



Condiciones climáticas adversas sobre la floración y productividad del almendro (*Prunus amygdalus* Batsch) cv. “Marinada”

Adverse Climatic Conditions on Bloom and Productivity of Almond (*Prunus amygdalus* Batsch) cv. “Marinada”

Viviana Laura Castro^{1*} <http://orcid.org/0000-0003-0486-4351>

Javier Emilio Chara² <http://orcid.org/0000-0001-7603-4731> | chara.javier@inta.gov.ar

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Estación Experimental Agropecuaria San Juan, Calle 11 y Vidart. Villa Aberastain. Pocito (5427). San Juan. Argentina.

²Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Agencia de Extensión Rural Guaymallén, Profesor Mathus s/n Bermejo Guaymallén (5533). Mendoza. Argentina.

*Autor de correspondencia: castro.viviana@inta.gov.ar

Recibido: 19 de marzo de 2025

Aceptado: 05 de mayo de 2025

Publicado: 29 de julio de 2025

Resumen

Objetivo. Evaluar el impacto de condiciones climáticas adversas sobre la floración y productividad del almendro cv. “Marinada” durante 2023 y 2024. **Materiales y métodos.** Se recolectó material de una plantación comercial en el departamento de Pocito, provincia de San Juan, Argentina. Se determinaron variables fenológicas, climáticas, productivas y análisis morfológico de flores y foliares de boro. **Resultados.** La fecha de plena floración fue el 25 de agosto de 2023 y el 28 de agosto de 2024. En los años evaluados se registraron días con valores críticos de temperatura, humedad relativa y velocidad de viento. En 2023 se acumularon 37 porciones de frío (PF) y 5 126 horas grado de

Abstract

Objective. To evaluate the impact of adverse climatic conditions on bloom and productivity of almond cv. “Marinada” in 2023 and 2024. **Materials and methods.** Material was collected from a commercial orchard located in the department of Pocito San Juan, Argentina. Phenological, climatic, productive variables, and morphological analysis of flowers and foliar analysis of boron were determined. **Results.** Full bloom date was August 25 on 2023 and August 28 on 2024. In evaluated years, days with critical values of temperature, relative humidity and wind speed were recorded. In 2023, 37 Chill Portions (CP) and 5 126 Growth Degree Hours (GDH °C) were accumulated and

crecimiento (GDH °C) y en 2024 47 PF y 4 266 GDH °C. En 2023 la densidad de floración fue de 1.09 yemas de flor/cm y el cuaje de frutos 0.19 %, sin producción. En 2024 hubo 1.51 yemas de flor/cm, cuaje de frutos 4.35 %, con rendimiento de 6.83 kg/planta. En 2023 sólo 3 % de las flores tenía el estigma de color marrón, mientras que en 2024 el 34 % tenía estigma o estilo necrosados. Los niveles foliares de boro 2023 y 2024 fueron 45.5 y 15.0 ppm, respectivamente. **Conclusiones.** En el departamento de Pocito San Juan Argentina, el almendro cv. "Marinada" mostró alta vulnerabilidad a las condiciones climáticas adversas. Durante los dos años evaluados sufrió una reducción en su carga frutal.

Palabras clave

Temperatura, receptividad estigmática, fecundación, cuaje.

47 CP and 4266 GDH °C in 2024. Bloom density in 2023 was 1.09 flower buds/cm and fruit set were 0.19%, with null production. In 2024, there were 1.51 buds/cm, with 4.35 % of fruit set and yield of 6.83 kg/plant. In 2023 only 3 % of flowers had brown stigma. In 2024, 34 % had necrotic stigma or style. The foliar boron levels in 2023 and 2024 were 45.5 and 15.0 ppm, respectively. **Conclusions.** In the department of Pocito San Juan Argentina, the almond tree cultivar "Marinada" showed high vulnerability to adverse weather conditions. During the two years evaluated, it suffered reduction in its fruit load.

Keywords

Temperature, stigmatic receptivity, fertilization, fruit set.

Introducción

Según Poblete y Minetti (1989) para la provincia de San Juan, Argentina, uno de los regímenes climáticos predominantes es el clima seco desértico. Una característica climática relevante de esta zona es que, bajo determinadas condiciones atmosféricas, entre los meses de mayo y noviembre suele desarrollarse un viento constituido por masas de aire caliente y bajo contenido de humedad proveniente de la Cordillera de los Andes, llamado viento Zonda. Los daños que provoca el viento Zonda en la fruticultura de la región de Cuyo, Argentina, se deben a la sequedad atmosférica que genera, a la brusca elevación de temperatura y a los efectos destructivos de su fuerza (Caretta *et al.*, 2004).

En la floración del almendro, los procesos de polinización, fecundación y cuajado del fruto están condicionados por la temperatura y la humedad, estos procesos son determinantes para obtener una cosecha económicamente aceptable. En la etapa de floración y cuaje de frutos, se consideran valores críticos temperaturas mayores a 30 °C y porcentaje de humedad relativa menor al 10 % (Caretta *et al.*, 2004; Castro y Alday, 2017; 2018).

En la polinización se realiza el transporte de los granos de polen desde las anteras al estigma. En este proceso, el estigma se encuentra receptivo unas horas después de la apertura de la flor y se produce la secreción estigmática, que consiste en un jugo azucarado y viscoso que facilita que los granos de polen se adhieran a su superficie, se hidraten y germinen (Felipe *et al.*, 2017). En condiciones climáticas favorables, el estigma generalmente es receptivo en la apertura de las flores o poco después de ello y permanece receptivo durante 3 o 4 días (Muncharaz-Pou, 2017). Williams (1965)

define el período efectivo de polinización (PEP) como el número de días que la flor, una vez abierta, permanece en condiciones de ser polinizada con éxito para dar fruto. Este periodo está determinado por la longevidad de los óvulos menos el desfase temporal entre la polinización y la fecundación, siempre que este valor resultante no exceda la duración de la receptividad del estigma; sin embargo, Ortega *et al.* (2004), describe que el PEP está determinado por las condiciones genéticas, fisiológicas y ambientales que ocurren durante la floración.

Kodad y Socias i Company (2014); Ortega *et al.* (2004) demostraron que la receptividad estigmática en el almendro limita el PEP, resultando como consecuencia en una reducción del cuajado y del rendimiento del fruto. Según Ortega *et al.* (2004) la receptividad del estigma varía con el cultivar y la cantidad de secreción estigmática suficiente, puede ser un requisito previo para una función adecuada del polen (Yi *et al.*, 2006).

Según Muncharaz-Pou (2017), el rango de temperatura óptima para la germinación del polen está entre los 10.0 y 21.0 °C. La temperatura óptima para el crecimiento del tubo polínico está entre 15.5 y 29.5 °C, aunque cuando la temperatura es mayor de 26.5 °C, el ritmo de crecimiento del tubo es menor. Los tubos polínicos se pueden quemar o secar por encima de 32.0 °C. Cuando las temperaturas son superiores a 27.0 °C, los problemas de envejecimiento del óvulo se aceleran y pueden producirse problemas de infecundidad, si la polinización no es inmediata a la apertura de la flor (Felipe *et al.*, 2017). Caretta *et al.* (2004) describen que la germinación del polen presenta un máximo térmico de 25 °C, y temperaturas superiores a 30 °C dan lugar a crecimientos irregulares o rupturas del tubo polínico, desecación de estilos o acortamiento del período efectivo de polinización por degeneración prematura de óvulos. Estudios realizados en distintos cultivares de almendro (*Prunus amygdalus* Batsch) y damasco (*Prunus armeniaca* L.) muestran que la disminución en la receptividad del estigma resultó en una disminución del cuajado y que la temperatura fue probablemente un factor importante que redujo la receptividad del estigma y, en consecuencia, el período efectivo de polinización (PEP) (Burgos *et al.*, 1991; Ortega *et al.*, 2004; Kodad y Socias i Company, 2009; Kodad *et al.*, 2013; Kodad y Socias i Company, 2014).

Para que se produzca la fecundación es necesario que el tubo polínico llegue a alcanzar el saco embrionario del óvulo tras su crecimiento en longitud a través de los tejidos del estilo y se realice la fusión del núcleo espermático del tubo polínico con la oosfera del saco embrionario (Socias i Company y Felipe, 1988). Tal como se describió, la temperatura del aire en el momento de la fecundación es un factor muy importante para el éxito de este proceso. La temperatura puede afectar la germinación del polen, el crecimiento del tubo polínico y la longevidad del óvulo (Podestá, 2007).

El viento Zonda, constituido por masas de aire caliente y bajo contenido de humedad, disminuye sensiblemente la cantidad de las flores fecundadas debido a la deshidratación de los estigmas, transformando el pistilo en no receptivo al polen (Caretta *et al.*, 2004). Cuando los estilos toman color marrón, las flores ya no son receptivas (Muncharaz-Pou, 2017). Si estos efectos negativos se producen en el período de 2 a 6 días en que normal-

mente debe hacerse el transporte de polen, los daños por disminución de polinización son importantes. Los efectos del viento sobre el accionar de los insectos polinizadores también afecta la producción. A decir de Socias i Company y Felipe (1988) las abejas no realizan vuelos ni actividad polinizadora con vientos superiores a 24 km/hora. Además, existen los efectos mecánicos del viento, como la agitación y ramaleo que producen laceraciones que pueden derivar en necrosis y caída de hojas, de flores y frutos (Caretta *et al.*, 2004).

Los árboles frutales caducifolios regulan su momento de salida de reposo otoño-invernal mediante la acumulación de frío y luego de calor. Según Chaar y Castro (2022), los requerimientos de frío del almendro cv. “Marinada” para florecer y fructificar correctamente, determinado con el modelo dinámico es de 41 PF (porciones de frío) y 5552 GDH °C (horas grado de crecimiento) para florecer. La fecha media de transición entre endodormancia y ecodormancia fue el 27 de julio. El registro de temperaturas más altas durante el periodo invernal traerá como consecuencia una falta de acumulación de frío provocando desordenes vegetativos y reproductivos (Diez-Palet *et al.*, 2019; Alonso *et al.*, 2017).

Respecto a los aspectos nutricionales en el proceso reproductivo, en este estudio se incluyó la evaluación de los niveles de boro foliar. Como comenta Vargas (2023), el boro es un microelemento esencial para mantener la viabilidad del polen, promover el crecimiento del tubo polínico en el estigma y estilo, desactivando la calosa; a su vez, permite lograr un buen cuajado y desarrollo del fruto. La deficiencia de boro dificulta la producción de lignina, lo que ocasiona un debilitamiento de las paredes celulares, su carencia puede ser un factor limitante o actuar complementariamente con otros factores adversos.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el impacto de las condiciones ambientales adversas sobre la floración y producción de almendro (*Prunus amygdalus* Bastch) cv. “Marinada” en el departamento de Pocito, San Juan, Argentina.

Materiales y métodos

Sitio y material vegetal

Se recolectó material de tres plantas, consideradas cada una como repetición, seleccionadas dentro de una plantación comercial de almendro cv. “Marinada” sobre pie “Nemared” o “Nemaguard”, ubicada en el departamento de Pocito, provincia de San Juan, Argentina (31° 37' 29.4” latitud S; 68° 34' 56.9” longitud O), implantada en el año 2017, a una distancia de 5 x 5 m (400 plantas/ha) conducida en vaso, regada mediante goteo y sin incorporación de colmenas de abejas en el cultivo.

Variables fenológicas

El registro fenológico se realizó de acuerdo a la metodología de la escuela europea del GREMPA (Felipe, 2000). La observación se llevó a cabo con una frecuencia de dos o tres días, evaluando la planta en su totalidad, cuantificando las siguientes fases: yema hinchada (YH): comienzo de separación de brácteas; primeras flores

(1eras F): apertura de las primeras flores aisladas; inicio de floración (IF): 5 % de flores abiertas; plena floración (PF): 50 % de flores abiertas; fin de floración (FPF): 95 % de flores abiertas e inicio caída de pétalos (ICP): 100 % de flores abiertas e inicio de caída de pétalos.

Variables climáticas

Temperatura máxima, humedad relativa mínima y velocidad del viento máxima

Los datos climáticos de temperatura máxima, humedad relativa mínima, velocidad máxima y dirección del viento durante los meses de agosto y septiembre de los años 2023 y 2024 se obtuvieron de la estación meteorológica automática de la Estación Experimental Agropecuaria San Juan INTA, ubicada en latitud S 31°37', longitud O 68°32' y altitud 618 msnm.

Requerimientos térmicos otoño-invernales

A partir de temperaturas horarias se calcularon los requerimientos de frío y de calor para la floración. El requerimiento de frío se calculó en porciones de frío (PF), mediante el modelo dinámico (Erez *et al.*, 1990; Erez y Fishman, 1998). Este modelo, asume que el nivel de terminación de la dormancia depende del nivel de un cierto factor de ruptura, el cual se acumula en las yemas mediante un proceso en dos pasos: el primero es un proceso reversible de formación y destrucción de un precursor térmicamente lábil; cuando se acumula una porción crítica del precursor, ésta es transferida irreversiblemente en el segundo paso a una porción de un factor estable, una porción de frío (Erez *et al.*, 1990).

La acumulación de calor se calculó según Richardson *et al.* (1974). Una hora grado de crecimiento (GDH °C) se define como una hora a una temperatura 1 °C por arriba de la temperatura base de 4.5 °C. Las temperaturas por encima de 25 °C se asumen iguales a 25 °C y es la mayor posible por cada hora, 20.5 GDH °C (Alonso *et al.*, 2005). Las GDH °C se calcularon desde la fecha de transición entre endo-ecodormancia y la fecha de plena floración promediando los valores de cinco años (Chaar y Castro, 2022).

Variables productivas

Se registraron variables productivas en los tres árboles seleccionados como densidad de floración, de fructificación y porcentaje de cuaje ya que el rendimiento frutal a cosecha dependerá, en gran medida, de estos valores. El cuajado es el crecimiento del ovario a consecuencia de la fecundación del óvulo, iniciándose así la formación del fruto (Muncharaz-Pou, 2017).

En cada una de las plantas seleccionadas se marcaron a 1.5 m de la superficie del suelo, con orientación a los cuatro puntos cardinales, cuatro ramas de 35 a 40 cm de longitud y 0.5 a 1 cm de diámetro en su base. En el estado fenológico de yema hinchada (YH), se contó el número de yemas de flor, (éstas se caracterizan por ser globosas y de mayor tamaño, mientras que las yemas de madera son puntiagudas) y se determinó la densidad de floración (número total de yemas de flor/ longitud de rama). Para el cálculo,

a la longitud de rama se sumó la longitud de las brindillas; esto es debido a que el hábito de fructificación del almendro es en ramilletes y brindillas. El conteo de yemas se efectuó desde la base hacia el ápice de la rama, facilitándose esta tarea mediante la utilización de un contador. Se registró la suma de los datos obtenidos en los cuatro puntos cardinales.

En los dos años, en el mes de noviembre, se realizó el conteo de frutos de las ramas marcadas, se determinó la densidad de frutos (número de frutos/longitud de rama) y el porcentaje de cuaje (n° de frutos cuajados / n° de yemas florales \times 100). Si bien el porcentaje de cuaje obtenido depende de factores externos (climáticos) e internos del árbol (fisiológicos o nutricionales) que pueden provocar una caída adicional de pequeños frutos, estos valores se pueden relacionar para su análisis con las variables climáticas presentadas durante los meses de agosto y septiembre. El rendimiento frutal se evaluó pesando las almendras con cáscara y capota por planta una vez que se deshidrataron.

Análisis morfológico de flores

Para evaluar el porcentaje de daño en pistilos, debido al estrés por alta temperatura, baja humedad relativa del aire y alta velocidad de viento se eligieron entre 60 y 120 flores al azar en los cuatro puntos cardinales, en ramas distintas a las marcadas para densidad de floración durante el año 2023 y en otras tres plantas diferentes a las marcadas en el año 2024. Para determinar el daño, se observó con lupa binocular estereoscópica Arcano ZTX-T 1:4 zoom 1.0 a 4.0 x luz led incidente, transmitida, regulable y a través de registros fotográficos, el estado de los estigmas y estilos donde la necrosis ocurre por la deshidratación y muerte del tejido. Al día siguiente de registradas temperaturas superiores a 30 °C, humedad relativa menor al 10 %, se observó la diferencia entre pistilos normales o pistilos desecados, no receptivos al polen. A continuación del conteo, se calculó el porcentaje de daño y se relacionó con los registros climáticos del momento de floración. Un aspecto importante a considerar en la elección de las flores para la observación de los pistilos es el tiempo de apertura de la flor, si la apertura de las flores elegidas corresponde al día del muestreo podrían no visibilizarse signos de daño.

Análisis foliar

En enero de 2023 y 2024 se realizaron análisis foliares de boro en un laboratorio privado. El método utilizado para su determinación fue ICP.¹

Análisis estadístico

Se realizó un análisis descriptivo de las variables climáticas seguido de la confección de gráficos que ayudan a visualizar las variaciones que se registraron en los años bajo estudio.

1 Comunicación personal con representante de Cuyo del Laboratorio de Tejidos Agroconciencia Mendoza.

Resultados

Variables fenológicas

La fecha de plena floración (PF) fue el 25 de agosto de 2023 y el 28 de agosto de 2024 (cuadro 1)

Cuadro 1
Fechas de estados fenológicos durante los años 2023 y 2024

Año	1eras F	IF	PF	FPF	ICP
2023	21 de agosto	23 de agosto	25 de agosto	30 de agosto	2 de setiembre
2024	23 de agosto	25 de agosto	28 de agosto	3 de setiembre	5 de setiembre

1eras F: primeras flores aisladas. IF: inicio de floración. PF: plena floración. FPF: fin de plena floración, ICP: inicio de caída de pétalos.

Variables climáticas

Temperatura máxima, humedad relativa mínima y velocidad del viento máxima

En el año 2023, los días 21, 28 y 30 de agosto se registraron temperaturas máximas de 31.1, 24.9 y 25.9 °C, respectivamente, con humedad relativa mínima de 8, 25 y 19%, respectivamente (figura 1), y velocidad de viento máxima 78.9 km/h dirección ONO, 40.2 km/h dirección ESE y 48.3 km/h dirección SE, respectivamente, coincidente con el período entre IF y FPF. El día 28 de agosto también se registraron vientos de dirección ONO con velocidades máximas de 24.1 km/h. Los días 9/09/23, 10/09/23, 11/09/23 fueron tres días continuos de viento Zonda con registros de temperaturas máximas de 30.7, 33.4 y 28.9 °C, con valores de humedad relativa mínima de 11, 4 y 7% (figura 2) y velocidades de viento máximas de 62.8 km/h ONO, 77.2 km/h ONO y 70.8 km/h NO respectivamente, correspondiente al estado fenológico de frutos recién cuajados, cuando comenzaban su desarrollo. Los días 15 y 16 de setiembre se registraron temperaturas máximas de 30.9 y 40.8 °C con humedad relativa mínima de 13 y 2% y velocidades de viento máximas de 20.9 km/h ENE y 41.8 km/h con dirección O respectivamente. Las condiciones climáticas expuestas habrían afectado el desarrollo de los frutos recién cuajados. En el año 2024, si bien en los días previos a la plena floración (25, 26 y 27 de agosto) se registraron temperaturas máximas inferiores a 30 °C y humedad relativa superior al 20% (figura 3), se presentaron vientos con velocidades máximas de 25.7 km/h O, 37 km/h ESE y 29 km/h ESE, respectivamente.

Desde el 2 hasta el 30 de setiembre se observaron seis eventos de viento Zonda (2, 19, 20, 21, 22, 30) con valores de temperatura y humedad críticos (figura 4), con velocidades máximas de viento comprendidas entre los 24.1 y 72.4 km/h. El 2 de setiembre la temperatura máxima registrada se ubicó en los 37.2 °C y 6% de humedad relativa mínima, coincidente con el período de floración cercano a FPF. El 19 de

septiembre la temperatura máxima observada fue de 31.2 °C, la humedad relativa mínima fue 4 % y velocidad máxima de viento de 49.9 km/h dirección NO. Este día se registraron durante 24 horas valores de humedad relativa ambiente menor de 10 %, exacerbando las condiciones de sequedad atmosférica. Esto podría haber provocado la migración del agua del pequeño fruto, visualizándose un ablandamiento de la capota.

Figura 1
Variación del promedio de la temperatura y humedad relativa diaria (agosto 2023)

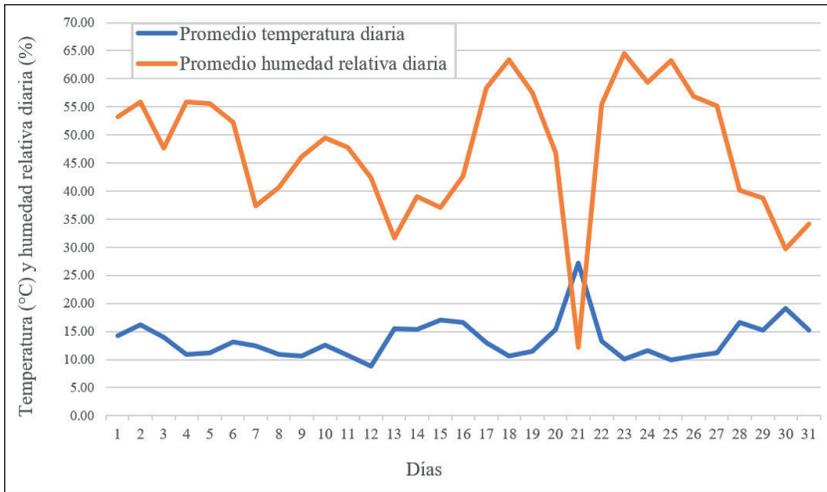


Figura 2
Variación del promedio de la temperatura y humedad relativa diaria (septiembre 2023)

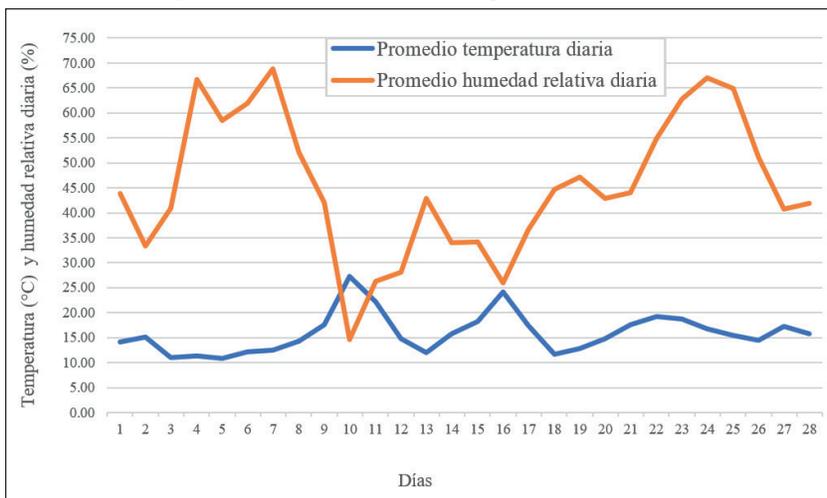


Figura 3

Variación del promedio de la temperatura y humedad relativa diaria (agosto 2024)

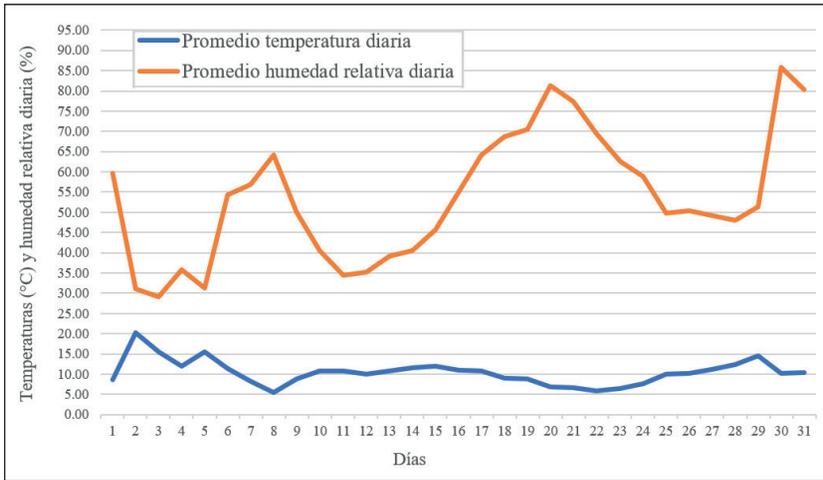
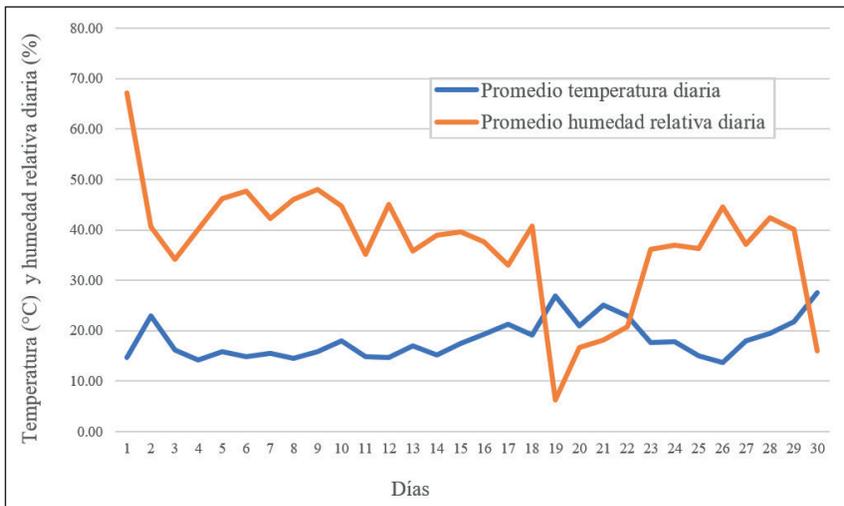


Figura 4

Variación del promedio de la temperatura y humedad relativa diaria (septiembre 2024)



Cuadro 2

Promedios totales de temperatura y humedad, años 2023 y 2024

	2023		2024	
	Agosto	Setiembre	Agosto	Setiembre
Promedio temperatura	13.57	15.88	10.45	18.28
Promedio humedad	47.44	45.42	53.86	37.13

Requerimientos térmicos otoño-invernales

La acumulación de frío registrada en el año 2023 según el modelo dinámico fue 37 PF (90.2 % de su requerimiento) y 5 126 GDH °C (92.3 % de su requerimiento). Sin embargo, en el año 2024, la acumulación de frío fue 47 PF y 4266 GDH °C de calor superando los requerimientos de frío de la variedad para la zona de estudio.

Variables productivas

Los resultados de variables productivas como densidad de floración, porcentaje de cuaje y rendimiento de fruto a cosecha por planta se presentan en el cuadro 3.

Cuadro 3

Densidad floral, cuaje de frutos y rendimiento del almendro cv. “Marinada” en los años 2023 y 2024

Año	Densidad Floral (yemas de flor/cm)	Cuaje de frutos (%)	Rendimiento (kg/planta)
2023	1.09	0.19	0.00
2024	1.51	4.35	6.83

Análisis morfológico de flores

De acuerdo con los datos climáticos el día 28 de agosto de 2023, la temperatura máxima registrada fue de 24.9 °C y 25 % de humedad relativa ambiente mínimo, con velocidad máximas de viento de 40.2 km/h dirección ESE y 24.1 km/h en dirección ONO. El 29 de agosto se realizó la observación del estado de los pistilos cuando los árboles estaban con 80 % de floración. Se evaluaron 60 flores a través de la observación con lupa binocular estereoscópica, donde casi todos los pistilos estaban normales, de color verde e hidratados; sólo el 3 % presentó estigmas más oscuros (marrones) en comparación con los demás.

El día 2 de septiembre de 2024 se registraron temperaturas extremas de 37.2 °C, humedad relativa ambiente mínima del 6 %, con vientos de velocidades máximas de 54.7 km/h en dirección NNO y vientos de velocidad máxima 72.4 km/h en dirección SSE. El día 3 de septiembre de 2024, coincidente con el estado fenológico de fin de plena floración (FPF), se realizó la observación de 120 flores con lupa binocular estereoscópica y a través de registros fotográficos se evaluó el impacto del viento Zonda. Las observaciones determinaron que el 34 % de los pistilos presentaron estigmas y estilos necróticos.

Análisis foliar

Los resultados del análisis foliar de boro del mes de enero 2023, indicaron contenidos de 45.5 ppm. y en el mes de enero 2024 se observaron valores de boro de 15 mg/kg.

Discusión

De acuerdo con Muncharaz-Pou (2017); Miarnau *et al.* (2018) y Lordan *et al.* (2021), en ningún caso la totalidad de las flores en el almendro pueden producir cosecha. La mayoría de las flores caen sin llegar a ser polinizadas o fecundadas, aún en condiciones de polinización adecuada pueden proporcionar fruto un 30 % de las flores.

Normalmente pueden ocurrir tres períodos de caída de flores y frutos: 1. Flores que caen inmediatamente antes o inmediatamente después de la floración son flores incompletas, con un desarrollo alterado, esta caída se puede asociar entre otros factores a la falta de frío invernal o a la falta de humedad de suelo. 2. Cuando los ovarios tienen el tamaño de un guisante; es decir, tres o cuatro semanas después de la floración, caen tanto flores fecundadas, en las que cesa el desarrollo embrionario, como flores no fecundadas; en esta fase caen del 30 al 40 % de las flores. 3. Caída de frutos 45-50 días después de la floración, cuando los frutos alcanzaron su tamaño definitivo o casi definitivo; esta caída se debe generalmente a una competencia entre frutos. Aunque las tres caídas siempre están presentes, se acentúan notablemente debido al estrés climático o cuando los requerimientos hídricos o nutricionales son deficientes (Muncharaz-Pou, 2017). A decir de Castro y Chaar (2024), en el departamento de Pocito, San Juan, Argentina, la variabilidad climática en momentos críticos del ciclo fenológico del almendro, pueden provocar pérdidas considerables en la producción.

En este estudio durante el año 2023, el día 21 de agosto se registraron temperaturas elevadas, humedad relativa mínima baja y alta velocidad de viento, característico de una situación de viento Zonda y coincidente con el estado fenológico de apertura de primeras flores aisladas (1eras F). Las condiciones climáticas adversas caracterizadas por temperaturas altas, baja humedad relativa y vientos intensos pueden causar deshidratación del estigma, desecación de estilos con la reducción de la receptividad estigmática del polen; luego, los días 28 y 30 de agosto, en fin de plena floración (FPF) que corresponde a 95 % de flores abiertas, si bien las temperaturas fueron inferiores a 30 °C y la humedad relativa mínima mayor al 10 %, los vientos registraron velocidades elevadas. La baja observación de daño en el análisis morfológico de las flores en el año 2023 podría corresponder a que, el 28 de agosto (día anterior al muestreo), las temperaturas máximas y la humedad relativa mínima no fueron críticas, aunque las velocidades de viento fueron altas con dirección ONO y ESE. Además, si la apertura de las flores elegidas ocurrió el día del muestreo, es posible que no se manifiesten signos visibles de daño.

El día 6 de septiembre de 2023 se observó en el cultivo de almendros una importante caída de flores. Diversas causas pueden impedir la fecundación. Hay casos de esterilidad por causas climáticas, como las comentadas anteriormente o culturales (riego deficiente). A decir de Felipe (2000), el desarrollo de los granos de polen o microsporogénesis

tiene lugar en pleno invierno, podría existir una correspondencia entre este proceso y la satisfacción de las necesidades de reposo invernal de los botones florales, ya que la división meiótica de las células madres del polen tiene lugar cuando se completan las necesidades de frío. El frío es el requisito esencial para tener flores fértiles en cantidad y calidad, capaces de convertirse en fruto en la temporada estival (Anes, 2019; Rodrigo, 2022). Además, según Felipe *et al.* (2017), en algunas variedades de almendro se observa durante la floración que una parte más o menos importante de las flores caen sin haber ocurrido heladas o altas temperaturas, y antes de que la caída pueda atribuirse a la falta de fecundación. La observación de estas flores permite comprobar si su ovario está atrofiado y consecuentemente el pistilo será de tamaño reducido.

Tal como se mencionó anteriormente en el apartado de *Requerimientos térmicos* en el año 2023 hubo falta de frío invernal, que podría estar asociado con el primer período de caída de flores (Muncharaz-Pou, 2017; Miarnau *et al.*, 2024; González *et al.*, 2024). Simultáneamente, debido a la falta de acumulación de frío, la brotación de las yemas vegetativas se adelantó a la floración, lo que aumentó la competencia por carbohidratos con las yemas florales. Hasta que las hojas desplegadas comienzan a fotosintetizar, tanto el crecimiento inicial de los pequeños frutos como de los brotes vegetativos, dependen de las reservas acumuladas durante la temporada anterior. De esta manera, las flores abiertas y los pequeños frutos estuvieron más propensos a caerse sin proseguir su desarrollo.

Después de la fecundación las células del tejido del fruto se dividen, presentando una multiplicación celular muy activa (Muncharaz-Pou, 2017). Esta primera fase de división celular de los frutos es muy exigente en energía. El aporte de carbohidratos al fruto en desarrollo resulta por lo tanto crucial. Si la planta no es capaz de satisfacer dicha necesidad, el fruto pierde su ritmo de crecimiento y se desprende de ella (Agustí, 2010). Los días 9, 10 y 11 de septiembre de 2023, cuando los frutos estaban recién cuajados y en pleno proceso de desarrollo, los valores de temperatura registrados fueron elevados, la humedad mínima relativa baja y la velocidad máxima de viento fue alta, condiciones características de viento Zonda. El día 16 de septiembre, la temperatura alcanzó 40.8 °C con valor de humedad relativa mínima del 2% y velocidad máxima de viento de 41.8 km/h con dirección O. Estas condiciones climáticas habrían afectado a los frutos en desarrollo e incluso se reconoce que temperaturas más elevadas por encima de 40 °C pueden provocar la deshidratación, necrosis, caída de hojas, daños al fruto y quemadura de la madera (Arquero, 2013).

El almendro es altamente sensible a condiciones ambientales que limiten la evapotranspiración. Tanto intensidades altas de viento, como humedad relativa alta o muy baja tienden a provocar un cierre estomático que afecta el consumo de agua (Meza, 2019). A decir de Caretta *et al.* (2004), la menor humedad relativa de la atmósfera sumada a la alta temperatura reinante, aumenta la evapotranspiración del cultivo y dicho incremento no puede ser satisfecho a tiempo por el sistema radical por lo cual, el estrés hídrico que sufre la planta afecta los procesos fisiológicos en general.

El estrés térmico e hídrico provocado por las condiciones meteorológicas registradas durante los días mencionados de 2023, pudo haber provocado la caída fisiológica de flores

y frutos. Por lo tanto, ambos factores (falta de frío durante el reposo otoño-invernal, estrés abiótico en floración, post-floración y cuaje de frutos) contribuyeron a la nula producción que se presentó en dicha temporada de crecimiento.

Es de considerar que el posible aumento de las temperaturas invernales tendrá un impacto negativo en la acumulación de frío, lo que obligará a buscar regiones más propicias para el cultivo de variedades de almendro de floración tardía.

Además, las plantas evaluadas están injertadas sobre los patrones Nemared o Nemaguard de mediano vigor. En estudios realizados por Castro y Chaar (2021) en almendro cv. "Marinada" implantada en el departamento de Pocito, San Juan, en el año 2012 sobre pie Garfinem (portainjerto híbrido de almendro x duraznero), los valores observados en el año 2019 de densidad floral fueron 1.77 yemas de flor/cm, porcentaje de cuajado del 12% y de rendimiento 19.33 kg con cáscara y capota por planta. En el año 2020 se registró 1.78 yemas de flor/cm, 11% de porcentaje de cuaje y 23.89 kg con cáscara y capota por planta.

En el año 2024, aunque las temperaturas y la humedad relativa en los días previos a la plena floración (25, 26 y 27 de agosto) se mantuvieron dentro de rangos aceptables para la floración y el cuaje, la ocurrencia de vientos fuertes, con ráfagas de hasta 37 km/h el día 26, podría haber afectado negativamente estos procesos.

Como se expresó en el punto *Variables climáticas*, el día 2 de septiembre de 2024 el monte de almendros estaba cerca de fin de plena floración con 90% de flores abiertas. Este día, la temperatura alcanzó un valor máximo de 37.2 °C, el registro de humedad relativa mínima fue de 6% y altas velocidades de viento (54.7 km/h dirección NNO y 72.4 km/h dirección SSE). En el análisis morfológico de flores que se realizó al día siguiente, se observó un 34% de estigmas y estilos necróticos. Torres y Miarnau (2024) describen que en general, la mayoría de los factores de estrés abiótico como el calor, la radiación solar o las heladas inducen la formación de especies reactivas de oxígeno (ROS) y radicales libres en el tejido vegetal. Las ROS como H₂O₂ u O₂ causan la oxidación de las membranas celulares en una reacción en cadena y finalmente conducen a la muerte celular. Burgos *et al.* (1991) también observaron una rápida degradación del estigma a altas temperaturas en damasco (*Prunus armeniaca* L.).

Los días 19, 20, 21, 22 y 30 de septiembre de 2024 registraron valores de temperatura y humedad críticos, característicos de una situación de tipo Zonda, con velocidades máximas de viento comprendidas entre los 24.1 km/h ONO y 67 km/h ONO. En este momento, los frutos estaban en fase de división celular de su desarrollo. Tal como en 2023, el estrés térmico e hídrico provocado por las condiciones meteorológicas registradas en estos días, habrían provocado la deshidratación y caída fisiológica de los frutos. Las altas temperaturas y la baja humedad relativa podrían haber provocado una migración del agua del fruto recién cuajado, lo que resultó en pequeños frutos con una cáscara blanda y vulnerable. El estrés climático comprometió la calidad y productividad del cultivo.

Con respecto a los aspectos nutricionales, el boro es un microelemento esencial, necesario para la producción y crecimiento, tanto para la evolución de yemas florales como floración, polinización (su deficiencia afecta a la germinación del polen), cuajado,

desarrollo de frutos, división celular y fotosíntesis; el boro es indispensable para producir con normalidad (Vargas, 2023). Los valores normales para boro están entre 30-65 mg/kg. Una carencia moderada de boro, aunque no haya síntomas en las hojas, puede provocar una caída excesiva de frutos (Felipe *et al.*, 2017). Los resultados del análisis foliar de enero de 2024 indicaron una concentración subóptima de boro en el tejido foliar, lo cual, en combinación con factores abióticos estresantes, podrían haber aumentado los síntomas de deficiencia y afectado negativamente los procesos fisiológicos de la planta.

Conclusiones

El cultivar de almendro “Marinada” en el departamento de Pocito, San Juan, Argentina, experimentó una significativa reducción en su carga frutal durante las temporadas 2023 y 2024. En este departamento, el cultivar “Marinada” muestra alta vulnerabilidad a las condiciones climáticas adversas.

Literatura citada

- Agustí, M. (2010). *Fruticultura*. Editorial Mundi- Prensa. Madrid, España. 507 p.
- Alonso, J. M.; Ansón, J.M.; Espiau, M.T. y Socias i Company, R. (2005). Determination of endodormancy break in almond flower buds by a correlation model using the average temperature of different day intervals and its application to the estimation of chill and heat requirements and blooming date. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 130(3): 308-318.
- Alonso, J.M.; Socias i Company, R. y Kodad, O. (2017). Late- blooming in almond. A controversial objective. *Sci. Hortic.* 224: 61-67
- Anes, C. (2019). *Avances en el manejo del almendro en la Región de Coquimbo*. VIII Seminario Almendro. Santiago de Chile. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. En Castro, J.; Sotomayor, C.; Castro, L.; Mejía, P.; Menares, V. Editores. Pp 15-31.
- Arquero, O. (2013). *Manual del Almendro*. Editorial Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural. Junta de Andalucía. España. 78 p.
- Burgos, L.; Egea, J. y Dicenta, F. (1991). Effective pollination period in apricot (*Prunus armeniaca* L.) varieties. *Ann. Appl. Biol.* (119): 533-539.
- Caretta, A.; Ortega, A. y Maldonado A. (2004). Probabilidades de daño por viento Zonda en la floración de frutales, vid y olivos. *Rev. FCA UNCuyo*. 36(2): 49-58.
- Castro, V. L. y Alday, S. (2017). *Comportamiento de la variedad de almendro Guara bajo condiciones de viento Zonda en el departamento de Pocito, provincia de San Juan*. Año 2015. Ediciones INTA. EEA San Juan INTA. 10 p.
- Castro, V. L. y Alday, S. (2018). *Análisis preliminar del comportamiento de la variedad de almendro Guara bajo condiciones de viento Zonda en el departamento de Pocito, provincia de San Juan*. XVII Reunión Argentina de Agrometeorología. Villa Merlo. Asociación Argentina de Agrometeorología En: Vinocur, M.; Rivarola, A. y Irigoyen, A. Editores. Río Cuarto-Argentina. Pp. 18-19.
- Castro, V. L. y Chaar, J. E. (2021). *Análisis de variables productivas de almendro (Prunus amygdalus Batsch) cv. “Guara” y cv. “Marinada” en San Juan*. 41º Congreso Argentino de Horticultura. En: Gonnet, M. B. y Garbi, M. Editores. La Plata, Argentina. 179 p.
- Castro, V.L. y Chaar, J.E. (2024) *Identificación de riesgos climáticos en etapas de desarrollo del cultivo del almendro (Prunus amygdalus Batsch)*. XX Reunión Argentina de Agrometeorología.

- Chilecito. Asociación Argentina de Agrometeorología. En: Irigoyen, A.; Figuerola; Robles, J. y Garbi, M. Editores. La Rioja, Argentina. Pp. 37- 38
- Chaar, J. E. y Castro, V. L. (2022). Determinación de los requerimientos térmicos otoño- invernales en almendro (*Prunus amygdalus* Batsch) cv. Guara y cv. Marinada. *Av. en Inv. Agropecuaria*. 26(1): 109-120.
- Diez- Palet, I.; Funes, I.; Savé, R.; Biel, C.; Herralde de F.; Miarnau, X.; Vargas, F.; Ávila, G.; Carbó, J.; Aranda, X. (2019). Blooming under Mediterranean climate: estimating cultivar-specific chill and heat requirements of almond and apple trees using a statistical approach. *Agron*. 9(11): 760.
- Erez, A.; Fishman, S.; Linsley-Noakes, G. C. y Allan, P. (1990). *The dynamic model for rest completion in peach buds*. II International Symposium on Computer Modelling in Fruit Research and Orchard Management, En: LaMar-Anderson J. Editor. Utah, USA. Pp. 165-174.
- Erez, A. y Fishman, S. (1998). *The dynamic model for chilling evaluation in peach buds*. IV International Peach Symposium, Bordeaux. En: Monet, R. Editor. Bordeaux, Francia. Pp. 507-510.
- Felipe, A. (2000). *El Almendro. I. El Material Vegetal*. Editorial Integrum. Lérida, España. 118 p.
- Felipe, A.; Rius, X. y Rubio-Cabetas, M. J. (2017). *El Cultivo del Almendro*. El Almendro II. Editorial. Calidad Gráfica Araconsa S.L. Zaragoza. España. 447 p.
- González, E.; Lordan, J.; Muné-Bosch, S. y Miarnau, X. (2024) *Estudios sobre el incremento de temperatura en Vairo*. XVI Jornada técnica del almendro. Les Borges Blanques. Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentarias. Cataluña, España. Pp.12
- Kodad, O. y Socias i Company, R. (2009). Effect of pollination time on fruit set in an autogamous almond cultivar. *J. Hort. Sci. Biotech*. 84(3): 350-354.
- Kodad, O.; Messaoudi, Z.; Mamouni, A.; Lahlou, M. y Socias i Company, R. (2013). Stigmatic receptivity limits fruit set in almond under warm climates. *Acta Hort*. (976): 325-331
- Kodad, O. y Socias i Company, R. (2014). Erratic fruit set in almond under warm climates. *Int. J. Hort. Sci*. 20(1-2): 59-64.
- Lordan, J.; Zazurca, L.; Rovira, M.; Tourguet, L.; Batlle, I.; DeJong, T. y Miarnau, X. (2021). Almond fruit drop patterns under Mediterranean conditions. *Agric*. 11(6): 1-18
- Meza, F. (2019). *Estrategias de innovación y perspectivas en la producción de almendras*. VIII Seminario Almendro. Santiago de Chile. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Castro, J.; Sotomayor, C.; Castro, L.; Mejía, P.; Menares, V. Editores. Santiago de Chile, Chile. Pp. 32-39.
- Miarnau, X.; Tourguet, L.; Batlle I.; Alegre S. y Rovira M. (2018) Difference in flower and fruit drop patterns in almond cultivars. *Acta Hort*. (1219): 37-44.
- Miarnau, X.; Cervelló, O.; Gelabert, J.; Girabet, R. y Tourguet, L. (2024) *Optimización del manejo agronómico de la variedad “Vairo”*. XVI Jornada técnica del almendro. Les Borges Blanques. Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentarias. Cataluña, España. Pp. 13.
- Muncharaz-Pou, M. (2017). *El Almendro. Manual Técnico*. Editorial Mundi- Prensa. Madrid, España. 438 p.
- Ortega, E.; Egea, J. y Dicenta, F. (2004). Effective Pollination Period in Almond Cultivars. *HortSci*. 39(1): 19-22.
- Poblete, A. y Minetti, J. (1989) *Los meso climas de San Juan*. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Editorial Universidad Nacional de San Juan. Argentina. 10 p.

- Podestá, L. (2007). Floración, Polinización y Cuaje. Gabriel Sozzi. *Árboles Frutales. Eco fisiología, Cultivo y Aprovechamiento*. Argentina. Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires, Argentina. Pp. 285-305.
- Richardson, E.A.; Seeley, S.D. y Walker, D.R. (1974). A model for estimating the completion of rest for 'Redhaven' and 'Elberta' peach trees. *HortSci*. 9: 331-332.
- Rodrigo, J. (2022). Efectos del cambio climático en frutales de hueso. *Agric*. 1061: 64-68.
- Socias i Company, R. y Felipe, M. A. (1988). Un factor poco considerado en la producción del almendro: la polinización. *Surcos de Aragón*. 12:27-31.
- Torres, E. y Miarnau, X. (2024). Frost damage mitigation in flowers and fruitlets of peach and almond from the application of a multi-attribute approach biostimulant. *Plants* 13(12): 1603.
- Vargas, F. (2023). Importancia del boro en la producción de almendro. *Rev. Frutic*. 95: 30-45.
- Williams, R. (1965). The effect of summer nitrogen application on the quality of apple blossom. *J. Hort. Sci.*, 40: 31-41
- Yi, W.; Law, E.; Mccoy, D. Wetzstein, H. (2006). Stigma development and receptivity in almond (*Prunus dulcis*). *Ann. Bot*. 97: 57-63.