



Phenology and agronomic characteristics of late flowering almond trees (*Prunus dulcis*) in an arid area of Argentina

Fenología y características agronómicas de almendros (*Prunus dulcis*) de floración tardía en una zona árida de Argentina

Ibañez, A. A.¹; Carrizo, J. E.¹; Mundaca, S. A.²; Castro, A. J.²; Álvarez, R.³ y Flores, P.³

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – INTA, Estación Experimental Agropecuaria – EEA Chilecito, Ruta de la Producción km 7 1/2 Tilimuqui, 5360 Chilecito, Provincia de La Rioja, Argentina.

² Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – INTA, Estación Experimental Agropecuaria – EEA San Juan, Calle 11 y Vidart, 5427 Pocito, Provincia de San Juan, Argentina.

³ Departamento de Ingeniería Agronómica, Universidad Nacional de San Juan - UNSJ. Av. Lib. San Martín (Oeste) 1109 - J5400ARL – Provincia de San Juan - Argentina

Autor de correspondencia: ibanez.antonio@inta.gob.ar

Recibido: 02/08/2022

Aceptado: 07/11/2022

ABSTRACT

Ibañez, A. A.; Carrizo, J. E.; Mundaca, S. A.; Castro, A. J.; Álvarez, R. y Flores, P. (2023). Phenology and agronomic characteristics of late flowering almond trees (*Prunus dulcis*) in an arid area of Argentina. *Horticultura Argentina* 42 (107): 6-28. <http://id.caicyt.gov.ar/ark:/s18519342/xom71rg8a>

The phenology of fruit trees allows us to understand their adaptive responses to the environment. The almond tree is widely cultivated, spreading through the incorporation of new plant materials, as is the case with late flowering cultivars in the arid regions of the province of San Juan (Argentina). The objective was to analyze the phenological and agronomic responses of Marinada, Tarraco and Vairo cultivars under arid environmental conditions in San Juan.

Phenological stages were recorded using the BBCH scale and agronomic characteristics were evaluated by measuring trunk cross-sectional area (TCSA), linear floral density (FD) and fruit yield. The study was carried out in the experimental field of INTA EEA San Juan. The cultivars differed significantly in phenological stages during the period 2016 to 2021. Flowering (from start to finish) occurs between August and September, first in the cv. Vairo, then in the cv. Marinada and finally in the cv. Tarraco. FD differed significantly between cultivars since 2017, with higher mean values in Marinada and Vairo cultivars compared to Tarraco. TCSA differed significantly between cultivars only in the first crop cycles. The cv. Tarraco has problems in fruit set and/or fruit growth. Fruit ripening of the cultivars Vairo and Marinada ends in February. Cultivars Vairo and

Marinada have higher fruit yields than cv. Tarraco. Leaf fall and winter dormancy in cultivars Vairo, Marinada and Tarraco were recorded from May onwards. Marinada, Tarraco and Vairo almond trees cultivars (during 5th and 6th year of field) needed

between 685 HF and 857 HF (direct method) until the break of winter dormancy (from May to July).

Keywords: dry fruits, periodic biological phenomena, dry climate.

RESUMEN

Ibañez, A. A.; Carrizo, J. E.; Mundaca, S. A.; Castro, A. J.; Álvarez, R. y Flores, P. (2023). Fenología y características agronómicas de almendros (*Prunus dulcis*) de floración tardía en una zona árida de Argentina. *Horticultura Argentina* 42 (107): 6-28. <http://id.caicyt.gov.ar/ark:/s18519342/xom71rg8a>

La fenología de los frutales permite conocer sus respuestas de adaptación al medioambiente. El almendro se cultiva ampliamente, extendiéndose mediante la incorporación de nuevos materiales vegetales, como sucede con cultivares de floración tardía en las regiones áridas de la provincia de San Juan (Argentina). El objetivo fue analizar las respuestas fenológicas y agronómicas de las cultivares Marinada, Tarraco y Vairo, en condiciones ambientales áridas de San Juan. Se registraron los estadios fenológicos utilizando la Escala BBCH y se evaluaron características agronómicas mediante las mediciones del área seccional de tronco (AST), la densidad floral lineal (DFL) y el rendimiento de frutos. El estudio se realizó en el campo experimental de INTA EEA San Juan. Las cultivares se diferenciaron

significativamente en los estadios fenológicos durante el período 2016 a 2021. La floración (desde inicio a fin) se produce entre agosto y septiembre, primero en la cv. Vairo, luego en la cv. Marinada y por último en la cv. Tarraco. La DFL se diferenció significativamente entre las cultivares desde 2017, con valores medios superiores en las cultivares Marinada y Vairo con respecto a la cv. Tarraco. El AST se diferenció significativamente entre las cultivares en los primeros ciclos de cultivo. La cv. Tarraco tiene problemas en el cuaje y/o crecimiento de frutos. La maduración de frutos de las cultivares Vairo y Marinada finaliza en febrero. Las cultivares Vairo y Marinada tienen mayor rendimiento de frutos con respecto a la cv. Tarraco. La caída de hojas y letargo invernal en las cultivares Vairo, Marinada y Tarraco se registraron desde el mes de mayo. Las cultivares Marinada, Tarraco y Vairo (5to y 6to año de campo) necesitaron entre 685 HF y 857 HF (método directo) hasta la ruptura del reposo invernal (de mayo hasta julio).

Palabras claves: frutos secos, fenómenos biológicos periódicos, clima seco.

1. Introducción

El estudio de la fenología de las plantas implica la observación, el registro y la interpretación de las fases del ciclo de vida (Fenner, 1998; Valdez-Hernández, 2015). Asimismo, la fenología de las plantas es un indicador biológico del cambio climático (Cosmulescu *et al.*, 2022) y su variabilidad nos permite determinar su adaptación al medioambiente y establecer las pautas de manejo de los

cultivos (Ruml & Vulie, 2005; Stucky *et al.*, 2018), como sucede en las cultivares de almendro (Oručević & Aliman, 2018; Pica, *et al.*, 2021).

El almendro (*Prunus dulcis* Miller syn: *P. amygdalus* Batsch) es una especie frutal de origen asiático (Ladizinsky, 1999; Velasco *et al.*, 2016), perteneciente al género *Prunus* y a la familia Rosácea (Nawade *et al.*, 2019; Hussain *et al.*, 2021). Este cultivo de clima templado se expande, debido a su importancia económica, hacia regiones cálidas y frías de ambos hemisferios (Pérez de los Cobos *et al.*, 2021), con Estados Unidos como el principal productor, seguidos por España, Irán e Italia (FAOSTAT, 2020; Ajibade & Saghaian, 2022). La almendra es una fuente de ácidos grasos, de minerales y de bioactivos, convirtiéndola en un alimento nutritivo y saludable (Barreca *et al.*, 2020; Özcan, 2022).

En Argentina, según el Censo Nacional Agropecuario (CNA) de 2018, el almendro se cultiva en una superficie de 3.326,9 ha distribuidas en las provincias de Mendoza (2.494 ha), San Juan (314,5 ha), Río Negro (156,7 ha), San Luis (116,5 ha), La Rioja (80,9 ha), Catamarca (53,2 ha), Neuquén (46,4 ha), Buenos Aires (37,5 ha), La Pampa (24,8 ha), Córdoba (1,2 ha) y Salta (1 ha). El cultivo de almendro en regiones áridas de la provincia de San Juan, experimenta problemáticas relacionadas con factores productivos (*e.g.*, rendimiento), ambientales (*e.g.*, heladas y viento Zonda), económicos (*e.g.*, costos y precio), culturales y sociales (*e.g.*, manejo del cultivo y mano de obra).

En el año 1961, se iniciaron las experiencias del cultivo de almendro en INTA EEA San Juan (Informe EEA San Juan, período 1958-1980), con cultivares de cáscaras blanda y semidura, tal como, Paper Shell, Ne Plus Ultra, Nonpareil, I.X.L., A Gros Fruit, entre otras; destacándose, la adaptación y el rendimiento de la cv. Peerles. Según Andrada (1975), los rendimientos podrían aproximarse a 1000 kg.ha⁻¹ (de almendra sin pericarpio) en plantas de 14 años de edad y dispuestas en un marco de plantación de 6 m x 6 m; además, se menciona a las heladas tardías y el viento Zonda, como factores ambientales adversos.

En las últimas décadas se obtuvieron cultivares de almendro de floración tardía, autofértiles y de elevada capacidad productiva (Alegre *et al.*, 2007; Alonso Segura *et al.*, 2017) para moderar los efectos adversos ocasionados por el desplazamiento del cultivo hacia regiones con alta incidencia de heladas y con baja acumulación de frío (Alonso Segura *et al.*, 2017). El Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentarias (IRTA) obtuvo las cultivares Vairo, Marinada y Tarraco, caracterizadas por la precoz entrada en producción, la resistencia a la sequía, la resistencia a las enfermedades de hongos y el alto rendimiento potencial (Vargas *et al.*, 2010).

Los objetivos de este trabajo fueron analizar las respuestas fenológicas (incluyendo los métodos de cuantificación de las horas de frío) y los parámetros agronómicos de las cultivares Marinada, Tarraco y Vairo, en condiciones ambientales áridas de la provincia de San Juan.

2. Materiales y métodos

2.1. El sitio de ensayo, material vegetal, diseño de estudio y prácticas de cultivo:

El estudio se realizó en el campo experimental de INTA EEA San Juan, Villa Aberastaín, Departamento de Pocito (latitud 31° 39' S, longitud 68° 35' O y altitud de 618 m s.n.m.), provincia de San Juan, Argentina. Esta provincia pertenece a la región árida de Argentina y según la clasificación climática de Köppen (Beck *et al.*, 2018), presenta varios regímenes climáticos en el ámbito provincial; entre ellos, el seco de desierto, el seco de estepa y el frío de altura (Pereira, 2000). La rigurosidad climática de estas zonas desérticas, se caracteriza por la escasa precipitación

anual (90 mm) y los eventos de heladas, de viento Zonda y de granizo (Pereira, 2000; Suvires, 2004). El viento Zonda, es un viento seco y caliente similar al efecto Foehn (Seluchi *et al.*, 2003a, 2003b) de mayor frecuencia en agosto y primera semana de septiembre (Caretta *et al.*, 2004). Los suelos son entisoles torrifluventes y torripsamientos típicos (Panigatti, 2010).

En la tabla 1, se muestra los datos climáticos mensuales (temperaturas medias mínimas y máximas) del sitio de ensayo, provenientes de la estación agrometeorológica de INTA EEA San Juan y correspondiente al periodo 2016 a 2021.

Table 1: Monthly mean minimum and maximum air temperatures (°C) recorded by the agrometeorological station of INTA EEA San Juan, Argentina, for the study site (Pocito) between 2016 and 2021.

Tabla 1: Temperaturas medias mínimas y máximas mensuales del aire (°C) registradas por la estación agrometeorológica de INTA EEA San Juan, Argentina, para el sitio de estudio (Pocito) entre 2016 y 2021.

Año	T _m °C	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.
2016	mín.	1,3	5,2	7,2	10,7	14,2	17,7	20,6	20,2	15,3	9,7	8,8	2,2
	máx.	16,7	23,4	23,8	26,6	30,4	33,5	32,9	34,0	30,0	21,9	16,1	14,6
2017	mín.	1,7	4,4	6,9	10,0	15,1	18,6	20,7	19,2	15,8	11,4	7,6	2,0
	máx.	17,3	20,4	22,5	27,3	30,7	32,9	35,6	33,3	29,8	23,8	19,8	17,4
2018	mín.	0,2	2,0	9,7	12,8	15,5	17,7	19,7	18,9	12,7	12,4	7,0	0,9
	máx.	13,4	19,5	25,9	31,8	30,0	32,1	32,8	32,4	29,9	26,6	19,3	15,5
2019	mín.	1,4	2,9	6,3	11,3	18,0	19,0	19,2	19,1	14,6	12,1	6,6	1,8
	máx.	16,8	19,6	22,7	25,8	32,5	33,5	32,9	32,4	27,4	26,0	19,6	16,8
2020	mín.	1,0	2,1	7,1	11,4	16,9	17,8	21,3	19,4	17,9	11,7	5,3	1,1
	máx.	15,0	19,3	24,2	26,7	31,0	33,7	34,5	32,1	31,7	25,1	21,5	16,5
2021	mín.	-0,5	5,1	10,3	12,7	14,0	19,1	18,3	17,2	15,4	12,0	5,2	1,7
	máx.	17,8	21,8	24,3	28,4	30,8	32,5	33,4	30,8	27,6	26,9	20,5	15,6

Fuente: Elaboración propia con datos de temperaturas medias mensuales del aire, desde 2016 a 2021, provenientes de la estación agrometeorológica de INTA EEA San Juan. T_m: temperatura media.

Los materiales de almendro de floración tardía evaluados fueron cvs. Marinada, Tarraco y Vairo. Son cultivares injertadas sobre el patrón híbrido Garfinem, adquiridas desde el Vivero Productora (Mendoza). Las cultivares se llevaron a campo en octubre de 2014, dispuestas en dos marcos de plantación (4 m x 6 m y 5 m x 6 m). El diseño de estudio fue completamente aleatorizado con tres repeticiones (Kuehl, 2001). La unidad experimental se constituyó por cinco plantas (tres centrales de medición y dos borduras). El agua se aplicó mediante el sistema de riego por goteo. Los requerimientos hídricos se estimaron siguiendo el método FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) Penman-Monteith (Allen *et al.*, 2006). Se realizaron podas de formación en tres ramas principales, en julio de 2015 (Figura 1), raleos anuales y fertilizaciones. El desmalezado se realizó mediante métodos químicos y mecánicos. Se realizaron controles de plagas y enfermedades mediante aplicaciones químicas.



Figure 1: Marinada, Tarraco and Vairo almond trees cultivars in pots (October 2014) and atshape pruning (July 2015). Experimental field of INTA EEA San Juan, Argentina.

Figura 1: Cultivares de almendro Marinada, Tarraco y Vairo en maceta (octubre de 2014) y en poda de formación (julio 2015). Campo experimental de INTA EEA San Juan, Argentina.

2.2. Fenología, datos climáticos y características agronómicas:

Los estados fenológicos se registraron utilizando la Escala BBCH (Biologische Bundesanstalt Bundessortenamt and Chemische Industrie) descrita por Bleiholder *et al.* (1996), Agustí (2010) y Sakar *et al.* (2019). Las observaciones se realizaron desde el ciclo de cultivo 2016-2017, marcando 2 ramas por árbol entre 40 cm a 60 cm de longitud. El seguimiento y la toma de datos en las cultivares fueron semanales, aumentando la frecuencia de 2 a 3 días por semana en las etapas de mayor detalle de las observaciones. La cuantificación se realizó mediante el porcentaje establecido en cada estadio y en los estadios sin porcentaje definido se asignó un valor de referencia, tales como en los estadios 10, 53 y 87; a excepción, del estadio 51, el cual fue registrado mediante el seguimiento de los cambios cualitativos macroscópicos. Los estadios observados fueron:

Estadio principal 1: Desarrollo de las hojas

10: Primeras hojas se separan: las escamas verdes comienzan a abrirse; las hojas comienzan a emerger. *Se asignó el 10% de las yemas.*

Estadio principal 5: Aparición órgano floral

51: Yemas de flor hinchadas: yema cerradas; escamas, de color marrón claro o verdoso, visibles.

53: Apertura de yema : escamas separadas; sectores de las yemas, verdes claro, visibles. *Se asignó el 10% de las yemas.*

Estadio principal 6: Floración

61: Comienzo de la floración: alrededor del 10% de las flores están abiertas.

65: Plena floración: alrededor del 50% de las flores están abiertas.

69: Fin de la floración: todos los pétalos caídos.

Estadio principal 7: Formación/ desarrollo del fruto

75: Frutos alcanzan alrededor del 50% del tamaño varietal final.

Estadio principal 8: Maduración del fruto

87: Madurez de recolección: separación del exocarpio. *Se asignó el 70% de los frutos.*

Estadio principal 9: Senescencia y comienzo del reposo vegetativo

95: 50% de las hojas decoloradas o caídas.

97: Todas las hojas caídas; letargo invernal.

Se analizaron los datos de temperatura ambiental y de horas de frío totales (temperaturas entre 0 °C y 7 °C), registradas por la estación agrometeorológica de INTA EEA San Juan. Adicionalmente, se utilizaron los métodos indirectos de estimación de las horas de frío diarias, mensuales y anuales de Da Mota (1996) (1), de Crossa-Raynaud (1956) (2) y de Sánchez Capuchino (1967) (3) descriptos por García *et al.* (2011) y el método de Damario (4) (Damario *et al.*, 1998). Con los datos diarios de temperaturas (mínimas y máximas) y de las horas de frío de 2019 y de 2020, se aplicaron los métodos de estimación para los meses de la latencia invernal según la fenología registrada de las cultivares Marinada, Tarraco y Vairo.

$$(1) Y=485,1-28,52 x$$

Y = Horas de frío mensual

x = temperatura media mensual del mes considerado (mayo, junio, julio, agosto y septiembre)

$$(2) HFe= \Sigma hf \quad hf=24 \left(\frac{7-m}{M-m} \right)$$

HFe = Horas de frío acumuladas durante los meses considerados (mayo, junio, julio, agosto y septiembre)

hf = horas de frío acumuladas en un día

M = temperatura máxima diaria

m = temperatura mínima diaria

$$(3) HFe= \Sigma hf \quad hf= 36 \left(\frac{7-m}{M-m} \right)$$

HFe = Horas de frío acumuladas durante los meses considerados (mayo, junio, julio, agosto y septiembre)

hf = horas de frío acumuladas en un día

M = temperatura máxima diaria

m = temperatura mínima diaria

$$(4) HF(1000)=3929,918-54,863T5-372,3126T12+1,8589(T5 \times T12)+0,2438 (T5)^2+9,3897(T12)^2$$

T5= promedio climático de las temperaturas mínimas medias mensuales de mayo a septiembre

T12= temperatura mínima media anual climática

Las características agronómicas evaluadas fueron el área seccional de tronco (AST), la densidad floral por longitud de rama (DFI) y el rendimiento. Se aplicaron metodologías descriptas por Lombard *et al.* (1988), Kodad & Socias i Company (2008), Kumar & Ahmed (2014) y Maldera *et al.* (2021). El AST se midió a 25 cm desde el suelo y por encima de la unión del injerto. Las mediciones se realizaron con cinta métrica sin elasticidad, durante los meses de junio y julio de 2015, 2016, 2017 y 2018 en los tres árboles centrales de cada unidad experimental.

La DFI se midió en ramas (2 a 4 por árbol) de uno y dos años durante el estado 51 (escala BBCH) de la fenología del almendro. El AST y la DFI se calcularon mediante las ecuaciones 5 y 6.

$$(5) AST (cm^2)= circunferencia^2 \cdot 4\pi^{-1}$$

$$(6) DFI (n^{\circ} yemas \text{ florales} \cdot dm^{-1})= \text{número de yemas florales} \cdot \text{longitud de rama}^{-1}$$

El rendimiento se midió durante la cosecha y se cuantificó en kilogramos de frutos por planta (incluyendo el peso de semilla o pepa).

2.3. Análisis estadístico:

Los datos fenológicos y agronómicos se analizaron y graficaron mediante la utilización del software estadístico InfoStat/P (versión 2020). Se aplicó el análisis de varianza con prueba de comparación de medias (test de Tukey, $p \leq 0.05$).

3. Resultados y Discusión

El almendro tiene gran diversidad genética (Fathi *et al.*, 2008; Sana *et al.*, 2021) y el potencial de las cultivares está determinado por su adaptación a las condiciones edafoclimáticas y ambientales (Montesinos *et al.*, 2021). A continuación, se presentan los registros fenológicos y agronómicos obtenidos de las cultivares Marinada, Tarraco y Vairo en la región árida (San Juan) de Argentina.

3.1. Fenología de las cultivares de almendro de floración tardía y horas de frío:

La fenología de las plantas está fuertemente controlada por el clima (Cosmulescu *et al.*, 2022) y el uso de escalas fenológicas (por ejemplo, la BBCH) son claves para comprender las respuestas de los árboles al cambio climático (Fischer *et al.*, 2016). En la Tabla 2, se muestra la fenología general de las cultivares de almendro y el promedio de las temperaturas mínimas y máximas mensuales en el período 2016 a 2021.

Table 2: General phenology of late-flowering almond trees cultivars (Marinada, Tarraco and Vairo) and air temperatures. Experimental field INTA EEA San Juan, Argentina.

Tabla 2: Fenología general de las cultivares de almendro de floración tardía (Marinada, Tarraco y Vairo) y temperaturas del aire. Campo experimental de INTA EEA San Juan, Argentina.

Escala BBCH	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.
Estadio ppal. 5: Aparición del órgano floral												
Estadio ppal. 1: Desarrollo de las hojas												
Estadio ppal. 6: Floración												
Estadio ppal. 7: Formación del fruto												
Estadio ppal. 8: Maduración del fruto												
Estadio ppal. 9: Senescencia y comienzo del reposo vegetativo												
T _m Mín. desde 2016 a 2021 (°C)	0,9	3,6	7,9	11,5	15,6	18,3	20,5	19,0	15,3	11,6	6,8	1,6
T _m Max. desde 2016 a 2021 (°C)	16,2	20,7	23,9	27,8	30,9	33,0	33,7	32,5	29,4	25,1	19,5	16,1

Fuente: Elaboración propia agrupando las fechas de los estadios fenológicos de las cultivares de almendro registradas en el campo experimental y datos de temperatura del aire promedios desde 2016 a 2021, provenientes de la estación agrometeorológica de INTA EEA San Juan. T_m: temperatura media. El color gris indica la duración del estadio.

En la Figura 2, se exhibe las diferencias temporales de las cultivares Marinada, Tarraco y Vairo, en sus estadios fenológicos de cada ciclo anual de cultivo, desde el año 2016 al año 2021.

Fenología de cultivares de floración tardía en San Juan, Argentina (Escala BBCH)

51

- Mes de julio en todos los cultivares (Marinada, Vairo y Tarraco) y en todos los ciclos anuales (2016/2017, 2017/2018, 2018/2019, 2019/2020 y 2020/2021).



53

- Ciclo anual 2016/2017: 1° sem/agosto en cvs. Marinada y Vairo y 2° sem/agosto en cv. Tarraco.
- Ciclos anuales 2017/2018, 2018/2019 y 2019/2020: 2° sem/agosto en cvs. Marinada y Vairo y 3° sem/agosto en cv. Tarraco.
- Ciclo anual 2020/2021: 4° sem/agosto en cvs. Marinada y Vairo y 1° sem/septiembre en cv. Tarraco.



10

- Ciclo anual 2016/2017: 1° sem/agosto en cvs. Marinada y Vairo y 2° sem/agosto en cv. Tarraco
- Ciclos anuales 2017/2018, 2018/2019 y 2019/2020: 2° sem/agosto en cvs. Marinada y Vairo y 3° sem/agosto en cv. Tarraco
- Ciclo anual 2020/2021: 4° sem/agosto en cvs. Marinada y Vairo y 1° sem/septiembre en cv. Tarraco.



61 65 69

- Ciclo anual 2016/2017: 2° a 4° sem/agosto en cvs. Marinada y Vairo y 3° sem/agosto a 1° sem/septiembre en cv. Tarraco.
- Ciclos anuales 2017/2018, 2018/2019 y 2019/2020: 3° sem/agosto a 1° sem/septiembre en cv. Vairo y 4° sem/agosto a 2° sem/septiembre en cvs. Marinada y Tarraco.
- Ciclo anual 2020/2021: 1° a 3° sem/septiembre en cv. Vairo, de 2° a 3° sem/septiembre en cv. Marinada y 2° a 4° sem/septiembre en cv. Tarraco.



75

- Ciclo anual 2016/2017: daño total por helada en todos los cultivares.
- Ciclos anuales 2017/2018, 2018/2019 y 2019/2020: 3° sem/septiembre en cv. Vairo, 4° sem/septiembre en cv. Marinada y 2° sem/octubre en cv. Tarraco.
- Ciclo anual 2020/2021: 1° sem/octubre en cvs. Marinada y Vairo y 2° sem/octubre en cv. Tarraco.



87

- Ciclo anual 2017/2018: 4° sem/enero a 1° sem/febrero en cvs. Marinada y Vairo y 1° a 2° sem en cv. Tarraco.
- Ciclos anuales 2018/2019 y 2019/2020: 4° sem/enero en cvs. Marinada y Vairo y 1° a 2° sem/febrero en cv. Tarraco.
- Ciclo anual 2020/2021: 2° sem/enero en cvs. Marinada y Vairo y 3° sem/febrero en cv. Tarraco.



95 97

- Ciclo anual 2016/2017: 3° sem/mayo a 1° sem/junio en todos los cultivares.
- Ciclos anuales 2017/2018, 2018/2019, 2019/2020 y 2020/2021: 1° a 2° sem/junio en todos los cultivares.



Figure 2: Phenological stages of Marinada, Tarraco and Vairo almond trees cultivars between 2016 and 2021. Experimental field of INTA EEA San Juan, Argentina.

Figura 2: Estadios fenológicos de las cultivares de almendro Marinada, Tarraco y Vairo entre 2016 y 2021. Campo experimental de INTA EEA San Juan, Argentina.

Durante el mes de julio (T_m mín. de 0,9 °C y T_m máx. de 16,2 °C) se observaron cambios cualitativos (macroscópicos) del estadio de yema de flor hinchada, en todas las cultivares de almendro (Figura 3, invierno 2020). En el estudio de Maatallah *et al.* (2022), el hinchamiento de yemas en las cvs. Vairo, Marinada y Tarraco se produjo en una a dos semanas en el invierno (fines de enero a febrero) de Tunisia con clima semiárido cálido y lluvias durante el invierno. En este sentido, se requiere de estudios complementarios, con evaluaciones histológicas o bioquímicas, para precisar la fecha de inicio del estadio 51 en zonas áridas de Argentina. No obstante, la información obtenida del estadio de yema hinchada, es importante para establecer el inicio del riego de los almendros de floración tardía en zonas áridas de San Juan, donde predominan los inviernos con escasas lluvias.



Figure 3: Stage 51 beginning of inflorescence buds swelling of Marinada, Tarraco and Vairo almond trees cultivars. Experimental field of INTA EEA San Juan, Argentina.

Figura 3: Estadio 51 de inicio de hinchamiento de yemas de flor de las cultivares de almendro Marinada, Tarraco y Vairo. Campo experimental de INTA EEA San Juan, Argentina.

El tiempo de floración del almendro depende de la combinación de requisitos de frío y de calor, siendo el enfriamiento (chilling) un factor esencial para superar la endodormancia (Sánchez Pérez *et al.*, 2014; Prudencio *et al.*, 2021). En la Tabla 3, se presenta los datos de horas de frío totales

registradas y las horas de frío estimadas por los métodos de Da Mota y de Damario para el período de 2016 a 2020.

Table 3: Total cold hours recorded at the agrometeorological station of INTA EEA San Juan, Argentina, for the study site (Pocito) and estimated cold hours (indirect methods) between 2016 and 2020.

Tabla 3: Horas de frío totales registradas en la estación agrometeorológica de INTA EEA San Juan, Argentina, para el sitio de estudio (Pocito) y horas de frío estimadas (métodos indirectos) entre 2016 y 2020.

Horas de frío totales (HF)						
Métodos	2016	2017	2018	2019	2020	Promedio 2016-2020
Estación Meteorológica	872	763	960	1018	1189	960
Da Mota	759	714	830	794	810	781
Damario HF1000	792	802	872	841	846	831

Considerando las fechas registradas de caída de hojas y de floración, se compararon las horas de frío registradas (método directo) y estimadas de los meses de mayo, junio y julio, según el método de Da Mota, de Crossa-Raynaud y de Sánchez-Capuchino para los años 2019 y 2020 (Tabla 4).

Table 4: Total cold hours recorded at the Agrometeorological Station of INTA EEA San Juan for the study site (Pocito) and estimated cold hours (indirect methods) between 2019 and 2020. San Juan Province, Argentina.

Tabla 4: Horas de frío totales registradas en la Estación Agrometeorológica de INTA EEA San Juan, para el sitio de estudio (Pocito) y horas de frío estimadas (métodos indirectos) entre 2019 y 2020. Provincia de San Juan, Argentina.

Horas de frío (HF) de los meses de mayo, junio y julio y julio			
Métodos	2019	2020	Promedio 2019-2020
Estación Meteorológica	685	857	771
Da Mota	558	593	576
Crossa-Raynaud	630	728	679
Sánchez-Capuchino	946	1092	1019

Los métodos expuestos, en la tabla 4, consideran que las temperaturas superiores a 7 °C, no tienen efecto sobre la salida del reposo invernal; existen otros, que contemplan rangos de temperaturas con diferente eficiencia en la acumulación de frío, tal como el modelo Utah de Richardson *et al.* (1974) donde 1 HF es equivalente a 1 Unidad de Frío (UF) en el intervalo de temperaturas entre 2,5 y 9,1 °C, temperaturas inferiores a 1,4 °C no se consideran para la acumulación de frío; temperaturas entre 1,5 y 2,4 °C o entre 9,2 y 12,4 °C tienen una eficiencia del 50% y temperaturas superiores a 16 °C producen un efecto negativo, restando unidades de frío a la sumatoria diaria (Gariglio *et al.*, 2007; Chhetri *et al.*, 2018). Asimismo, varios estudios establecen que las cultivares de almendro poseen un amplio rango de requerimiento de frío para la floración, de 266 UF en cv.

Achaak a 996 UF en cv. R1000, registrado por Egea *et al.* (2003), o de 1285 UF en cv. Mari de Stepa reportado por Ruml *et al.* (2020).

Los datos de la tabla 4, son una referencia general para indicar que las cultivares Marinada, Tarraco y Vairo (en su 5to y 6to año de campo) necesitaron un rango de horas de frío, entre 685 HF (2019) y 857 HF (2020) hasta la ruptura del reposo invernal (de mayo hasta julio, en base a las observaciones fenológicas). Estos datos podrían perfeccionarse en futuros estudios aplicando metodologías o modelos dinámicos, como el propuesto por Benmoussa *et al.* (2017) y/o estudios de expresión genética en yemas florales, como los trabajos de Prudencio *et al.* (2021) y de Calle *et al.* (2022), quienes identificaron los genes asociados con la respuesta al frío, la biosíntesis de hormonas, la organización de la pared celular y el contenido de azúcares, con funciones importante en el control de la dormancia (endodormancia y ecodormancia) en el almendro. Sin embargo, el rango de horas de frío propuesto (685 a 857 HF) coinciden parcialmente con los resultados de Chaar & Castro (2022) de 617 HF para la cv. Marinada para igual sitio de ensayo (Pocito, San Juan).

El estadio de floración (comienzo, plenitud y finalización) de las cultivares se registró entre los meses de agosto (T_m mín. de 3,6 °C y T_m máx. de 20,7 °C) y de septiembre (T_m mín. de 7,9 °C y T_m máx. de 23,9 °C). En la tabla 5, se muestra los efectos significativos de la cultivar, de la fecha y de la interacción (entre ambos componentes) sobre el porcentaje de floración durante los ciclos de cultivo estudiados. Esta interacción entre la cultivar y la fecha coincide con la floración más temprana en el ciclo de cultivo 2016/2017 (Figura 4) y la floración más tardía en el ciclo de cultivo 2020/2021, con respecto a los ciclos de cultivo intermedios.

Table 5: Analysis of variance of flowering percentage of Marinada, Tarraco and Vairo almond trees cultivars between 2016 and 2020. Experimental field of INTA EEA San Juan. San Juan Province, Argentina.

Tabla 5: Análisis de la varianza del porcentaje de floración de las cultivares de almendro Marinada, Tarraco y Vairo entre 2016 y 2020. Campo experimental de INTA EEA San Juan. Provincia de San Juan, Argentina.

Variable	N	r ² ajustado	CV
Porcentaje de Floración	2376	0,98	15,68
Fuente de Variación			p-valor
Cultivar			< 0,0001
Fecha			< 0,0001
Cultivar * Fecha			< 0,0001

N: número de muestras CV: coeficiente de variación

En el año 2016, el inicio de floración se diferenció significativamente entre las cultivares, así el 8 de agosto la cultivar Vairo fue la primera en florecer con respecto a las cultivares Marinada y Tarraco. El 15 de agosto la cultivar Vairo exhibió la plena floración, mientras las cultivares Marinada y Tarraco mostraron el inicio de floración. La plena floración en las cultivares Marinada y Tarraco se registró el 18 de agosto y el 22 de agosto, respectivamente. El final de la floración se exhibió desde el 29 de agosto en las cultivares Vairo y Marinada y el 7 de septiembre en la cv. Tarraco (Tabla 6).



Figure 4: Late flowering almond trees cultivars in August 2016. Experimental field of INTA EEA San Juan, Argentina.

Figura 4: Cultivares de almendro de floración tardía en agosto de 2016. Campo experimental de INTA EEA San Juan, Argentina.

Las cultivares Tarraco y Marinada, mostraron un período de floración más tardío, con respecto a la cultivar Vairo en los años 2017, 2018 y 2019.

En el año 2020, el inicio de la floración se diferenció significativamente entre las cultivares; así el 4 de septiembre, la cultivar Vairo fue la primera en florecer con respecto a las cultivares Marinada y Tarraco. El 7 de septiembre se registró la plena floración en la cultivar Vairo y el inicio de la floración en la cv. Marinada. El 11 de septiembre, la cv. Tarraco tuvo un valor medio superior al porcentaje de inicio de floración y la cv. Marinada un valor medio próximo a plena floración. El 14 de septiembre, la cv. Tarraco superaba el valor medio de plena floración. El final de la floración se observó desde el 23 de septiembre en las cultivares Vairo y Marinada y el 28 de septiembre en la cv. Tarraco (Figura 5 y Tabla 7).

Existen pocos estudios científicos sobre la fenología de las cultivares de almendro de floración temprana, en regiones áridas de San Juan, tal como el trabajo de Silva *et al.* (2004) donde se reporta el 11 de agosto el inicio de floración y el 5 de septiembre el final de floración de la cv. Nonpareil (de floración temprana). Al comparar estos datos con las fechas presentadas en las tablas 6 y 7, observamos que las cultivares Marinada, Vairo y Tarraco tuvieron fechas de floración similares en el 2016 y fechas de floración tardía (aproximadamente un mes) en el 2020 con respecto a la cv. Nonpareil.

Se requiere desarrollar estudios simultáneos de la fenología de las cultivares de floraciones temprana, intermedia y tardía, para establecer la diferencia temporal entre estos cultivares y determinar la viabilidad productiva del monte de almendros con diferentes fechas de floración (cultivares de floraciones temprana, intermedia y tardía) como estrategia para atenuar los efectos de las heladas tardías y del viento Zonda de San Juan y asegurar la producción de almendras.

Table 6: Analysis of variance of the flowering percentage of Marinada, Tarraco and Vairo almond trees cultivars in 2016. Experimental field of INTA EEA San Juan, Argentina.**Tabla 6:** Análisis de la varianza del porcentaje de floración de las cultivares de almendro Marinada, Tarraco y Vairo en 2016. Campo experimental de INTA EEA San Juan, Argentina.

Fecha	Cultivar	Porcentaje de floración (%)	N	CV	p-valor	DMS
8/8/2016	Vairo	10,22 a	54	43,32	<0,0001	1,18
	Marinada	0 b				
	Tarraco	0 b				
15/8/2016	Vairo	58,06 a	54	43,58	<0,0001	10,28
	Marinada	19,61 b				
	Tarraco	10,28 b				
18/8/2016	Vairo	100 a	54	23,03	<0,0001	11,04
	Marinada	56,94 b				
	Tarraco	21,94 c				
22/8/2016	Vairo	100 a	54	2	0,01	1,59
	Marinada	98,33 b				
	Tarraco	98,33 b				
29/8/2016	Vairo	11,61 b	54	17,82	<0,0001	4,63
	Marinada	15,00 b				
	Tarraco	70,28 a				
7/9/2016	Vairo	0 b	54	38,64	<0,0001	1,22
	Marinada	0 b				
	Tarraco	11,83 a				

N: número de muestras (2 ramas por árbol, 3 árboles por unidad experimental, 3 repeticiones y 3 cultivares). CV: coeficiente de variación. DMS: diferencia mínima significativa. Letras distintas, entre valores medios de porcentaje de floración de las cultivares de almendro, indican diferencias significativas según prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

En el estadio de desarrollo de hojas, las primeras hojas se separaron en las cultivares Marinada y Vairo, con una semana de diferencia, con respecto a la cultivar Tarraco y en todos los ciclos de cultivos. El ciclo 2016/2017 fue el más temprano (primera semana de agosto) y el ciclo 2020/2021 fue el más tardío (cuarta semana de agosto) en el desarrollo de hojas.

El desarrollo y la maduración de la almendra se registraron desde el mes de septiembre hasta el mes de febrero. En el ciclo de cultivo 2016/2017, se produjo el daño total de frutos debido al congelamiento generado por la helada tardía de septiembre de 2016. En los ciclos de cultivo siguientes, el 50 % de tamaño final del fruto, se registró en un período comprendido desde la tercera semana de septiembre hasta la segunda semana de octubre. La cosecha de los frutos se realizó, con el epicarpio-mesocarpio abierto y deshidratado parcial, entre la última semana de enero y la segunda semana de febrero.

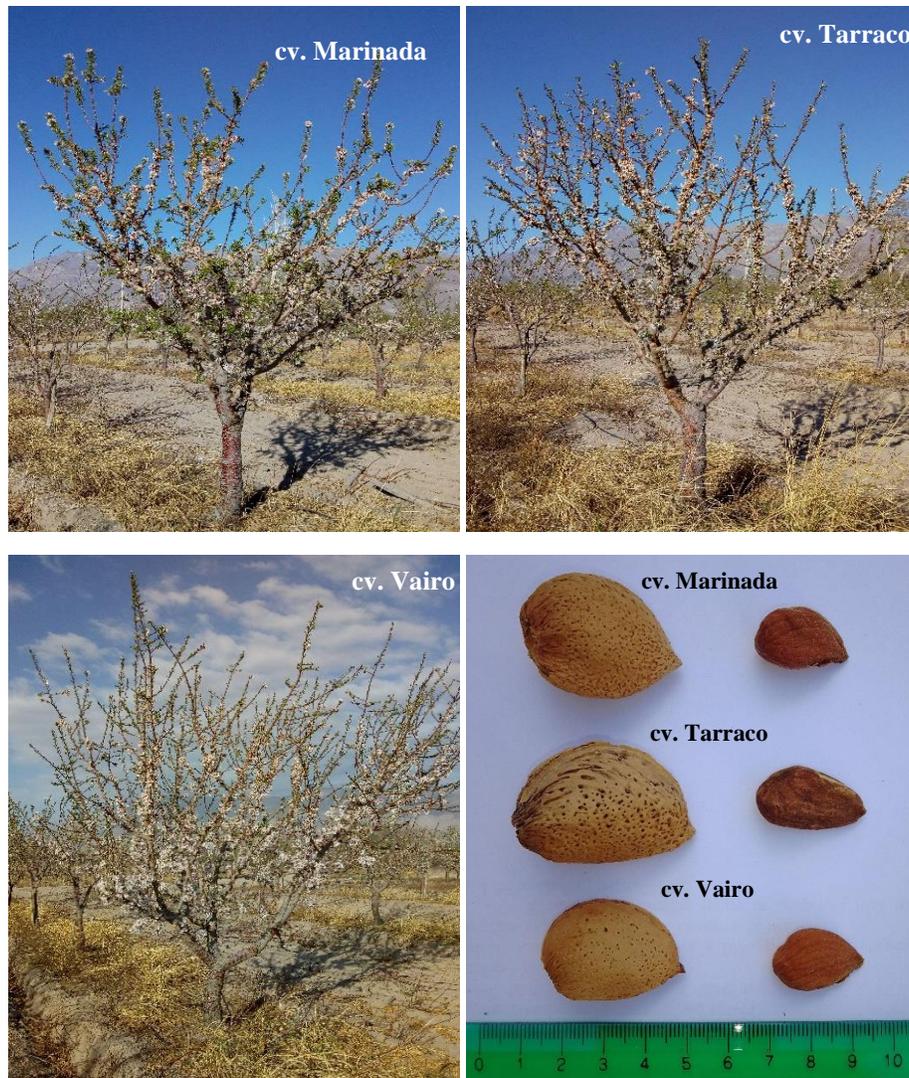


Figure 5: Marinada, Tarraco and Vairo almond trees cultivars (September 2020). Flowering plants and fruits. Experimental field of INTA EEA San Juan, Argentina.

Figura 5: Cultivares de almendro Marinada, Tarraco y Vairo (septiembre de 2020). Plantas en floración y frutos. Campo experimental de INTA EEA San Juan, Argentina.

El estadio de senescencia y comienzo del reposo vegetativo, con el 50% de las hojas decoloradas se observaron en el mes de mayo en todas las cultivares; mientras que, la caída total se observó entre la primera y segunda semana de junio. Estos eventos se produjeron con el descenso de las temperaturas y con las heladas de mayo (T_m mín. de 6,8 °C y T_m máx. de 19,5 °C) y junio (T_m mín. de 1,6 °C y T_m máx. de 16,1 °C).

Este amplio periodo de permanencia de hojas (agosto hasta mayo) registrado en las cultivares Marinada, Tarraco y Vairo determina la importancia de la práctica de fertilización durante el ciclo anual; teniendo en cuenta que acontecen dos flujos de crecimiento vegetativo, uno primaveral y otro desde mediados/fines de verano cuando descienden las temperaturas máximas.

Table 7: Analysis of variance of the flowering percentage of Marinada, Tarraco and Vairo almond trees cultivars in 2020. Experimental field of INTA EEA San Juan, Argentina.

Tabla 7: Análisis de la varianza del porcentaje de floración de las cultivares de almendro Marinada, Tarraco y Vairo en 2020. Campo experimental de INTA EEA San Juan, Argentina.

Fecha	Cultivar	Porcentaje de floración (%)	N	CV	p-valor	DMS
04/09/2020	Vairo	27,22 a	54	35,75	<0,0001	3,01
	Marinada	4,22 b				
	Tarraco	0 c				
07/09/2020	Vairo	54,44 a	54	22,82	<0,0001	3,99
	Marinada	10,83 b				
	Tarraco	0 c				
11/09/2020	Vairo	100 a	54	6,55	<0,0001	3,16
	Marinada	48,61 b				
	Tarraco	31,67 c				
14/09/2020	Vairo	100 a	54	9,17	<0,0001	6,51
	Marinada	83,89 b				
	Tarraco	80,83 b				
23/09/2020	Vairo	16,94 b	54	19,81	<0,0001	5,19
	Marinada	15,28 b				
	Tarraco	65,56 a				
28/09/2020	Vairo	0 b	54	43,12	<0,0001	1,55
	Marinada	0 b				
	Tarraco	13,44 a				

N: número de muestras (2 ramas por árbol, 3 árboles por unidad experimental, 3 repeticiones y 3 cultivares). CV: coeficiente de variación. DMS: diferencia mínima significativa. Letras distintas, entre valores medios de porcentaje de floración de las cultivares de almendro, indican diferencias significativas según prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Los registros fenológicos obtenidos en las cultivares Marinada, Tarraco y Vairo coinciden parcialmente con los resultados de Maatallah *et al.* (2022), con respecto a la duración de la floración, a la secuencia de la floración y a la producción de frutos en una región semiárida de clima Mediterráneo (Túnez) y se atribuyen a las diferencias climáticas de ambos sitios de ensayo.

3.2. Características agronómicas: área seccional de tronco, densidad floral y rendimiento de frutos:

El crecimiento de tronco se diferenció significativamente, entre las cultivares, en los ciclos de cultivos 2014/2015 y 2015/2016, los valores medios más altos correspondieron a las cultivares Vairo y Marinada, con respecto a la cv. Tarraco; mientras que en los ciclos de cultivos 2016/2017 y 2017/2018, el AST no se diferenció significativamente entre las cultivares (Figura 6).

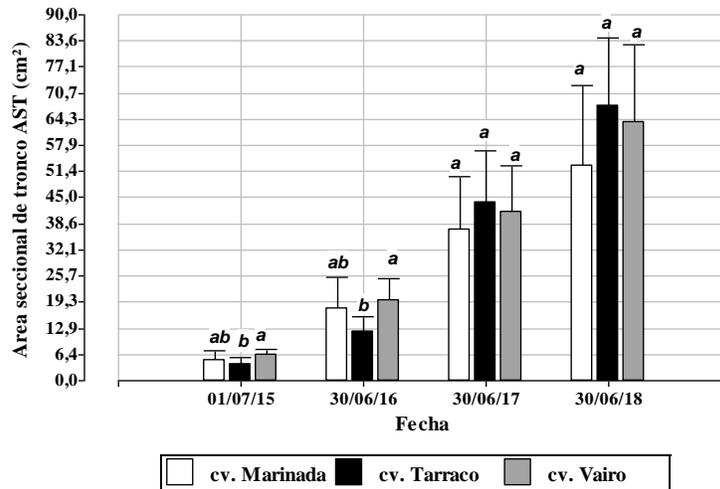


Figure 6: Average trunk cross-sectional area (TCSA) of Marinada, Tarraco and Vairo almond trees cultivars (2015-2018). Different letters between bars indicate significant differences according to the Tukey's test ($p \leq 0.05$). Experimental field of INTA EEA San Juan, Argentina.

Figura 6: Promedio de área seccional de tronco (AST) de las cultivares de almendro Marinada, Tarraco y Vairo (2015-2018). Letras distintas entre barras indican diferencias significativas según prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). Campo experimental de INTA EEA San Juan, Argentina.

Las cultivares Marinada, Tarraco y Vairo mostraron buen crecimiento vegetativo y concuerda con las descripciones publicadas por Vargas *et al.* (2010) de almendros vigorosos y de precoz entrada en producción; como así también de la compatibilidad con diversos portainjertos seleccionados según el vigor, el rendimiento, el tamaño de grano y la densidad de plantación (Lordan *et al.*, 2019). No obstante, es importante mencionar la aparición de gomosis durante el verano provocando la muerte del injerto (principalmente en la cv. Marinada) y el rebrote del patrón (Garfinem) y podría relacionarse con las altas temperaturas y/o con el exceso de humedad (Figura 7).



Figure 7: Occurrence of gummosis during summer in the Marinada almond trees cultivar. Experimental field of INTA EEA San Juan and grower's field. Argentina, 2020.

Figura 7: Aparición de gomosis durante el verano en la cv. Marinada. Campo de INTA EEA San Juan y campo de productor. Argentina, 2020.

La DFI no se diferenció significativamente, entre las cultivares, en el año 2016; no obstante, en 2017 y 2018, la cultivar Marinada alcanzó los mayores valores medio con respecto a las cultivares Vairo y Tarraco. En el año 2020, la DFI de ramas, de uno y dos años, tuvo diferencias significativas entre las cultivares, exhibiendo la cv. Vairo el mayor valor promedio con respecto a las demás cultivares, seguido por la cultivar Marinada pero únicamente en ramas de dos años (Tabla 8).

Table 8: Analysis of variance of linear floral density (FD) of Marinada, Tarraco and Vairo almond trees cultivars in 2016, 2017, 2018 and 2020. Experimental field of INTA EEA San Juan, Argentina.

Tabla 8: Análisis de la varianza de la densidad floral lineal (DFI) de las cultivares de almendro Marinada, Tarraco y Vairo en 2016, 2017, 2018 y 2020. Campo experimental de INTA EEA San Juan, Argentina.

Fecha	Cultivar	DFI (yemas florales.dm ⁻¹)	N	CV	p-valor	DMS
Invierno/2016	Vairo	1,88 a	108	77,24	0,6044	-----
	Marinada	1,86 a				
	Tarraco	2,18 a				
Invierno/2017	Vairo	6,03 b	90	46,7	<0,0001	1,77
	Marinada	10,98 a				
	Tarraco	1,47 c				
Invierno 2018	Vairo	5,14 b	81	72,45	<0,0001	3,32
	Marinada	12,53 a				
	Tarraco	3,51 b				
Invierno 2020	Vairo	6,07 a	27	41,99	<0,0001	1,72
	rama de un año	1,57 b				
	Tarraco	2,80 b				
Invierno 2020	Vairo	19,58 a	27	15,32	<0,0001	2,02
	rama de dos años	8,87 b				
	Tarraco	5,11 c				

DFI: densidad floral lineal. N: número de muestras (4 ramas por árbol en 2016, 2 y 4 ramas por árbol en 2017, 3 ramas por árbol en 2018, 2 ramas de 1 y 2 años por árbol en 2020). CV: coeficiente de variación. DMS: diferencia mínima significativa. Letras distintas, entre valores medios de densidad floral lineal de las cultivares de almendro, indican diferencias significativas según prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Respecto a la densidad floral y al rendimiento final de frutos del almendro, es importante volver a mencionar los efectos negativos de las heladas tardías y el viento Zonda (durante agosto y septiembre en San Juan) sobre las estructuras florales, la acción de los polinizadores, el cuaje de frutos y el crecimiento inicial del fruto. En este sentido se obtuvieron producciones diferenciales de frutos en las cultivares Marinada, Vairo y Tarraco durante los ciclos estudiados.

En el ciclo de cultivo de 2016-2017, se observaron altas cantidad de cuajes de frutos en las cultivares Marinada y Vairo con respecto a la cv. Tarraco; no obstante, las cultivares tuvieron

pérdidas totales de frutos por efecto de una helada tardía (helada meteorológica de 4 horas de duración y temperatura mínima extrema de -2°C) registrada por la Estación Agrometeorológica de EEA San Juan INTA, el 6 de septiembre de 2016.

La congelación es un estrés ambiental importante que limita la distribución geográfica, el crecimiento y la productividad de los árboles frutales (Yu & Lee, 2020), causando la disfunción de las anteras, la esterilidad severa del polen y, en última instancia, provocando grandes pérdidas del rendimiento de los cultivos (Li *et al.*, 2021); como sucede con el cultivo de almendro, en zonas mediterráneas o de Oriente Medio (Hosseinpour *et al.*, 2018). Asimismo, el almendro es muy sensible a las heladas desde el brote de la yema en adelante (Imani & Mahamadhani, 2011) y su respuesta (vegetativa y/o productiva) al daño depende del estado fisiológico general, la variedad y la etapa fenológica (Grasselly & Crossa-Raynaud, 1984; Kodad & Socias i Company, 2005; Bigdeli Moheb *et al.*, 2018; Prudencio *et al.*, 2018).

En la cosecha del ciclo 2017-2018, el rendimiento de frutos completos (parte externa e interna) se diferenció significativamente entre las cultivares; obteniéndose $1,11 \text{ kg.pl}^{-1}$ en la cv. Vairo, $1,02 \text{ kg.pl}^{-1}$ en la cv. Marinada y $0,07 \text{ kg.pl}^{-1}$ en la cv. Tarraco (hasta 10 frutos por árbol). Similarmente, en el ciclo 2020-2021, el rendimiento promedio de frutos fue de $1,64 \text{ kg.pl}^{-1}$ en la cv. Vairo, $1,50 \text{ kg.pl}^{-1}$ en la cv. Marinada y $0,06 \text{ kg.pl}^{-1}$ en la cv. Tarraco (hasta 10 frutos por árbol). El peso promedio de la pepa o semilla fue $1,08 \text{ g}$ en la cv. Marinada, $1,10 \text{ g}$ en la cv. Vairo y $1,35 \text{ g}$ en la cv. Tarraco.

La escasa o nula producción de almendras en la cv. Tarraco (Figura 8) podría relacionarse con a) la fecha extratardía de floración y la ausencia de otro cultivar para la polinización cruzada, debido a su autoincompatibilidad (Vargas *et al.*, 2010), b) el efecto de la temperatura ambiental sobre las estructuras florales (Connell, 2000; Ortega *et al.*, 2004; Sorkheh *et al.*, 2018), c) las interacciones genéticas entre el cuaje y la caída de frutos (Guo *et al.*, 2021; Lordan *et al.*, 2021) u otros factores fisiológicos y ambientales a indagar en futuras investigaciones.



Figure 8: Fruit set deficiency or fruit growth failure of the Tarraco almond trees cultivar. Experimental field of INTA EEA San Juan, Argentina.

Figura 8: Deficiencia en el cuaje o fallas en el crecimiento de frutos de la cultivar Tarraco. Campo de INTA EEA San Juan, Argentina.

4. Conclusiones

La floración (inicio, plenitud y finalización) de las cultivares de floración tardía se produce entre los meses de agosto y de septiembre en San Juan (Argentina), primero en la cv. Vairo, luego en la cv. Marinada y por último en la cv. Tarraco (con un solape de los estadios entre las cultivares).

Las cultivares Marinada y Vairo tienen mayor densidad floral con respecto a la cv. Tarraco.

El crecimiento de tronco en las cultivares Vairo y Marinada fue mayor que la cultivar Tarraco en los primeros ciclos de cultivo.

La cultivar Tarraco tiene problemas en el cuaje y/o crecimiento de frutos.

La maduración de los frutos en las cultivares Vairo y Marinada se alcanza en el mes de febrero.

Las cultivares Vairo y Marinada tienen mayor rendimiento de frutos con respecto a la cv. Tarraco.

La caída de hojas y letargo invernal en las cultivares Vairo, Marinada y Tarraco se registran desde el mes de mayo.

Las cultivares Marinada, Tarraco y Vairo (en su 5to y 6to año de campo) necesitaron entre 685 HF y 857 HF (método directo) hasta la ruptura del reposo invernal (de mayo hasta julio).

Los métodos indirectos de cálculo de horas de frío proporcionan valores subestimados o sobreestimados con respecto a las horas de frío reales (método directo); no obstante, son procedimientos alternativos de información para los estudios fenológicos.

5. Agradecimientos

Al personal de ayudantes de campo de la EEA San Juan (Omar Morales, Diego Castro, Daniel Yuaidier, Daniel Aballay, Aldo Soria y Ramón Terrera). Al área de meteorología (MSc. Sonia Silva) y de biblioteca (Daniela Rodríguez) de la EEA San Juan. Al Programa Nacional de Agua y al PRoT NOVt (2013) de INTA.

6. Conflicto de intereses

Los autores declaran que este trabajo no presenta conflicto de intereses.

7. Bibliografía

Agustí, M. (2010). Fruticultura. Ediciones Mundi Prensa. 1-507.

Ajibade, A. & Saghaian, S. (2022). U.S. almond exports and retaliatory trade tariffs. *Sustainability* 14, 6409, 1-15.

Alegre, S., Miarnau, X., Romero, M. & Vargas, F. (2007). Potencial productivo de seis variedades de almendro en condiciones de riego deficitario. *Fruticultura Profesional* 169, 23-29.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del

cultivo. Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. FAO Riego y Drenaje 56.

Alonso Segura, J.M., Socías I Company, R. & Kodad, O. (2017). Late-blooming in almond: A controversial objective. *Scientia Horticulturae* 224, 61–67.

Andrada, H.N. (1975). Adaptación del almendro a la provincia de San Juan. Estación Experimental Agropecuaria San Juan. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina. 1-11.

- Barreca, D., Nabavi, S.M., Sureda, A., Rasekhian, M., Raciti, R., Silva, A.S., Annunziata, G., Arnone, A., Tenore, G.C., Süntar, I. & Mandalari, G. (2020). Almonds (*Prunus Dulcis* Mill. D. A. Webb): a source of nutrients and health-promoting compounds. *Nutrients* 12, 672,1-22.
- Base de Datos Estadísticos Corporativos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAOSTAT). 2020. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL/visualize>
- Beck, H., Zimmermann, N., McVicar, T., Vergopolan, N., Berg, A. & Wood, E. (2018). Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data*. 5. 180214. 10.1038/sdata.2018.214.
- Benmoussa, H., Gharb, M., Mimoun, M.B. & Luedeling, E. (2017). Chilling and heat requirements for local and foreign almond (*Prunus dulcis* Mill.) cultivars in a warm Mediterranean location based on 30 years of phenology records. *Agricultural and Forest Meteorology* 239, 34-46.
- Bleiholder, H., Buhr, L., Feller, C., Hack, H., Hess, M., Klose, R., Meier, U., Stauss, R. van den Boom, T. & Weber, E. (1996). Compendio para la identificación de los estadios fenológicos de especies mono- y dicotiledóneas cultivadas, escala BBCH extendida. BASF AG.
- Bigdeli Moheb, M., Imani, A. & Shamili, M. (2018). The evaluation of almond progenies of cold-susceptible and cold-tolerant parents (Filippo-Ceo × Shahrood-12). *Scientia Horticulturae* 234, 176-183.
- Calle, A., Saski, C., Wünsch, A., Grimplet, J. & Gasic, K. (2022). Identification of key genes related to dormancy control in *Prunus* species by Meta-Analysis of RNAseq Data. *Plants* 2022, 11, 2469.
- Caretta, A., Ortega, A. & Ortíz Maldonado, A. (2004). Probabilidades de daño por viento zonda en la floración de frutales, vid y olivos. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. Tomo XXXVI. N° 2, 49-58.
- Connell, J. (2000). Pollination of almonds: practices and problems. *Hort Technology*. 10 (1), 116-119.
- Cosmulescu, S., Ștefănescu, D. & Stoenescu, A.M. (2022). Variability of phenological behaviours of wild fruit tree species based on discriminant analysis. *Plants* 11, 45, 1-8.
- Chaar, J. E. & Castro, V.L. (2022). Determinación de los requerimientos térmicos otoño-invernales en almendro (*Prunus amygdalus* Batsch) cv. Guara y cv. Marinada. *Revista Avances en Investigación Agropecuaria* 26, 109-120.
- Chhetri, A., Ramjan, Md., & Dolley, N. (2018). Various models to calculate chill units in fruit crops. *Indian Farmer* 5 (04), 439-442.
- Damario, A., Pascale, A.J. & Bustos, C. (1998). Método simplificado para la estimación agroclimática de “horas de frío” anuales. *Revista Facultad de Agronomía*, 18 (1-2), 93-97.
- Egea, J., Ortega, E., Martínez-Gómez, P., & Dicenta, F. (2003). Chilling and heat requirements of almond cultivars for flowering. *Environmental and Experimental Botany* 50, 79-85.
- Fathi, A., Ghareyazi, B., Haghazari, A., Ghaffari, M. R., Pirseyedi, S. M., Kadkhodaei, S., Naghavi, M. R. & Mardi, M. (2008). Assessment of the genetic diversity of almond (*Prunus dulcis*) using microsatellite markers and morphological traits. *Iranian Journal of Biotechnology*, Vol.6, 2, 98-106.
- Fenner, M. (1998). The phenology of growth and reproduction in plants. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematic*. Vol. 1, 78-91.
- Fischer, G., Ramírez, F. & Casierra-Posada, F. (2016). Aspectos de la ecofisiología de

- los frutales en los tiempos del cambio climático. Una revisión. *Agronomía Colombiana* 34 (2), 190-199.
- García, M.S., Leva, P.E., Valtorta, S.E., Gariglio, N.F. & Toffoli, G. (2011). Estimación de horas de frío para la Localidad de Sauce Viejo (Santa Fe, Argentina): diferentes modelos. *Revista FAVE - Ciencias Agrarias* 10 (1-2), 69-75.
- Gariglio, N.F., Pilatti, R.A. & Agustí, M. (2007). Requerimientos ecofisiológicos de los árboles frutales. In: Sozzi, G.O. (ed.). *Árboles frutales: ecofisiología, cultivo y aprovechamiento*. Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires. 1-51
- Grasselly, Ch. & Crossa-Raynaud, P. (1984). *El almendro*. Ed. Mundi Prensa. Madrid.
- Guo, G., Wei, Y., Yang, B., Ayup, M., Li, N., Liu, J., Liao, K. & Wang, H. (2021). Developmental transcriptome profiling uncovered carbon signaling genes associated with almond fruit drop. *Scientific Reports* 11, 3401, 1-12.
- Hosseinpour, B., Sepahvand, S., Aliabad, K., Bakhtiarizadeh, R., Imani, A., Assareh, R. & Salami, A. (2018). Transcriptome profiling of fully open flowers in a frost-tolerant almond genotype in response to freezing stress. *Mol Genet Genomics* 293,151-163.
- Hussain, S.Z., Naseer, B., Qadri, T. & Bhat, T.A. (2021). Almond (*Prunus dulcis*)—morphology, taxonomy, composition and health benefits. In: *Fruits Grown in Highland Regions of the Himalayas, Nutritional and Health Benefits*. (Abstracts).
- Imani, A. & Mahamadkhani, Y. (2011). Characteristics of almond selections in relation to late frost spring. *International Journal of Nuts and Related Sciences* 2 (2), 31-34.
- Kodad, O. & Socias i Company, R. (2005). Daños diferenciales por heladas en flores y frutos y criterios de selección para la tolerancia a heladas en el almendro. *ITEA* 101 (4), 349-363.
- Kodad, O. & Socias I Company, R. (2008). Densidad floral, cuajado y características de los frutos del almendro en relación al tipo de ramificación. *Información Técnica Económica Agraria (ITEA)*, Vol. 104 N° 4, 433-447.
- Kuehl, R.O. (2001). *Diseño de experimentos. Principios estadísticos de diseño y análisis de investigación*. Internacional Thomson Editores S.A. México.
- Kumar, D. & Ahmed, N. (2014). Response of nitrogen and potassium fertigation to “Waris” almond (*Prunus dulcis*) under Northwestern Himalayan Region of India. *The Scientific World Journal*, Article ID 141328, 1-6.
- Ladizinsky, G. (1999). On the origin of almond. *Genetic Resources and Crop Evolution* 46,143-147.
- Li, P., Tian, J., Guo, C., Luo, S. & Li, J. (2021). Interaction of gibberellin and other hormones in almond anthers: phenotypic and physiological changes and transcriptomic reprogramming. *Horticulture Research*. 8, 94, 1-16.
- Lombard, P.B., Callan, N.W., Dennis, Jr. F.G., Looney, N.E., Martin, G.C., Renquist, R.A. & Mielke, E.A. (1988). Towards a standardized nomenclature, procedures, values, and units in determining fruit and nut tree yield performance. *Hort Science* 23 (5), 813-817.
- Lordan, J., Zazurca, L., Maldonado, M., Torguet, L., Alegre, S. & Miarnau, X. (2019) Horticultural performance of ‘Marinada’ and ‘Vairo’ almond cultivars grown on a genetically diverse set of rootstocks. *Scientia Horticulturae* 256, 108558, 1-12.
- Lordan, J., Zazurca, L., Rovira, M., Torguet, L., Batlle, I., DeJong, T. & Miarnau, X. (2021). Almond fruit drop patterns under

- mediterranean conditions. *Agriculture* 11, 544, 1-18.
- Maatallah, S., Guizani, M., Elloumi, O. & Ghrab, M. (2022). Phenological and biochemical characteristics of almond cultivars in arid climate of central Tunisia. *Environmental Sciences Proceedings*, 16,7, 1-5.
- Maldera, F., Vivaldi, G.A., Iglesias-Castellarnau, I. & Camposeo, S. (2021). Two almond cultivars trained in a super-high density orchard show different growth, yield efficiencies and damages by mechanical harvesting. *Agronomy* 11, 1406, 1-15.
- Ministerio de Economía de la República Argentina. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Censo Nacional Agropecuario (CNA). (2018). Resultados definitivos. Frutales. Superficie implantada por cultivo, según provincia, en hectáreas. Al 30 de junio. pp 230. 1-747.
- Montesinos, A., Throp, G., Grimplet, J. & Rubio-Cabetas, M. (2021). Phenotyping almond orchards for architectural traits influenced by rootstock choice. *Horticulturae* 7, 159, 1-15.
- Nawade, B., Yahyaa, M., Reuveny, H., Shaltiel-Harpaz, L., Eisenbach, O., Faigenboim, A., Bar-Yaakov, I., Holland, D. & Ibdah, M. (2019). Profiling of volatile terpenes from almond (*Prunus dulcis*) young fruits and characterization of seven terpene synthase genes. *Plant Science* 287. (Abstracts).
- Ortega, E., Egea, J. & Dicenta, F. (2004). Effective pollination period in almond cultivars. *HortScience*. 39, 1-19. (Abstracts).
- Oručević, A. & Aliman, J. (2018). The phenology of flowering and ripening of almond cultivars Nonpareil, Texas, Ferraduel and Genco in Herzegovina. *International Journal of Plant and Soil Science*.21 (3), 1-9.
- Özcan, M.M. (2022). A review on some properties of almond: impact of processing, fatty acids, polyphenols, nutrients, bioactive properties, and health aspects. *Journal of Food Science and Technology*.
<https://doi.org/10.1007/s13197-022-05398-0>.
- Panigatti, J.L. (2010). Argentina 200 años, 200 suelos. Ed. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires.
- Pérez de los Cobos, F., Martínez-García, P., Romero, A., Miarnau, X., Eduardo, I., Howad, W., Mnejja, M., Dicenta, F., Socias i Company, R., Rubio-Cbetas, M., Gradziel, T.M., Wirthensohn, M., Duval, H., Holland, D., Arus, P., Vargas, F. & Batlle, I. (2021). Pedigree analysis of 220 almond genotypes reveals two world mainstream breeding lines based on only three different cultivars. *Horticulture Research* 8:11, 1-11.
- Pereyra, B.R. (2000). Clima de la provincia de San Juan. Argentina. Recursos y problemas ambientales de la zona árida. Prog. Coop. Junta Gobierno Andalucía. PAN-GTZ, Primera Parte: 71-78. Andalucía.
- Pica, A.L., Silvestri, C. & Cristofori, V. (2021). Evaluation of phenological and agronomical traits of different almond grafting combinations under testing in central Italy. *Agriculture* 11, 1252, 1-14.
- Prudencio, A.S., Martinez-Gomez, P. & Dicenta, F. (2018). Evaluation of breaking dormancy, flowering and productivity of extra-late and ultra-late flowering almond cultivars during cold and warm seasons in South-East of Spain. *Scientia Horticulturae*. 235, 39-46.
- Prudencio, A.S., Hoerberichts, F.A., Dicenta, F., Martinez-Gómez, P. & Sánchez-Pérez, R. (2021). Identification of early

- and late flowering time candidate genes in endodormant and ecodormant almond flower buds. *Tree Physiology* 41, 589-605.
- Richardson, E.A., Seeley, S.D. & Walker, R.D. (1974). A model for estimating completion of rest for “Redhaven” and “Elberta” Peach trees. *HortScience* 9, 331-332.
- Ruml, M. & Vulie, T. (2005). Importance of phenological observations and predictions in agricultura. *Journal of Agricultural Sciences*. Vol. 50, 2, 217-225.
- Ruml, M., Milatovic, D., Zec, G. & Durovic, D. (2020). Estimation of chilling and heat requirements for flowering in almond. *Acta Hort.* 1289, 199-204. (Abstracts).
- Sakar, E.H., El Yamami, M., Boussakouran, A. & Rharreabti, Y. (2019). Codification and description of almond (*Prunus dulcis*) vegetative and reproductive phenology according to the extended BBCH scale. *Scientia Horticulturae*. 247, 224-234.
- Sana, S., Akhter, N., Amjum, F., Khan Gul, S. & Akram, M. (2021). Genetic diversity in almond (*Prunus dulcis*). In *Prunus Recent Advances*. IntechOpen. 1-14.
- Sánchez-Pérez, R., Del Cueto, J., Dicenta, F. & Martínez-Gómez, P. (2014). Recent advancements to study flowering time in almond and other *Prunus* species. *Frontiers in Plant Science* 5, 334, 1-7.
- Seluchi, M.E., Norte, F.A., Satyamurty, P. & Chou, S.C. (2003a). Analysis of three situations of the Foehn effect over the Andes (Zonda wind) using the Eta-CPTec regional model. *American Meteorological Society* 18, 481-501.
- Seluchi, M.E., Saulo, A.C., Nocolini, M. & Satyamurty, P. (2003b). The Northwestern Argentinian Low: A Study of Two Typical Events. *American Meteorological Society* 131, 2361-2378.
- Silva, S., Raigon, J.M. & Caloggero, S. (2004). Incidencia del viento Zonda y heladas en la producción de almendros en San Juan. X Reunión Argentina y IV Latinoamericana de Agrometeorológica.
- Sorkheh, K., Azimkhani, R., Nehri, N., Chaleshtori, M.H., Halász, J., Ercisli, S. & Koubouris, G.C. (2018). Interactive effects of temperature and genotype on almond (*Prunus dulcis* L.) pollen germination and tube length. *Scientia Horticulturae* 227, 162-168.
- Suvires, G.M. (2004). Distribución de los suelos en función del relieve y de la neotectónica en la región sureste de la provincia de San Juan. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 59(3), 376-384.
- Stucky, B. J., Guralnick, R., Deck, J., Denny, E.G., Bolmgren, K. & Walls, R. (2018). The plant phenology ontology: a new informatics resource for large-scale integration of plant phenology data. *Frontiers in Plant Science*. Vol. 9, 517, 1-12.
- Valdez-Hernández, M. (2015). Vegetative and reproductive plant phenology. In *Biodiversity and Conservation of the Yucatan Peninsula*. Capítulo 4, 1-41.
- Vargas, F.J., Romero, M.A., Clavé, J. & Batlle, I. (2010). Important traits in IRTA's new almond cultivars. *Australian Nut Grower* 24, 15-18.
- Velasco, D., Hough, J., Aradhya, M. & Ross-Ibarra, J. (2016). Evolutionary genomics of peach and almond domestication. *G3 Genes, Genomes, Genetics*, 6, 3985-3993.
- Yu, J. & Lee, J. (2020). Evaluation of freezing injury in temperate fruit trees. *Horticulture, Environment, and Biotechnology* 61, 787-794.

Horticultura Argentina es licenciado bajo Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial 2.5 Argentina.