



● DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

Temperaturas mínimas y fecha de inicio de floración en almendros cv Vairo y Marinada

Cristian Mariano Albors ^{1*}, Adriana Inés Caretta ¹, Matías Femenia ², Adrián Hierrezuelo ³

¹ Universidad Nacional de San Juan. Departamento de Agronomía Facultad de Ingeniería. Cátedra de Climatología Agrícola. Av. Libertador Gral. San Martín 1109 (o). Capital San Juan Argentina.

² Finca Don Almendro

³ Finca Olyga S.A.

* marianoalbors@gmail.com

RESUMEN

La dormancia invernal en frutales de clima templado constituye una fase fisiológica clave para la sincronización de la floración, especialmente en especies como almendro, damasco y vid. Este estudio analiza la relación entre las temperaturas mínimas invernales y la fecha de inicio de floración en los cultivares de almendro 'Vairo' y 'Marinada', cultivados en el Valle de Tulum (San Juan, Argentina), durante diez temporadas (2014–2023).

Se adaptó la metodología de correlación térmica propuesta por Alonso *et al.* (2005) y Chaar & Castro (2022), utilizando temperaturas mínimas diarias y fechas de inicio de floración como variables principales. El análisis de correlación permitió identificar períodos de sensibilidad térmica durante la endodormancia, con correlaciones negativas moderadas a fuertes, especialmente en mayo y julio. Estos resultados evidencian una asociación directa entre el descenso térmico y la anticipación de la floración.

La validación del modelo mostró coincidencias parciales con estudios previos en la región, estimando requerimientos de frío entre 634 y 598 horas para los cultivares evaluados. Se destaca la importancia de contextualizar los métodos de estimación según las condiciones locales, y se propone el uso de temperaturas mínimas como variable sensible para mejorar la precisión de los modelos fenológicos en zonas áridas con inviernos cálidos.

Dormancia invernal en frutales de clima templado

En frutales de clima templado como almendro, damasco y vid, el reposo invernal constituye una fase fisiológica clave, inducida por el descenso térmico y el acortamiento del fotoperíodo, lo que activa procesos hormonales que inhiben el crecimiento y preparan a la planta para el invierno (Pérez-López *et al.*, 2008; Julián *et al.*, 2009). Para reactivar el metabolismo en primavera, se requiere una exposición prolongada al frío (endodormancia), seguida por condiciones ambientales favorables (ecodormancia) (Cooke *et al.*, 2012). La insuficiencia de frío puede provocar brotaciones tardías, floraciones irregulares y bajo rendimiento, afectando el desarrollo foliar y la uniformidad de los frutos (Flores, 2023).

Conocer los requerimientos de frío es esencial para evaluar la adecuación sitio variedad y el riesgo climático. Para determinar el inicio de la acumulación de frío, se utilizan criterios como la caída foliar significativa, el registro desde el 1 de mayo o desde la primera helada (Dennis, 2003). Durante la endodormancia, existe una inhibición endógena de las yemas que impide su desarrollo. Durante la fase de endodormancia, las temperaturas frías tienden a adelantar la floración, mientras que las cálidas no generan efecto significativo (Alonso *et al.*, 2005). Este estado se identifica, en el análisis de correlación de Pearson, por la presencia sostenida de valores medios a altos con signo negativo durante un periodo prolongado (Chaar & Castro, 2022).

Según Gómez Rojas y Morales (s.f.), el momento de inicio del registro de horas-frío puede variar según la región. Los autores también señalan que el umbral térmico de 7 °C no es necesariamente universal, ya que la sensibilidad al frío difiere según la especie y la variedad.

La transición de endo a ecodormancia marca el fin de la acumulación de frío, favoreciendo la floración mediante la desactivación progresiva de inhibidores del crecimiento (Cunda & Gravina, 2008). Alonso *et al.* (2005) proponen determinar el fin de la endodormancia sobre la base de la correlación entre temperaturas medias, de distintos períodos de días, y la fecha de plena floración. Chaar y Castro (2022) aplican esta metodología a los cv Guara y Marinada, cultivadas en Pocito, San Juan.

Con el propósito de ampliar las alternativas disponibles para abordar estas determinaciones complejas, este trabajo tuvo como objetivo analizar la correlación entre las temperaturas mínimas durante el período invernal y la fecha de inicio de la floración de los cultivares de almendro Vairo y Marinada, así como estimar la oferta de frío mediante un método aplicable a registros de temperatura con frecuencia diaria. El enfoque se basó en los aportes de Alonso *et al.* (2005) y Chaar & Castro (2022).

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio Experimental y Material Vegetal

El estudio se desarrolló en una plantación comercial de almendros localizada en el Valle de Tulum, Departamento de **Pocito**, Provincia de **San Juan, Argentina**, específicamente en la **finca Don Almendro** (latitud: 31° 37' S; longitud: 68° 36' O).

Se evaluaron dos cultivares de *Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb cvs **Vairo** y **Marinada**, con conducción en **vaso tradicional**, con sistema de riego por **goteo**. El cv. **Vairo** fue establecido en el año **2012** bajo un marco de plantación de **6 x 4 m**, al igual que el cv. **Marinada**.

Determinación del Inicio de Floración

La fecha de inicio de floración se estableció siguiendo los criterios propuestos por Valero Urbina (2010) y Rallo & Camacho (1977), definiendo como “inicio” el momento en que entre el 5 % y 10 % de los botones florales de todo el cuadro se encuentran abiertos. Las evaluaciones fenológicas se realizaron sobre una muestra de plantas (12 a 18) testigos distribuidas al azar en toda la parcela, con un intervalo de observación de cada 2 a 3 días. Las observaciones de floración se realizaron sobre yemas florales ubicadas en ramas de porte medio, bien expuestas a la radiación solar y distribuidas en la zona media de la copa. Los registros fenológicos para el cv. Vairo abarcan los años 2014 a 2023, al igual que para el cv. Marinada.

Registro de Temperatura del Aire

Las temperaturas horarias del aire fueron obtenidas de la estación meteorológica automática ubicada en la Estación Experimental Agropecuaria San Juan del INTA, situada en las coordenadas 31° 37' S; 68° 32' O, a una altitud de 618 m.s.n.m.

Criterios para la determinación de las fases de endodormancia y ecodormancia

Se propone adaptar la metodología aplicada por Chaar y Castro (2022), quienes calcularon los requerimientos térmicos de los cultivares Guara y Marinada utilizando temperaturas medias diarias. En nuestro caso, se consideran las temperaturas mínimas como variable principal. Esta modificación busca mejorar la sensibilidad del modelo fenológico, especialmente en regiones con inviernos más cálidos o alta variabilidad térmica. Asimismo, se plantea utilizar la fecha de inicio de floración en lugar de la de plena floración, ya que permite capturar con mayor exactitud el momento fisiológico en que el almendro rompe la dormancia y reactiva su actividad reproductiva.

Se construyeron dos matrices, una con temperaturas mínimas entre el 1 de abril y el 31 de julio (2014-2023), y otra con las fechas de inicio de floración correspondientes a esos mismos años. Se calculó diariamente el coeficiente de correlación de Pearson (*r*) para detectar el momento en que las yemas comienzan a responder térmicamente. El objetivo fue cuantificar el grado de asociación lineal entre las temperaturas mínimas de cada día y la fecha de inicio de floración. Este cálculo, realizado en dicho período, buscó identificar el momento en que las bajas temperaturas comienzan a influir fisiológicamente en las yemas florales, marcando el inicio de la dormancia.

El inicio de la endodormancia se determinó mediante la identificación de secuencias superiores a tres días consecutivos con coeficientes de correlación negativos, de magnitud moderada a alta, entre las temperaturas mínimas diarias y la fecha de inicio de floración. Este patrón indica la influencia fisiológica del frío sobre las yemas florales. La transición a ecodormancia se estableció cuando, tras dicha secuencia, se registró un valor positivo de *r*, reflejando que las temperaturas cálidas comienzan a estimular el desarrollo activo de las yemas, una vez satisfechos los requerimientos de frío (Alonso et al., 2005; Chaar & Castro, 2022).

Este análisis pretende delimitar con mayor precisión el período de sensibilidad térmica de cada cultivar y ajustar los modelos fenológicos a las condiciones locales.

Cálculo de horas frío diarias mediante el método de Crossa-Raynaud

Para estimar la cantidad de horas frío totales (0 °C a 7 °C) se hizo mediante el método indirecto de estimación diaria propuesto por Crossa-Raynaud (1956), descripto por García et al. (2011), que permite inferir horas de frío a partir de temperaturas mínimas y máximas sin necesidad de registros horarios continuos. Este enfoque simplificado es útil en situaciones donde no se dispone de registros horarios de temperatura, permitiendo una estimación de la acumulación térmica invernal en frutales caducifolios. HF = ((7 - Tmin)/(Tmax - Tmin)) x 24

Donde: HF: número estimado de horas con temperatura ≤ 7 °C; Tmin: temperatura mínima diaria (°C); Tmax: temperatura máxima diaria (°C); 7 °C: umbral térmico utilizado para definir el intervalo de acumulación de frío efectivo.

Interpretación del coeficiente de correlación térmica en la dinámica de floración

En este contexto, un valor negativo del coeficiente de correlación indica que, a menores temperaturas mínimas, la floración tiende a adelantarse. Por el contrario, valores más altos sugieren una floración más tardía en inviernos menos fríos (Alonso et al., 2005).

Entonces:

- Correlaciones negativas fuerte ($r \leq -0.50$): temperaturas mínimas más bajas se asocian con floración más temprana, indicando fuerte sensibilidad térmica.
- Correlaciones negativas moderadas ($-0.30 \leq r < -0.50$): existe influencia térmica, aunque menos marcada.
- Valores próximos a cero ($-0.30 < r < +0.30$): indican débil o nula asociación lineal entre temperatura mínima y fecha de floración.
- La clasificación en rangos de distintas magnitudes fue extraída de Hernández Lalinde, Hernández y Hernández (2018).

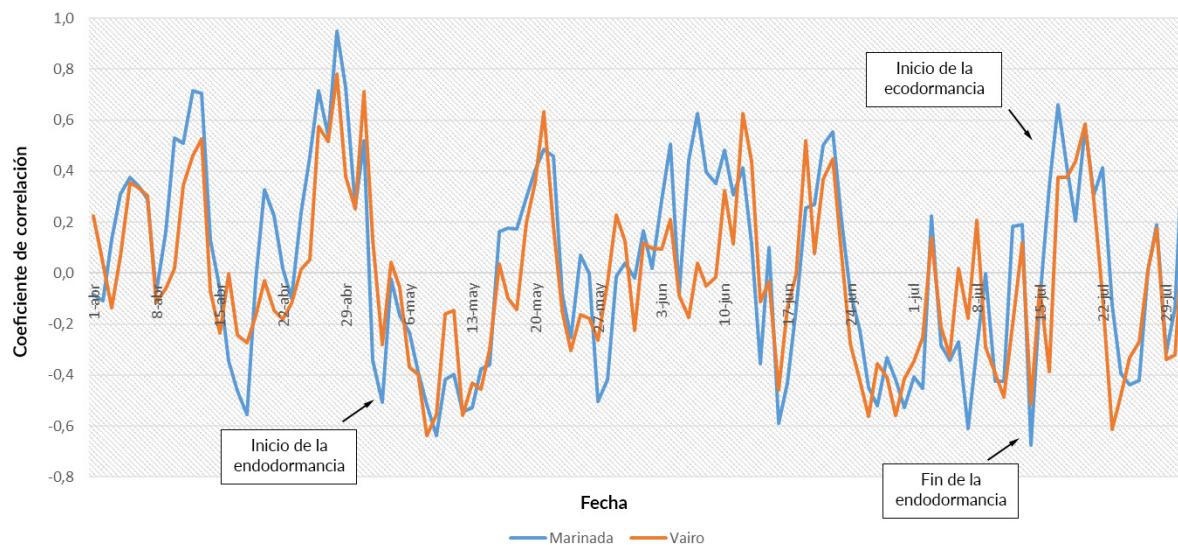


Figura 1. Coeficientes de correlación entre fecha de inicio de floración para las variedades de almendro 'Vairo' y 'Marinada' y temperaturas mínimas del intervalo 1 de abril al 31 de julio.

Análisis temporal de correlaciones entre temperatura mínima y la fecha de inicio de floración

En el grafica 1 se identificaron períodos de correlaciones negativas fuertes y moderadas ($r \leq -0.50$ ($-0.30 \leq r < -0.50$) y entre la temperatura mínima del aire y la fecha de inicio de floración, distribuidos mensualmente de la siguiente manera:

Tabla 1. Cantidad de días por mes con coeficientes de correlación moderadas y fuertes.

Mes	Días con r fuertes	Días con r moderados	Total
Abril	1	2	3
Mayo	6	7	13
Junio	3	5	8
Julio	2	9	11

Estos resultados (tabla 1) destacan a mayo como el mes con mayor incidencia de correlaciones fuertes, lo que sugiere una sensibilidad del inicio de floración a las temperaturas mínimas de ese periodo.

Correlaciones sostenidas y comportamiento térmico

Se identificaron períodos con correlaciones negativas o positivas sostenidas (≥ 3 días consecutivos). Para Marinada y Vairo, las negativas comienzan el 9 y 8 de mayo respectivamente; las positivas, el 14 y 16 de julio. Mayo y junio concentran correlaciones negativas; las positivas se agrupan a fines de julio, (figura 1).

En la figura 1 se identifican dos períodos definidos con coeficientes de correlación negativos, dentro del rango de magnitudes moderadas a altas. Estos intervalos fueron analizados como momentos de sensibilidad térmica, en función de los criterios establecidos para detectar la influencia fisiológica de las temperaturas

mínimas sobre las yemas florales. Se compararon ambos períodos en relación con la intensidad y persistencia de las correlaciones negativas, a fin de caracterizar su impacto en la dinámica de la dormancia.

- 8 al 28 de mayo (para Vairo y parcialmente para Marinada): promedio de 6.4 °C, con descenso térmico y alta fluctuación diaria.
- 24 de junio al 14 de julio: promedio de 1.2 °C, descenso abrupto y frío extremo, con menor variabilidad (tabla 2).
- Este último período fue más estable y severo en términos de frío, en contraste con la mayor fluctuación térmica de mayo.

Similitudes de los períodos

- Tendencia general: ambos períodos muestran una disminución progresiva de la temperatura mínima dada la época del año.
- Presencia de correlaciones negativas: en ambos períodos predominan los coeficientes de correlación negativos, reflejando la importancia de este período en la acumulación de frío.
- Persistencia en el rango: se identifican períodos prolongados de días de correlaciones negativas moderadas y fuertes en ambos intervalos.
- Variabilidad de los coeficientes de correlación: los valores presentan fluctuaciones con patrones de dispersión similares, reflejando una dinámica térmica comparable.

Tabla 2. Temperatura mínima promedio y desviación estándar correspondientes a los períodos evaluados.

Parámetro/período	8/5 – 28/5	24/6 – 14/7	Observaciones
Temperatura mínima promedio	6.4 °C	1.2 °C	Julio presenta un enfriamiento más drástico.
Desviación estándar térmica	2.01 °C	0.85 °C	Menor dispersión en julio, lo que sugiere mayor estabilidad térmica.
Duración de correlaciones negativas	Más breve	Más prolongada y más intensas	Lo breve de mayo contrasta con la severidad del frío en julio

Análisis del período de acumulación de horas frío y fases de dormancia

En el cultivar Vairo, la acumulación de horas frío se extiende, en promedio, desde el 8 de mayo hasta el 16 de julio, abarcando un período de 70 días que corresponde a una posible fase de endodormancia (Tabla 3). La transición a ecodormancia se registra a partir del 17 de julio. En el caso de Marinada, este período se inicia el 9 de mayo y concluye el 14 de julio (66 días), aunque se reconoce un intervalo extendido de 67 días con acumulación efectiva de frío, estableciéndose también el inicio de la ecodormancia el 17 de julio (tabla 3).

Tabla 3. Fecha de inicio y fin del período de sensibilidad a temperaturas mínimas, y sus respectivas horas frío.

	Acumulación de frío			
	Inicio	Fin	Días	Horas frío
Vairo	8-may	16-jul	70	634*
Marinada	9-may	14-jul	67	598*

* Valor promedio de diez años de registros meteorológico, correspondiente al intervalo definido entre el inicio y el fin del período de acumulación de horas frío establecido.

La relación entre temperaturas mínimas y fecha de floración varía a lo largo del período evaluado. Las correlaciones negativas predominan en mayo y julio, indicando sensibilidad térmica durante la endodormancia, cuando el frío adelanta la floración (Alonso *et al.*, 2005). En cambio, las correlaciones positivas se concentran en abril y fines de julio. Mayo presenta mayor cantidad de días con correlaciones negativas fuertes, mientras que julio se caracteriza por temperaturas mínimas extremas y correlaciones negativas moderadas.

Validación del modelo

El modelo fue evaluado durante diez temporadas en los cultivares Marinada y Vairo, registrándose los valores promedio de las fechas de inicio y fin del período sensible, y las horas frío acumuladas. Para validar la metodología se comparó con resultados de trabajos realizados en la zona.

Se observó una concordancia parcial entre los requerimientos de frío estimados en este estudio y los reportados por Ibáñez *et al.* (2023) para las mismas variedades en la misma localidad. Estos autores indicaron que Marinada y Vairo acumularon entre 685 y 857 horas frío, respectivamente, durante el período comprendido entre mayo y julio, de los años 2019 y 2020.

Asimismo, Chaar y Castro (2022) identificaron la transición entre endodormancia y ecodormancia para Marinada ubicándolo el 27 de julio, diez días después del registro obtenido en el presente estudio, con una acumulación de 617 horas frío. Cabe destacar que ambos trabajos presentan coincidencias parciales con los resultados aquí obtenidos, aunque se basan en series temporales más acotadas, ocho años en el caso de Chaar y Castro (2022) y cinco años en el de Ibáñez *et al.* (2023).

Finalmente, se reconoce que los métodos indirectos para estimar horas frío pueden generar variaciones, por lo que su interpretación debe contextualizarse según las condiciones fenológicas y climáticas locales.

CONCLUSIÓN

El estudio permitió identificar períodos de sensibilidad térmica que inciden en la fecha de inicio de floración de los cultivares evaluados. Las correlaciones negativas, de magnitud moderada a fuerte y especialmente persistentes en mayo y julio, evidencian una asociación directa entre el descenso de temperaturas mínimas y la acumulación de horas frío durante la fase de endodormancia. Fines de junio y la primera quincena de julio concentran la mayor frecuencia de correlaciones significativas, lo que refuerza su rol determinante en el proceso fisiológico.

FUENTES CONSULTADAS

1. Alonso, J. M., Ansón, J. M., spiau, M. T. & 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. Amer. Soc. Hort. SCI.* 130(3):308–318.
2. Chaar, J. E., & Castro, V. L. (2022). *Determinación de los requerimientos térmicos otoño-invernales en almendro (*Prunus amygdalus Batsch*) cv. Guara y cv. Marinada*. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 26(1), 109–120. <https://doi.org/10.53897/RevAIA.22.26.08>
3. Cooke, J. E. K., Eriksson, M. E., & Junntila, O. (2012). *The dynamic nature of bud dormancy in trees*. *Tree Physiology*, 32(7), 656–667. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2012.02552.x>
4. Crossa-Raynaud, P. (1956). *Effects des hivers doux sur le comportement des arbres fruitiers à feuilles caduques*. Annales du Service de Botanique et Agronomie, 29(1), 1–22.
5. Cunda, N., & Gravina, A. (2008). *Dormición en frutales de hoja caduca*. Universidad de la República, Facultad de Agronomía, Departamento de Producción Vegetal. Recuperado de <https://www.exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia/vegetal/Dormicionfrutalesdehojacaduca.pdf>
6. Dennis, F. G. (2003). *Problems in standardizing methods for evaluating the chilling requirements for the breaking of dormancy in buds of woody plants*. *HortScience*, 38(3), 347–350.
7. Flores, P. C. (2023). *Requerimiento de frío en frutales: efectos negativos sobre la producción de fruta*. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario. UNR – Agromensajes
8. 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. https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1666-77192011000100007
9. Gómez Rojas, J. C., & Morales M., L. M. (s.f.). *Algunas consideraciones sobre el concepto de horas-frío y sus métodos de cálculo. Alternativa en su estudio*. Colegio de Geografía, UNAM.
10. Hernández Lalinde, J., Hernández, J., & Hernández, M. (2018). *Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones*. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, 37(5), 647–654.
11. Ibáñez, A. A., Carrizo, J. E., Mundaca, S. A., Castro, A. J., Álvarez, R., & Flores, P. (2023). *Fenología y características agronómicas de almendros (*Prunus dulcis*) de floración tardía en una zona árida de Argentina*. *Horticultura Argentina*, 42(107), 6–13. <http://id.caicyt.gov.ar/ark:/s18519342/xom71rg8a>
12. Julián, C., Pérez-López, D., & García, J. (2009). *Consideraciones sobre el receso en frutales*. Laboratorio de Ecofisiología Frutal, Universidad de Talca. Pomáceas UTalca
13. Pérez-López, D., Julián, C., & García, J. (2008). *Importancia del frío invernal en la fruticultura del Alto Valle de Río Negro y Neuquén*. CPIA Patagonia
14. Valero Urbina, V. (2010). *El proceso de floración en frutales*. Monografías de Fruticultura, N.º 6. Universidad de Lleida.
15. Rallo, L., & Camacho, F. (1977). *Bases fisiológicas de la producción frutal*. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (INIA), España.