. *International Cocoa Research Conference 4-12 Nov 1979 Douala (Camerún)* (No. CATIE M911r). Catie, Turrialba (Costa Rica).

Mullins, M.G., Bouquet, A. y Williams, L.E. 1992. Biology of the grapevine, Cambridge Univ. Press. New York, N. Y. 239 p.

Muñoz C., C.L. 2008. Control de carga frutal en olivos variedad Coratina mediante poda de invierno. Tesis de grado. Santiago, Chile.

Navarro-Ainza, J.A.C. y López-Carvajal, A. 2013. Cuajado de frutos y partenocarpia en olivo 'manzanillo' con polinización cruzada. *Agronomía Mesoamericana*, 24(2), 393-400.

Obiol, L.; Pirillo, M.C.; Bostal, F. y Sarro, L. 2006. Sudoeste bonaerense: potencialidad para el desarrollo de un cluster olivícola. En: Cernadas de Bulnes, M. y Marcilese, J. (Eds.), *Cuestiones políticas, socioculturales y económicas del sudoeste bonaerense*, Bahía Blanca. UNS Archivo de la Memoria, p. 487-495.

Orgaz, F.; Elías, F. y Testi, L. 2017. Riego. En D. Barranco, R. Fernández-Escobar y L. Rallo (eds), *El Cultivo del Olivo*, 7ª edición (pp. 461-490). Madrid, España: Eds. Mundi-Prensa.

Orlandi, F.; Msallem, M.; Bonofiglio, T.; Ben Dhiab, A.; Sgromo, C.; Romano, B. y Fornaciari, M. 2010. Relationship between olive flowering and latitude in two Mediterranean countries (Italy and Tunisia). *Theor Appl Climatol* 102: 265-273.

Osborne, CP; Chuine, I; Viner, D y Woodward, F. I. 2000. Olive phenology as a sensitive indicator of future climatic warming in the Mediterranean. *Plant, Cell y Environment*, 23(7), 701-710.

Oteros, J.A. 2014. *Modelización del ciclo fenológico reproductor del olivo (Olea europaea L.)* (tesis doctoral). Universidad de Córdoba, Córdoba, España.

Palliotti A. y Bonghi G. 1996. Freezing injury in the olive leaf and effects of mefluidide treatment. *Journal of Horticultural Science* 71(1): 57-63.

Pardiñas, UF; Abba, AM y Merino, ML. 2004. Micromamíferos (Didelphimorphia y Rodentia) del sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina): taxonomía y distribución. *Mastozoología neotropical*, 11(2), 211-232.

Pascale, AJ. y Damario, EA. 2004. *Bioclimatología agrícola y agroclimatología*. Ed. Fac. Agronomía, UBA, 550 pag.

Pastor, M. 2005. *Cultivo del olivo con riego localizado*.

Pastor, M.; Hidalgo, J.; Vega, V.; Girona, J.; Soria, L.; Orgaz, F.; Fernández, E.; Fernández, M. y Rojo, J. 2001. Programación de riegos en olivar. Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca. España.

Pastor, M. y Humanes, J. 2006. *Poda del olivo – moderna olivicultura*. 5^o edición. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca.

Pavel, E.W. y Fereres, E. 1998. Low soil temperatures induce water deficits in olive (*Olea europaea*) trees. *Physiologia Plantarum* 104:525-532.

Picardi, S. y Obiol, L. 2011. Desarrollo territorial sostenible: la olivicultura en el sudoeste de Buenos Aires, Argentina. *Trayectorias*, 32:94-117.

Picardi, M.S.; González, G. y Valls, L. 2015. Aceite de oliva: el mercado mundial y el desempeño comercial de la Argentina. *Agroalimentaria*, 21(41): 81-93.

Pierantozzi, P. 2012. Aplicación de distintos niveles de estrés hídrico durante el periodo prefloración-floración del olivo (*Olea europaea* L.): influencia sobre parámetros agronómicos, bioquímico-fisiológicos y productivos. Tesis doctoral. Córdoba, Argentina.

Pio, R.; Bastos, D.C.; Berti, A.J.; Scarpate Filho, J.A.; Mourão Filho, F.A.A.; Entelmann F.A.; Rodrigues Alves, A.S. y Bettiol Neto, J.E. 2005. Enraizamiento de diferentes tipos de estacas de oliveira (*Olea europaea* L.) utilizando ácido indolbutírico. *Ciênc. agrotec.*, Lavras, v. 29, n. 3, p. 562-567.

Podestá, G.P., Messina, C.D., Grondona, M.O. y Magrin, G.O. 1999. Associations between Grain Crop Yields in Central-Eastern Argentina and El Niño-Southern Oscillation. *Journal of Applied Meteorology*, 38:1488- 1498.

Prioetti, N. y Antognozzi, E. 1996. Effect of irrigation on fruit quality of table olives (*Olea europaea*) cultivar Ascolana tenera. *New Zeland Journal of Crop and Horticultural Science* 24: 175-181.

Quezada, C.; Venegas, A.; García, H., y Ocampo, J. 2005. Frecuencia de reposición hídrica en olivos (*Olea europaea* L.) bajo riego por goteo en un suelo franco arcilloso. *Agro sur*, 33(2), 74-86.

Quiroga, A.C. 2014. Efecto de la variabilidad climática sobre la producción del Olivo en España. *Avances en ciencias de la tierra*, (5), 55-71.

Rallo, L. y Suarez, M.P. 1989. Seasonal distribution of dry matter within the olive fruit-bearing limb. *Advances in Horticultural Science*, 55-59.

Rallo, L. 1994a. Evaluación agronómica y obtención de nuevas variedades de olivo. *Olivicultura*, 62: 17-28.

Rallo, L. 1994b. Fructificación y producción en olivo. *Agricultura: revista agropecuaria*, 63(746): 725-728.

Rallo, L.; Torreño, P.; Vargas A. y Alvarado J. 1994. Dormancy and alternate bearing in olive. *Acta Horticulturae* 356: 127-136.

Rallo, L. y Cuevas, J. 2017. Fructificación y producción. En D. Barranco, R. Fernández-Escobar y L. Rallo (eds), *El Cultivo del Olivo*, 7ª edición (pp. 145-186). Madrid, España: Eds. Mundi-Prensa.

Ramírez S.P., M.M. 2001. Variabilidad de la producción en olivo (*Olea europaea* L.). Relación entre la alternancia, floración, vigor y productividad. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba. Córdoba, España.

Ramos, A.; Rallo, L. y Lavee, S. 1997. Efecto de la defoliación, de la carga del árbol y de la acumulación de frío en la brotación forzada de yemas de estacas de olivo. *Actas de Horticultura Vol. 15, II Congreso Iberoamericano y III Congreso Ibérico de Ciencias Hortícolas*. Pp 97-102. Vilamoura, Portugal.

Rapoport, H.F. y Moreno-Alías, I. 2017. Botánica y morfología. En D. Barranco, R. Fernández-Escobar y L. Rallo (eds), *El Cultivo del Olivo*, 7ª edición (pp. 35-64). Madrid, España: Eds. Mundi-Prensa.

Rapoport, HF; Hammami, SB; Martins, P; Pérez-Priego, O y Orgaz, F. 2012. Influence of water deficits at different times during olive tree inflorescence and flower development. *Environmental and Experimental Botany*, 77, 227-233.

Redolfi, I.; Tinaut, A.; Pascual, F. y 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.

Riaza Luján, M.A. 2012. Las observaciones fenológicas como evidencia del cambio climático. Congreso Nacional del Medio Ambiente. Asociación Técnica de Ecología del Paisaje y Seguimiento Ambiental (ECOPÁS). Madrid, España.

Rodríguez, J.P.; Losada, M.P. y Espino, M.M. 2004. Determinación del potencial productivo del olivar extremeño. *Vida rural*, (182), 40-49.

Rojo Úbeda, J. 2014. Estudio de la fenología floral del olivo (*Olea europaea*) y su relación con las variables ambientales (tesis de posgrado). Universidad de Castilla - La Mancha, Toledo, España.

Rondanini, D.P.; Castro, D.N.; Searles, P.S. y Rousseaux, M.C. 2014. Contrasting patterns of fatty acid composition and oil accumulation during fruit growth in several olive varieties and locations in a non-Mediterranean region. *Eur. J. Agron.* 52, 237–246.

Rosetti, M.V. 2016. Desarrollo del fruto del olivo (*Olea europaea* L.) cultivado en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires creciendo bajo condiciones de riego y secano (tesis de posgrado). Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.

Sánchez, E.E. 1999. Nutrición mineral de frutales de pepita y carozo. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Roca, Argentina. Estación Experimental Alto Valle de Río Negro.

Sanz-Cortés, F.; Martínez-Calvo, J.; Badenes, M.L.; Bleiholder, H.; Hack, H.; Llacer, G. y Meier, U. 2002. Phenological growth stages of olive trees (*Olea europaea*). *Annals of Applied Biology*, 140(2), 151-157.

Sáenz-Laín, C.; Bustillo, M.G. y Mateos, V.A.S. 2003. Fenología, aerobiología y producción del olivar en Almodóvar del Campo (Castilla-La Mancha). In *Anales del Jardín Botánico de Madrid*. 60 (1): 73-81.

Scian, B. 2010. Clima - Bahía Blanca y Sudoeste bonaerense. En Paolini, J.D. (ed), *Ambiente y recursos naturales del partido de Bahía Blanca* (pp.27-88). Bahía Blanca, Argentina: Ed UNS.

Searles, P.S., Alcarás, M.; Rousseaux, M.C. 2011. El consumo del agua por el cultivo de olivo (*Olea europaea*) en el NO de Argentina una comparación con la Cuenca Mediterránea. *Ecología Austral* 21:15-28.

Sinclair, T.R. y Seligman, N. 2000. Criteria for publishing papers on crop modelling. *Field Crop Res.*, 65: 165-172.

Soria C., S.; Prieto R., A. y Sáiz de O.G., A. 2016. El “Modelo Santander” de determinación de la edad de olivos monumentales. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Forestal y del Medio Natural. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.

Steward, F.C. 1971. Plant Physiology. Academic Press, London.

Tapia C. 2003. Cosecha. En Tapia F.; Astorga, M.; Ibacache, A.; Martínez, L.; Sierra, C.; Quiroz, C; Larraín, P. y Riveros, F. eds. Manual del cultivo del olivo. Boletín INIA N° 101, 128p. Pp 123-128.

Tapia, F.; Ibacache, A. y Astorga, M. 2003. Requerimientos de clima y suelo. En Tapia, F. (eds.). Manual del cultivo del olivo. Boletín INIA N° 101, 128p. Pp 10-19.

Tapia, F.; Astorga, M.; Ibacache, A.; Martínez, L.; Sierra, C.; Quiroz, C.; Larraín, P. y Riveros. 2007. Antecedentes a considerar en la plantación de un olivar aceitero. En: Seminario: Actualización en el manejo del olivo. Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Centro de Información de Recursos Naturales, Rayantué. Rengo, Chile. Boletín INIA 101: 128.

Tapia, F.; Ibacache, A.; Sierra, C.; Larraín, P.; Riveros, F. y Martínez, L. 2009. Seminario manejo agronómico industrial olivícola. Instituto de Investigación Agropecuaria (INIA). 87p.

Teruel E.M. y Castelli, L.E. 2007. Caracterización de tres suelos y determinación de parámetros para riego por goteo en el partido de Coronel Dorrego (tesis de grado). Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina.

Tous, J.; Romero, A.; Hermoso, J.F. y Mallén, N. 2007. Sistemas de producción del olivo en seto. Experiencias en Cataluña. *Agricultura: Revista agropecuaria*, 360-367.

Tous, J. y Ferguson, L., 1996. Mediterranean fruits. In: Janick, J. (Ed.), Progress in New Crops. ASHS Press, pp. 416–430.

Tous, J. y Romero, A. 1993. Variedades del olivo. Barcelona: Fundación La Caixa y Ed. AEDOS, 172 p.

Trentacoste, E.R. 2015. Respuesta fisiológica y agronómica del olivar en seto (cv. Arbequina) a la orientación de filas y el ancho de calle: relación entre la producción y calidad del aceite y la radiación interceptada. Tesis de posgrado. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.

Vázquez, L. 2000. Estudio aerobiológico y fenológico de una planta de interés económico: el olivo. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba.

Vega, V.; Hidalgo, J.C. y Hidalgo, J. 2008. Poda del olivo en la olivicultura intensiva. *Revista Agricultura*, 9 06, 308-315.

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

Villalobos, F.J.; Orgaz, F. y Mateos, L. 1995. Non destructive measurement of leaf area in olive (*Olea europaea* L.) trees using a gap inversion method. *Agric. and Forest Meteorology*. vol. 73, pp. 29-42.

Viñuelas A., J. 2007. Variedades de olivo del Somontano. Área de Desarrollo de la Diputación de Huesca. Instituto de Estudios Altoaragoneses, Huesca, España. p 72.

Vita Serman, F. Papel del estrés hídrico sobre la resistencia al daño por heladas en pantas jóvenes de olivo y su relación con la aclimatación por frío. Tesis de posgrado. Instituto de Agricultura Sostenible (IAC-CSIC). Córdoba, España.

Wielgolaski, F.E. 2003. Climatic factors governing plant phenological phases along a Norwegian fjord. *International Journal of Biometeorology*, 47(4): 213-220.

Zadoks, J.C.; Chang, T.T. y Konzak, C. F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed research*, 14(6), 415-421.

Zohary, D. y Spiegel-Roy, P. 1975 Beginnings of fruit growing in the Old World. *Science* 187 (4174): 313-327.