

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/385975689>

Zonificación agroclimática del pistachero variedad Kerman para la Argentina

Book · November 2024

CITATIONS

0

READS

32

6 authors, including:



Franco E. Calvo

National Scientific and Technical Research Council

10 PUBLICATIONS 20 CITATIONS

SEE PROFILE



Gonzalo Sánchez Cañete

National Scientific and Technical Research Council

1 PUBLICATION 0 CITATIONS

SEE PROFILE



Eduardo Trentacoste

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

56 PUBLICATIONS 542 CITATIONS

SEE PROFILE

Zonificación agroclimática del pistachero variedad Kerman para la Argentina

Franco Calvo; Gonzalo Sánchez; Javier Chaar; Eduardo Trentacoste; Luján Masseroni; Paolo Sartor



Zonificación agroclimática del pistachero variedad Kerman para la Argentina

Franco E. Calvo¹; Gonzalo E. Sánchez²; Javier Chaar³; Eduardo R. Trentacoste⁴; Luján Masseroni⁵; Paolo Sartor⁵

1 CONICET, IASO-UNdeC, La Rioja, Argentina

2 CONICET, UNSJ, INTA EEA San Juan, Argentina

3 INTA AER Guaymallén, Mendoza, Argentina

4 INTA EEA La Consulta, Mendoza, Argentina

5 INTA AER 25 Mayo, La Pampa, Argentina



**Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria**
Argentina

Centro Regional La Pampa-San Luis
Estación Experimental Agropecuaria
Anguil "Ing. Agr. Guillermo Covas"

**Este documento queda sujeto al cumplimiento
de la Ley Nro. 26.899**

**Colaboradora y Curadora de Datos del
Repositorio Institucional - INTA Digital**
Bibl. Flavia Epuñan

Diseño Gráfico
Dis. Gráf. Francisco Etchart

Noviembre de 2024



EDICIONES INTA

Centro Regional La Pampa-San Luis
EEA INTA Anguil “Ing. Agr. Guillermo Covas”
RN N°5 Km 580, CP 6326, Anguil, La Pampa, Argentina

CONTENIDOS

1. El cultivo del pistachero	5
2. Situación del cultivo del pistachero en la Argentina	7
3. Requerimientos ambientales del pistachero	8
3.1. Requerimientos térmicos del pistachero para la ocurrencia de la floración	8
3.2. Requerimientos térmicos para la maduración y cosecha de los frutos	10
3.3. Susceptibilidad del pistachero a bajas temperaturas	10
3.3.1. Tolerancia al frío según el cultivar y el portainjerto. Mecanismos de tolerancia	11
3.3.2. Métodos de mitigación del daño por congelación	11
3.4. Características de la polinización en el cultivo del pistachero	12
3.5. Factores ambientales que afectan la polinización y el cuaje	13
3.6. Principales limitantes climáticas durante el período de cosecha	14
4. Determinación de los requerimientos del pistachero en Argentina	15
5. Áreas aptas. Resultados	16
6. Conclusiones	23
Referencias bibliográficas	24

1. El cultivo del pistachero

El alfónsigo o pistachero (*Pistacia vera* L.) es una especie arbórea de la familia de las Anacardiáceas, cuyos frutos presentan semillas comestibles. El género *Pistacia* incluye además de *Pistacia vera*, otras especies, entre las más conocidas se puede mencionar a *Pistacia atlantica*, *Pistacia integerrima* y *Pistacia terebinthus* (Ferguson y col., 2005), generalmente utilizadas como portainjertos. El pistachero es un árbol de hojas caducas de crecimiento lento, requiriendo un período de varios años para entrar en producción. La floración se inicia 4 o 5 años después de la plantación, pero a los 7 u 8 años comienzan las producciones económicamente importantes. Es una especie muy longeva, evidenciado en el hecho de que es posible encontrar plantas de más de 150 años (Ferguson y col., 2005).

El pistachero tiene la particularidad de ser una especie dioica, es decir, las flores masculinas y femeninas se encuentran en árboles diferentes, existiendo para una misma especie plantas masculinas y femeninas. La inducción floral tiene lugar en el año anterior a la floración en yemas repro-

ductivas ubicadas en los brotes de un año de edad (Khezri y col., 2020). La floración es temprana, por lo que el desarrollo de las yemas florales tiene lugar en la primavera y ocurre antes que el desarrollo de las yemas vegetativas, aunque en ambientes o años atípicos el desarrollo foliar puede ocurrir previo a la floración (Zwieniecki, 2018).

El fruto del pistachero es una drupa monosperma (con una semilla) rica en aceite (aproximadamente 55%) (Fig. 1). El fruto consta de una semilla dentro de una cáscara bivalva delgada y dura (endocarpo), rodeada de una cubierta carnosa y resinosa (mesocarpo o pelón) de un peso que oscila entre 1,4 y 1,8 gramos. La semilla es la parte comestible, y está compuesta por dos cotiledones voluminosos. Normalmente en la cosecha existe un importante número de frutos sin semillas (frutos vanos), donde la pulpa y cáscara crecen hasta su tamaño completo, pero sin el crecimiento de la semilla. Esto puede ocurrir a causa de dos fenómenos: i) partenocarpia, cuando las flores no son adecuadamente fecundadas por el polen; o ii) por aborto del embrión, donde la flor es fecundada pero el embrión muere durante su desarrollo.

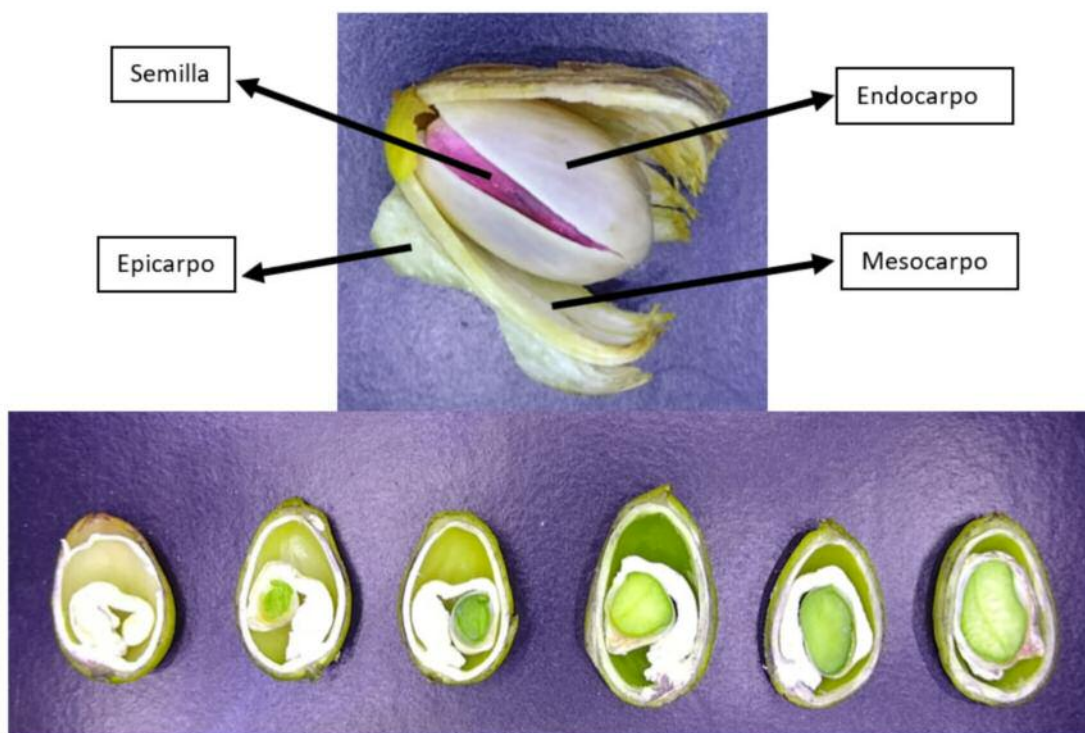


Figura 1. Drupa monosperma del pistachero. Detalle de los estados de desarrollo del fruto y la semilla de la variedad Kerman.

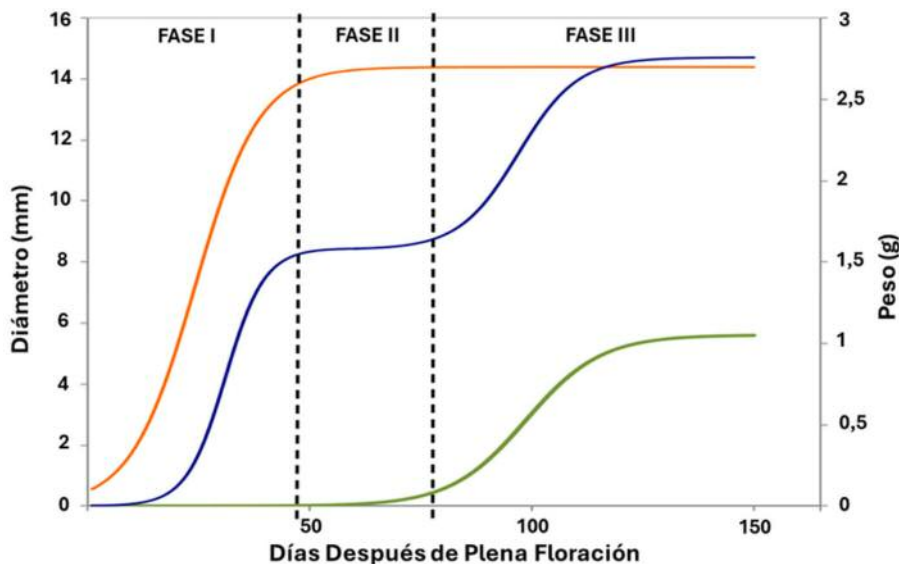


Figura 2. Fases de crecimiento del fruto del pistachero cv. Kerman. Se observa el crecimiento en diámetro del fruto (anaranjado), el peso fresco de la fruta (azul) y el peso fresco de la semilla (verde) (Adaptado de Memmi y col., 2014).

En el desarrollo de los frutos del pistachero pueden describirse tres períodos diferentes (Fig. 2):

- **Fase I:** inicia con el cuaje de la flor y finaliza cuando el fruto alcanza el máximo tamaño.
- **Fase II:** se produce el endurecimiento del endocarpo o cáscara.
- **Fase III:** ocurre el crecimiento de la semilla, también conocido como período de llenado del fruto.

Durante la Fase III se produce la dehiscencia del endocarpo (proceso por el cual se genera la apertura de la cáscara). La dehiscencia es causada por la presión que imprime la semilla sobre la cáscara, cuando esta última alcanza su máximo tamaño (Polito, 1999). Por lo tanto, los factores ambientales o de manejo que pudiesen afectar el crecimiento de la semilla positiva o negativamen-

te, también podrían alterar el porcentaje de dehiscencia de los frutos (Spann y col., 2009; Memmi y col., 2016). La influencia del crecimiento de la semilla sobre la apertura de la cáscara puede notarse también debido a que una proporción importante de los frutos con la cáscara totalmente cerrada corresponde a frutos sin semilla. Por último, ocasionalmente la dehiscencia puede estar relacionada a inconvenientes sanitarios, debido a que los frutos con las cáscaras abiertas pueden ser más sensibles al ataque de patógenos.

En Argentina la cosecha se realiza entre los meses de febrero y abril, y actualmente puede realizarse de forma mecánica utilizando vibradores de tronco y sus variantes (Fig. 3). Entre los atributos comerciales positivos del pistacho, se encuentra el color del endocarpo el cual debe ser color blanco mármol. La calidad comercial de los pistachos está influenciada por la época de cose-



Figura 3. Cosechadoras autopropulsadas durante la recolección de pistachos. A) Cosechadora tipo Side By Side. B) Cosechadora tipo vibrador de tronco

cha, ya que una vez que el pelón o capote madura toma colores rojizos que pueden ser traspasados al endocarpo, el cual toma coloraciones rojas perdiendo calidad cosmética. La tinción del endocarpo aumenta conforme la nuez permanece más tiempo en contacto con el pelón maduro en el árbol (Panahi y col., 2011). En el caso de la variedad Kerman, la capota se torna color rosa a rosa pálido durante la madurez.

El cultivo del pistachero presenta una alta alternancia productiva o vecería, es decir, un año de muy alta producción es seguido de otro año de muy baja producción. Este fenómeno es normal en otros frutales, tales como el olivo y cítricos donde no se realizan prácticas de manejo tendientes a la regulación de la carga frutal como el raleo de los frutos. Las causas de la vecería son múltiples, incluyendo factores genéticos, fisiológicos, ambientales y de manejo. Una explicación general de la vecería es que en las temporadas con carga excesiva de frutos se produce un muy bajo crecimiento de brotes y formación de yemas florales, encargadas de generar inflorescencias al siguiente año (Khezri y col., 2020). El inicio del ciclo de vecería puede estar ligado a la ocurrencia de fenómenos meteorológicos como heladas tardías o alta frecuencia de vientos durante la floración. Estos fenómenos pueden reducir fuertemente la carga frutal de ese año, produciendo un importante crecimiento vegetativo, formación de yemas y consecuentemente una alta producción al siguiente año.

2. Situación del cultivo del Pistachero en la Argentina

La producción de pistachos en Argentina se presenta como un cultivo relativamente nuevo en la historia agraria del país (Andrieu y col., 2013). Las primeras plantaciones tuvieron lugar en San Juan en 1980 cuando se introdujeron las primeras semillas provenientes de California, Estados Unidos (Fabani y col., 2013), pero no fue hasta mediados de la década de 1990 con la reglamentación de la Ley de Diferimientos Impositivos que tuvo lugar el desarrollo comercial del cultivo en esa región (Andrieu y col., 2013). Según el último Censo Nacional Agropecuario (INDEC, 2021), San Juan se constituye como la principal provincia productora a nivel nacional, concentrando aproximadamente el 87% de la superficie cultivada. Así mismo, los últimos registros indican la existencia de aproximadamente 6.500 hectáreas cultivadas. De éstas, el 72% se encuentra en el Departamento de 25 de Mayo, el 11% en Sarmiento, y el resto distribuido entre los Departamentos de Rawson, 9 de Julio, Pocito, San Martín y Angaco, mayoritariamente. En segundo lugar, se encuentra la provincia de Mendoza, con alrededor de 770 hectáreas cultivadas, las cuales se concentran casi en su totalidad en el oasis Norte. En la provincia de La Rioja, actualmente hay implantadas aproximadamente 100 ha en el Departamento de San Blas de Los Sauces. La provincia de La Pampa, comenzó

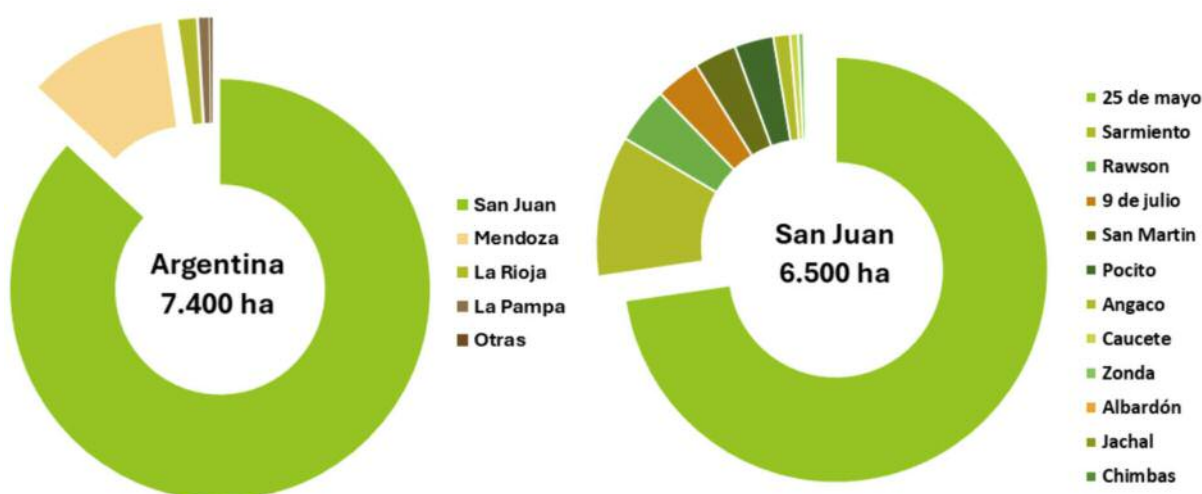


Figura 4. Distribución porcentual de la superficie cultivada con pistacheros en Argentina (izquierda) y San Juan (derecha). Otras: San Luis, Catamarca, Río Negro y Neuquén. (Fuente: elaboración propia).

con la actividad pistachera en la localidad de Casa de Piedra, donde en la actualidad existen 55 ha implantadas y 200 ha en procesos de implantación entre 2024 y 2025 (Fig. 4). En Argentina, el total de la superficie cultivada responde al modelo productivo californiano, siendo Kerman la variedad hembra más utilizada y su polinizador Peters (Fabani y col., 2013).

En el último lustro, el cultivo del pistachero ha experimentado un crecimiento exponencial, aumentando más de un 500% las hectáreas cultivadas, sólo en la zona núcleo (Sur de San Juan-Norte de Mendoza). A la fecha, su expansión ha franqueado límites interprovinciales, registrándose experiencias o intenciones de iniciar nuevos cultivos en las provincias de La Rioja, La Pampa, San Luis, Catamarca, Neuquén y Río Negro. Este creciente interés ha motivado la implantación en regiones donde la aptitud ambiental para el cultivo de la especie es desconocida.

3. Requerimientos ambientales del Pistachero

El pistachero es considerado un frutal muy rústico, adaptado a ambientes áridos con inviernos fríos y períodos estivales cálidos. El cultivo se limita a ambientes continentales, debido a la sensibilidad del cultivo a la proliferación de enfermedades fúngicas que presentan mayor incidencia en primaveras y veranos húmedos, habituales de los climas costeros. Según datos de 2020 (FAOSTAT,

2024), se produjeron en todo el mundo 1,13 millones de toneladas de pistachos. Los mayores productores fueron EE.UU., con un 42%, y Turquía, con un 26%. Estos dos países fueron seguidos de Irán, China y Siria, con un porcentaje de 17, 7 y 6%, respectivamente. Mientras que estos cinco países obtuvieron aproximadamente el 98,64% de la producción mundial de pistacho, otros países como Madagascar, Túnez, Afganistán, Australia, Kirguistán, Uzbekistán, Jordania, Pakistán, México, Marruecos y Azerbaiyán producen el 1,36% restante (FAOSTAT, 2024).

3.1. Requerimientos térmicos del pistachero para la ocurrencia de la floración

Los árboles perennes como el pistachero que evolucionaron en regiones con inviernos fríos entran en latencia durante el invierno para evitar que los órganos reinicien su desarrollo en condiciones de bajas temperaturas ocurridas durante el invierno (Rohde y Bhalerao, 2007). Para salir del reposo invernal, el pistachero requiere primero acumular frío y luego que las condiciones ambientales sean las aptas para que ocurra el crecimiento, desarrollos de hojas, florezca y produzca los frutos.

Un gran número de estudios ha observado que cada especie frutal, y dentro de cada especie los distintos cultivares, presentan requerimientos ambientales específicos necesarios para que reinicien la estación de crecimiento. En resumen, el período de latencia, dormición o reposo del pistachero puede dividirse en dos etapas: 1) La primera etapa se denomina "endodormancia" que se

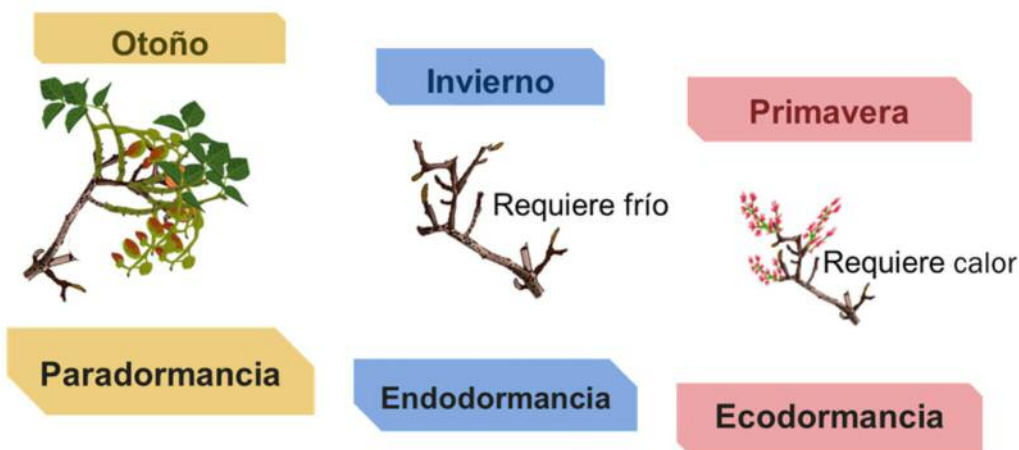


Figura 5. Transiciones entre las etapas de dormancia en las yemas laterales en especies arbóreas caducifolias (Adaptado de Kitamura, 2017).

inicia después de la caída de las hojas, se caracteriza porque las yemas permanecen latentes, aún cuando ocurra suficiente acumulación de calor. La endodormancia sólo puede ser superada por la exposición de las plantas a suficiente cantidad de frío; y 2) La otra etapa conocida como “ecodormancia” o forzada se inicia una vez cumplida las necesidades de frío, las yemas adquieren gradualmente la capacidad de reasumir el crecimiento a medida que reciben cierta cantidad de calor (Fig. 5) (Lang y col., 1987).

La falta de suficiente frío durante la endodormancia afecta negativamente la producción del cultivo de pistachero, produciendo cambios en la fecha de floración, brotación irregular o retrasada, abscisión de yemas florales dando baja intensidad floral, morfología reproductiva alterada, escaso cuajado y cambios en el crecimiento vegetativo (Atkinson y col., 2013). En especies dioicas como el pistachero, la falta de suficiente frío también puede producir que los árboles hembras y machos pierdan su sincronía de floración. Trabajos realizados por Benmoussa y col. (2017) y Elloumi y col. (2013) en Túnez, y Pope (2015) en California (USA) demostraron que la acumulación de frío está fuertemente correlacionada con las fechas de floración y con la intensidad de floración. La baja acumulación de frío, por debajo de los requerimientos estimados de cada variedad, produjo un retraso en las fechas de floración, y disminuyó la intensidad de floración, inclusive en inviernos muy cálidos la floración no ocurrió. Estos autores concluyeron que el cultivo del pistachero responde a una baja acumulación de frío con una producción débil o nula.

Grupos de investigación de distintas regiones del mundo han desarrollado modelos matemáticos para interpretar de forma sencilla las necesidades frío de las plantas. Entre los modelos más conocidos se encuentran los modelos de Horas de Frío (HF) y Unidades de Frío (UF). El modelo de Horas de Frío considera la acumulación de HF entre 0 y 7,2 °C (Weinberger, 1950). El modelo de Unidades de Frío consiste en transformar los valores de temperatura horaria en unidades, donde

1 UF representa a las temperaturas en el rango 2,5 °C y 9,1 °C, por debajo o por encima acumula menos de 1 UF o inclusive puede restar (Richardson y col., 1974). Si bien el modelo de Unidades de Frío es ampliamente utilizado en una

gran cantidad de frutales y regiones del mundo, no interpreta adecuadamente el requerimiento de los cultivos cuando son implantados con climas áridos y continentales como son habitualmente encontrados en la región Oeste de Argentina. Fishman y col. (1987) elaboraron un modelo experimental, con el objeto de explicar el proceso de cumplimiento de los requerimientos de frío y que pueda adaptarse a diferentes climas, incluidos los continentales, resultando en el Modelo Dinámico de acumulación de Porciones de Frío, el cual asume que el nivel de terminación de la dormancia depende del nivel de un cierto factor de ruptura de la dormancia, el cual se acumula en las yemas mediante un proceso de 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 (PF) (Erez y col., 1989). Finalizada la etapa invernal o endormancia, las yemas reproductivas entran en la etapa de ecodormancia, durante la cual la exposición de los árboles a temperaturas cálidas desencadena la floración. Estudios recientes han demostrado que las temperaturas cálidas primaverales promueven la movilización y disponibilidad de carbohidratos, fuente de energía para el crecimiento de las yemas (Sperling y col., 2019). Las temperaturas cálidas también aceleran la tasa de elongación celular y las actividades metabólicas. Cada variedad de pistachero tiene su requerimiento de calor, y satisfacer adecuadamente la ecodormancia tiene un rol clave para lograr una floración uniforme y simultánea, y que la floración ocurra en un período adecuado para evitar afectar negativamente el momento de ocurrencia de las fases posteriores de cuaje y desarrollo de los frutos.

Las fases de endodormancia y ecodormancia pueden estar solapadas, y así la ecodormancia puede comenzar inmediatamente luego del fin de la endodormancia. Sin embargo, en general existe un intervalo entre ambas etapas, donde el intervalo de días es más corto en ambientes donde la acumulación de frío ocurre en un período más largo (Díez-Palet y col., 2019).

Para estimar las necesidades de calor durante el periodo de ecodormancia o forzado existen varios modelos, similar a lo explicado para la esti-

Tabla 1. Umbrales de tolerancia a bajas temperaturas en pistachero, según el estado fenológico.

Estado fenológico	Umbral de tolerancia a bajas temperaturas	
	Pakkish y col., 2011.	Hokmabadi, 2010 Sáez-Sánchez, 2017
Yema hinchada	-15 °C	
Punta verde	-12 °C	
Racimo apretado	-8 °C	
Plena Floración	-4 °C	-4 °C
Post floración	-4 °C	-1,7 °C a -2 °C

mación del frío invernal durante la endodormancia. El modelo más usado es el de Grados Día de Desarrollo (GDD), en el cual se calcula la acumulación de grados día de crecimiento basándose en el promedio de la temperatura máxima y la mínima diarias, restando la temperatura base y sumando este valor para cada día. Sin embargo, el modelo de grados día no es muy preciso en ambientes como los del Oeste de Argentina donde en primavera pueden ocurrir cambios horarios en las temperaturas muy importantes. Las mejoras en las estaciones meteorológicas y en el almacenaje y transmisión de los datos han hecho posible calcular la acumulación de unidades de calor cada hora (Grados Horas de Desarrollo, GHD) (Black y col., 2008), siendo los GHD una herramienta valiosa para estimar la acumulación de calor.

El gran número de inconvenientes sobre la producción como consecuencia de la falta de correspondencia entre el clima local y los requisitos de las especies vegetales cultivadas hace que la selección de sitios de producción adecuados sea clave para una producción económicamente viable.

3.2. Requerimientos térmicos para la maduración y cosecha de los frutos

El mecanismo de dehiscencia de los endocarpos está fuertemente relacionado con la fuerza física que ejerce el crecimiento de la semilla sobre la sutura de la cáscara (Polito y Pinney, 1999). Las nueces de pistacho no abiertas naturalmente tienen menos valor comercial. Zhang y col. (2018) demostraron que la tasa de crecimiento de la semilla está fuertemente relacionada con las temperaturas por encima de un valor umbral que ocurren durante el periodo de crecimiento de los frutos.

El modelo más utilizado para relacionar la tem-

peratura con el crecimiento de los frutos es el de Grados Día de Desarrollo (GDD). La acumulación de GDD comienza cuando los árboles femeninos alcanzan el 50% de la floración (plena floración) según la estimación visual (Zhang y col., 2021) y finaliza cuando los frutos alcanzan madurez de cosecha. El modelo para estimar los requerimientos de calor en pistacheros utiliza una temperatura base de 7° C como límite inferior de temperatura. Para la variedad Kerman se estima que la necesidad de GDD es de 2200 unidades, aunque la apertura de los pistachos se incrementa significativamente con 600 unidades de calor adicionales (Zhang y col., 2021).

3.3. Susceptibilidad del pistachero a bajas temperaturas

El pistachero es un cultivo considerado resistente a bajas temperaturas durante el período invernal. En pleno invierno puede sobrevivir a temperaturas inferiores a -20°C (Marino y Marra, 2019). Sin embargo, la sensibilidad a heladas aumenta hacia la floración y cuaje. Pakkish y col. (2011), Hokmabadi (2010) y Sáez-Sánchez (2017) identificaron, para distintas etapas fenológicas umbrales de tolerancia a bajas temperaturas (Tabla 1).

Hokmabadi y col. (2010) mencionan que la ocurrencia de altas temperaturas durante el período de receso invernal puede llevar a una disminución de la tolerancia al frío. Por lo tanto, además de los umbrales térmicos según la etapa fenológica, es importante considerar las temperaturas previas a la ocurrencia de heladas, que influyen en la aclimatación o desaclimatación de los tejidos, y en su susceptibilidad al daño por congelación.

3.3.1. Tolerancia al frío según el cultivar y el portainjerto. Mecanismos de tolerancia

El método más seguro para evitar los posibles daños producidos por heladas tardías es implantar el cultivo en ambientes con baja probabilidad de ocurrencia de heladas. Sin embargo, en los últimos años se han desarrollado tecnologías (elección de variedad/portainjerto, manejo del cultivo y modificación del ambiente) que pueden resultar de gran ayuda para reducir los daños económicos producidos por el efecto de las heladas.

Si bien actualmente la disponibilidad de materiales genéticos de pistacheros en Argentina, tanto de portainjertos como de variedades (femeninas y masculinas) es escasa, existe una potencial herramienta de adaptación del cultivo a zonas marginales en cuanto a las temperaturas bajas extremas. La selección de portainjertos y cultivares son un objetivo importante en los programas de mejoramiento en países como Irán (Tajabadipour y col., 2018).

La tolerancia al frío puede variar dentro de la especie entre distintos cultivares. Nikoogoftar Sedghi y col. (2021) compararon la tolerancia a la congelación de 10 cultivares iraníes de pistacheros, en pleno invierno (enero del hemisferio norte) y en primavera (marzo del hemisferio norte), mediante el método de fuga de electrolitos. Además de encontrar diferente temperatura crítica entre cultivares, observaron una leve disminución de la tolerancia a la congelación en la primavera. La temperatura letal media fue más baja (mayor tolerancia al frío) en aquellos cultivares con valores mayores de prolina, compuestos fenólicos, carbohidratos solubles y proteínas solubles totales. A su vez, los cultivares menos tolerantes presentaron mayores concentraciones de malondialdehído (MDA) y peróxido de hidrógeno (H_2O_2) en ambos momentos (invierno y primavera) y mayor contenido de agua en las yemas en primavera.

Por otro lado, la tolerancia al frío también varía entre portainjertos. Ferguson y Buchner (1990) evaluaron el daño por congelación a campo en 4 portainjertos no injertados, luego de una helada de $-24\text{ }^\circ\text{C}$ en invierno (febrero del hemisferio norte). *Pistacia atlantica* fue el material vegetal más tolerante, con sólo un 3% de daño leve de quemadura en los ápices, mientras

que 'UCB 1' (*P. atlantica* x *P. integerrima*) presentó un 56% de daño, 'Pioneer Gold I' (*P. atlantica* x *P. integerrima*) un 79% y *P. integerrima* un 95% de muerte severa de brotes. Sin embargo, también identificaron 5 portainjertos de *P. integerrima* sin daño por frío.

Además, el portainjerto puede conferir tolerancia a la congelación a la variedad injertada. Tajabadipour y col. (2018) evaluaron los cambios fisiológicos y bioquímicos ocurridos en pistacheros cv. Ahmad-Aghaii injertados en portainjertos tolerantes y en portainjertos sensibles bajo condiciones de estrés por congelación. De manera similar a lo observado por Nikoogoftar Sedghi y col. (2021) para identificar diferente comportamiento entre cultivares, Tajabadipour y col. (2018) mencionan que los portainjertos tolerantes a la congelación proporcionaron a los brotes apicales de la variedad, menores valores de fuga de electrolitos, de peróxido de hidrógeno y de malondialdehído, y mayores cantidades de azúcares solubles, proteína total y prolina; además, en estos materiales, la actividad de las enzimas antioxidantes ascorbato peroxidasa (APX), guaiacol peroxidasa (GPX) y catalasa (CAT) fue mayor.

3.3.2. Métodos de mitigación del daño por congelación

Una forma de disminuir los daños provocados por la baja temperatura es la aplicación de compuestos bioestimulantes de forma exógena. En plántulas de 30 días, la aplicación de melatonina redujo significativamente la actividad enzimática antioxidante, la concentración de MDA, H_2O_2 , degradación de la clorofila, concentración de ácido gamaaminobutírico (GABA), azúcares solubles, y contenido de prolina bajo situaciones de estrés por frío (Barand y col., 2020).

La aplicación de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) en 4 portainjertos de pistacheros previamente al estrés por frío, aumentó la concentración de pigmentos fotosintéticos (clorofila total y carotenoides) y de proteínas solubles totales, reduciendo los efectos destructivos. La respuesta fisiológica y bioquímica varió entre los distintos genotipos, siendo 'Badami' el más tolerante sin tratamiento con H_2O_2 y 'UCB-1' con tratamiento (Jamshidi-Goharizi y col., 2024). También Hajivand y col. (2021) observaron que la aplicación de compues-

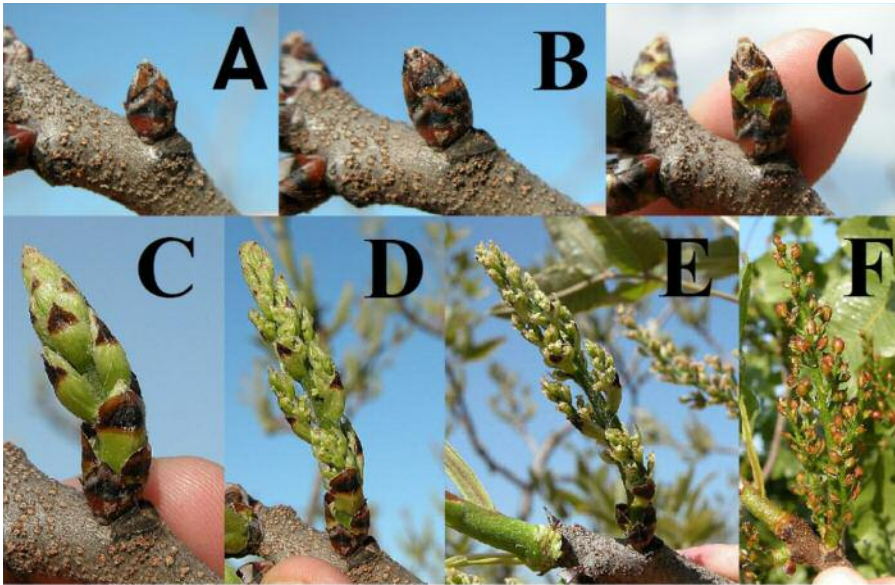


Figura 6: Transición entre los estados de desarrollo de la inflorescencia femenina del pistachero variedad Kerman. A: Yema dormida. B: Yema hinchada. C: Crecimiento longitudinal, separación de brácteas. C1: Brácteas claramente separadas. D: Racimos todavía replegados. E: Los racimos comienzan a abrirse. F: Se observan los frutos recién cuajados (Adaptado de Armadoro y col., 2023)

tos anticongelantes (Tiofer, Cropaid, Bio-Bloom, mezcla de aminoácidos y ácido salicílico) durante heladas tardías mejoró los contenidos de osmolitos, antioxidantes, pigmentos fotosintéticos y antocianinas en plantas de pistacho, reduciendo los daños por congelación. De manera similar, la aplicación de potasio y zinc mejoró la tolerancia a la congelación en flores de pistacheros, mediante el aumento en el contenido de enzimas antioxidantes, proteínas solubles, carbohidratos solubles, fenoles y prolina, y una disminución en la peroxidación lipídica y en el contenido de H_2O_2 (Norozi et al., 2020).

3.4. Características de la polinización en el cultivo del pistachero

El pistachero se caracteriza por ser una especie frutal dioica, esto significa que se presentan las flores las pistiladas (femeninas; Fig 6) y estaminadas (masculinas; Fig. 7) en árboles separados. Durante los primeros 4-5 años del crecimiento del cultivo, las yemas formadas en los árboles son principalmente vegetativas, las cuales desarrollan los brotes que formarán la copa de los árboles. A partir del sexto año se inicia la etapa madura del cultivo, y dependiendo de la variedad y las condiciones ambientales, muchas de las yemas formadas tendrán el potencial de desarrollar inflorescencias. Las flores femeninas y masculinas se disponen en inflorescencias racimosas que pueden contener más de 100 flores cada una. Las flores

del pistachero no presentan pétalos y no producen néctar, resultando ser no atractivas para los insectos; así la polinización (transporte del polen desde las flores masculinas a las flores femeninas) ocurre a través del viento, técnicamente denominada "polinización anemófila". Los árboles "machos" que portan las flores masculinas presentan una floración más densa que los árboles "hembra" que portan las flores femeninas.

La polinización y fecundación de las flores o cuaje son procesos clave en la productividad del cultivo del pistachero, y existen factores de manejo y ambientales que pueden limitar su normal desarrollo. En una misma variedad las plantas masculinas y femeninas presentan una característica conocida como protandria, que implica que las flores masculinas alcanzan la plena floración (máxima emisión de polen) antes que las flores pistiladas o femeninas. La protandria da como resultado que el polen se encuentre disponible en un momento en que los pistilos de las flores femeninas no sean receptivos, aumentando notablemente la proporción de pistachos vacíos. Para evitar el inconveniente de la protandria, en una misma finca se deben cultivar al menos dos variedades, una femenina y una o más masculinas, elegidas para que la floración de ambas coincida temporalmente. La elección de cultivares femeninos se basa en su alto rendimiento y buena calidad de la nuez (Kallsen y col., 2020). Para la elección de los cultivares masculinos se pueden utilizar varios parámetros, incluyendo el período de flora-

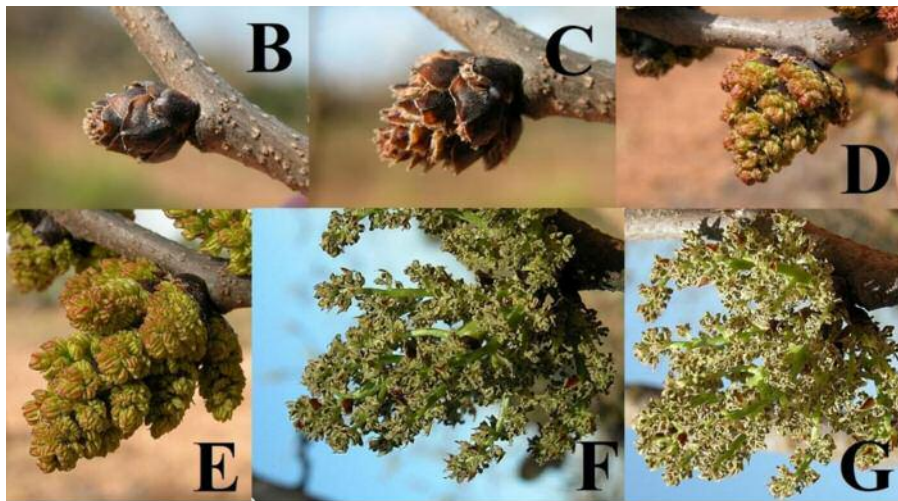


Figura 7: Transición entre los estados de desarrollo de la inflorescencia masculina del pistachero variedad Peters. B: Yema hinchada. C: Las brácteas comienzan a separarse y se hacen más visibles. D: Los estambres se aprecian claramente, se siguen observando las brácteas. E: Estambres visibles, pero sin desplegarse totalmente. Desaparecen

las brácteas. F: Inicio del amarilleo de los estambres. G: Las flores de la panícula se marchitan, caída de inflorescencias (Adaptado de Armadoro y col., 2023).

ción, la densidad de yemas florales e inflorescencia, la cantidad de polen por inflorescencia, la viabilidad del polen y las tasas de germinación (Acar y Kakani, 2010). En Argentina y similar a California (USA, Ferguson y col., 2005) la combinación más difundida en las plantaciones comerciales son el cultivar femenino Kerman y el cultivar masculino Peters. Aquí asegurar una adecuada proporción de árboles masculinos y femeninos asegurará una abundante cantidad de polen durante el período de receptividad de los estigmas. La proporción recomendada es de 1 macho cada 8 a 11 árboles femeninos.

3.5. Factores ambientales que afectan la polinización y el cuaje

La fase de polinización del pistachero varía en función de los diferentes cultivares, las condiciones climáticas y el manejo del cultivo (por ejemplo, riego, fertilización y poda). Para los cultivares Kerman y Peters, basado en relevamientos realizados en fincas comerciales de la provincia de San Juan (Silva y Lémole, 2018) y de Mendoza (IDR, 2020) durante un periodo de 10 años (2013 al 2022), la floración inicia en promedio el 22 de septiembre (rango desde 9 de septiembre al 5 de octubre) y se extiende en promedio hasta el 12 de octubre (rango desde el 29 de septiembre al 31 de octubre). La longitud del periodo dependerá de las condiciones ambientales, principalmente de la temperatura. Cuando ambos cultivares, Kerman y

Peters, cumplen adecuadamente su requerimiento de porciones de frío, se produce una adecuada sincronía de su floración. Sin embargo, en años donde las porciones de frío son insuficientes, se evidencian problemas de asincronía entre ambos cultivares, tal y como ocurrió en Argentina durante la temporada 2023-2024. En ese sentido la hembra Kerman alcanzó plena floración el 6 de octubre, mientras el macho Peters desarrolló un periodo de floración extenso, alcanzando su momento más álgido el 22 de octubre. Estudios realizados en Túnez (Benmoussa y col., 2017) observaron que en años con inviernos menos fríos el periodo de floración fue más largo, con una floración poco homogénea y a menudo varios estados fenológicos coincidiendo en la misma rama.

Por otro lado, la temperatura juega un rol clave en la fecundación de las flores femeninas. La temperatura del aire media diaria óptima durante el periodo de polinización está entre 14 y 22 °C, siendo temperaturas inferiores a 10 °C y mayores a 30 °C limitantes para el normal desarrollo de la polinización y cuaje (Yarahmadi y Amini, 2021). Muchos estudios in vitro han demostrado que el crecimiento del polen es sensible a la temperatura (Shuraki y Sedgley, 1994). La germinación del polen del pistachero es óptima entre 26 y 30 °C y se inhibe con temperaturas bajas (< 14 °C) y altas (> 66 °C). La temperatura también influye en la tasa de crecimiento de los tubos polínicos tanto in vitro e in vivo (Kardoust, 2010). Así, la temperatura supra o sub óptima (altas o bajas) durante la

floración, reduce la disponibilidad de polen en suspensión, evitando que el polen alcance y fecunde el óvulo de las flores pistiladas, resultando en flores no cuajadas que generan frutos vacíos.

La humedad relativa durante el periodo de polinización también resulta un factor clave en la productividad del pistacho. Estudios realizados en otros países indican que la humedad relativa óptima durante el periodo de polinización está entre 35-50%. Humedades relativas superiores al 65% afectan muy marcadamente el cuaje de los frutos (Yarahmadi y Amini 2021). Generalmente altos valores de humedad relativa pueden estar asociados a la ocurrencia de precipitaciones que reducen el movimiento del polen, el lavado de estigmas y generan condiciones predisponentes para la aparición de enfermedades fúngicas (Mila y col., 2015), resultando un menor cuaje y un mayor porcentaje de frutos vacíos o vanos. En el otro extremo, condiciones climáticas cálidas y secas durante la dispersión del polen reducen la humedad del polen, lo que reduce su viabilidad.

El polen se traslada a través del aire, así que la distancia desde los árboles masculinos a los femeninos y la ocurrencia de viento son importantes. Estudios realizados en Irán y utilizando trampa de polen observaron elevada intensidad de polen hasta los 35 metros de distancia desde el árbol masculino, disminuyendo marcadamente la intensidad de polen a partir de los 35 metros. Sin embargo, la intensidad del polen a determinada distancia del árbol macho dependerá de la velocidad y dirección del viento. La velocidad del viento óptima medida a 2 m de altura desde el suelo es de 10 km/h, equivalente a 2,7 m/s. El mismo estudio menciona que cuando la velocidad del viento superó los 30 km/h, no se observaron rastros de polen en las trampas de polen y mientras se identificó una gran cantidad de polvo (Sharifani y col., 2023). Los inconvenientes en la polinización ocasionados por la presencia de polvo en suspensión fueron puestos en evidencia también por Zhang y col. (2019). Los autores observaron que el polvo levantado por el paso de máquina desmalezadora durante la floración en pistachero produjo daños en la viabilidad del polen y en la calidad de los estigmas de las flores femeninas ocasionando una disminución del cuajes, mayor presencia de frutos vacíos, menor porcentaje de frutos partidos y una reducción de la producción.

3.6. Principales limitantes climáticas durante el periodo de cosecha

Uno de los factores de calidad más importante a tener en cuenta es la presencia de aflatoxinas en las nueces de pistacho. Las aflatoxinas son micotoxinas producidas por hongos de diferentes familias, aunque el más importante es *Aspergillus flavus*.

Los periodos que van desde la floración hasta el cuaje y también durante la madurez de los frutos, en particular la división de la cáscara, se consideran las fases de crecimiento más susceptibles para la infección por *Aspergillus flavus*. En el periodo que va desde la floración hasta el cuajado, el hongo puede penetrar en el fruto seco cuajado y colonizar la parte interna del fruto, ya que la cáscara dura aún no está formada. La rotura de la cáscara durante la madurez del pistacho se considera también una fase muy susceptible a la infección del hongo. El tiempo de recolección y la ocurrencia de precipitaciones se considera un parámetro muy crítico para obtener productos de alta calidad libres de aflatoxinas (Panahi y Khezri, 2011). El retraso en la recolección puede favorecer niveles altos de acumulación de aflatoxinas debido a las condiciones favorables para la infección por *Aspergillus flavus*. En la misma línea, la ocurrencia de precipitaciones durante los meses de febrero y marzo, cuando se produce la fase final de maduración de los frutos y la cosecha se generan condiciones favorables para la infección de *Aspergillus flavus*. El manejo de los frutos durante la cosecha y poscosecha son pasos clave para evitar contaminaciones de aflatoxinas y se debe poner especial atención a las condiciones ambientales durante este periodo.

4. Determinación de los requerimientos del pistachero en Argentina

El gran número de inconvenientes sobre la producción como consecuencia de la falta de correspondencia entre el clima local y los requisitos de las especies vegetales cultivadas hace que la selección de sitios de producción adecuados sea clave para una producción económicamente viable. La determinación de los requerimientos ambientales del

pistachero para la Argentina fue realizada a partir de datos de fenología floral recolectados durante el período 2013-2022 en una finca comercial de pistacheros de la variedad Kerman en plena producción ubicada en la localidad de Carpintería (31 50' S, 68 30' O), Departamento de Pocito, San Juan, Argentina. La determinación de las fechas de inicio y finalización de acumulación de frío invernal (período de endodormancia) y del período de forzado (ecodormancia) se determinaron por medio de regresión de mínimos cuadrados parciales (PLS) en bloques de 15 días. Los datos térmicos horarios

empleados para la regresión fueron obtenidos de la estación San Juan Aero del Servicio Meteorológico Nacional y transformados a Porciones de Frío (PF) según el Modelo Dinámico (Fishman et al., 1987) y Grados Hora de Crecimiento (GHD, de sus siglas en inglés Growing Degree Hours) con una Temperatura Base (Tb) de 4,5 °C (Ashcroft et al., 1977). Como resultado del análisis de la regresión PLS se estimó como fecha de inicio de acumulación de frío invernal el día juliano 123 (3 de mayo), finalizando el día juliano 227 (15 de agosto) (Fig. 8a). Durante el período de endo-

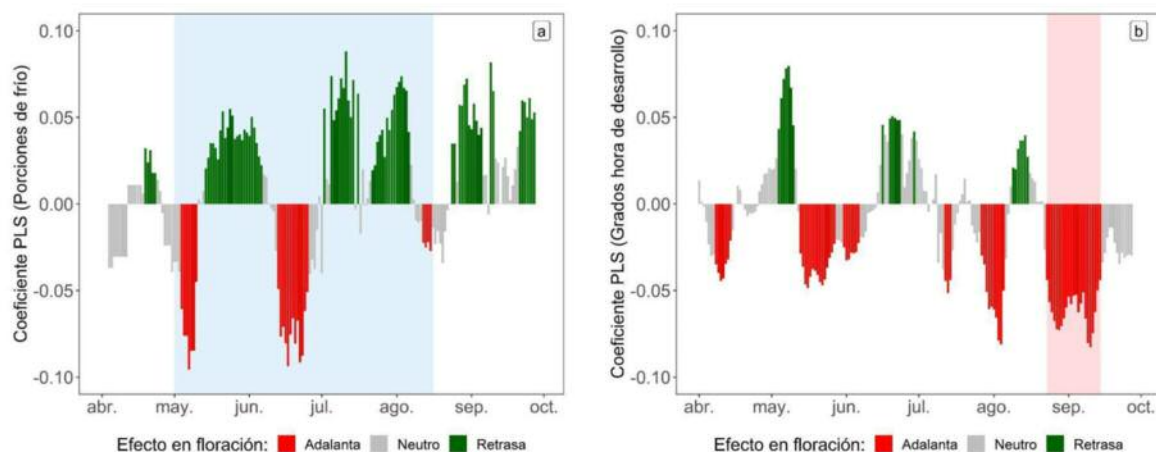


Figura 8. Coeficientes del modelo de regresión de mínimos cuadrados parciales (PLS) para acumulación de frío (a) y acumulación de calor (b), necesarios para alcanzar la floración en pistacheros de la variedad Kerman en Carpintería, San Juan, Argentina.

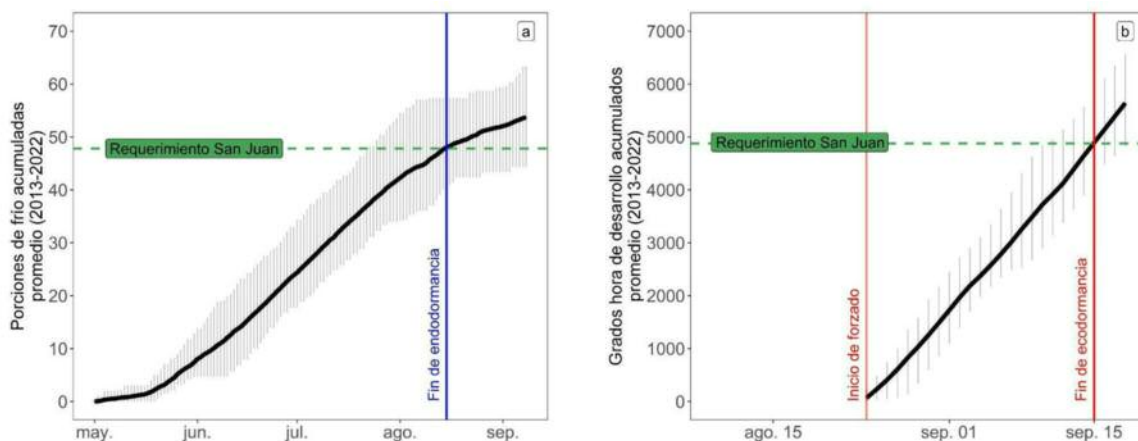


Figura 9. Porciones de frío (a) y Grados Hora de Desarrollo (b) acumulados promedio en el período 2013-2023 en San Juan, Argentina. Las barras de error representan el rango entre mínimo y máximo diarios para cada variable dentro del período evaluado. Los requerimientos promedio de porciones de frío y grados hora de desarrollo son producto del valor de intersección entre la función de acumulación promedio de cada variable y la fecha de final de fin de endodormancia y ecodormancia, respectivamente.

dormancia se acumularon en promedio 47 porciones de frío (PF) y se alcanzó la ruptura de la endormancia de las yemas florales femeninas (Fig. 9a). El período de forzado inició el día juliano 235 (23 de agosto) y finalizó el día juliano 256 (14 de septiembre, Fig. 8b), periodo en el cual la ecodormancia fue agotada luego de acumular en promedio 4900 GHD (Fig. 9b). En esas condiciones, una vez agotados ambos tipos de dormición de las yemas florales, la floración inició en promedio el día juliano 262 (19 de septiembre).

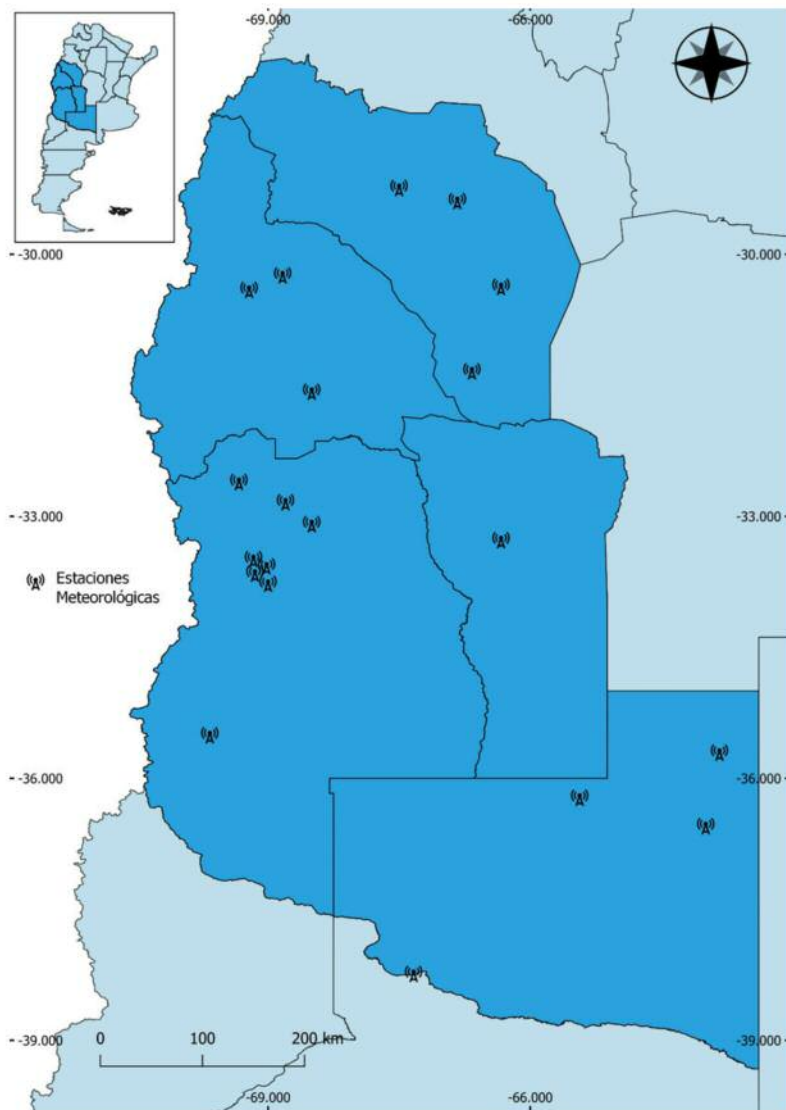
5. Áreas aptas. Resultados

El objetivo de este apartado fue establecer para la Argentina las áreas donde las condiciones

climáticas permiten que el pistachero alcance producción interesantes. La construcción de tablas y mapas fueron realizadas a partir de la determinación de los requerimientos agroclimáticos del pistachero explicados en el apartado anterior y datos de temperaturas obtenidos de la red de estaciones meteorológicas pertenecientes al Servicio Nacional de Meteorología, Dirección de Contingencias Climáticas de la provincia de Mendoza y del INTA.

La tabla y mapas requieren consideraciones para su adecuada interpretación.

1. Los requerimientos agroclimáticos del pistachero fueron determinados para Kerman, la variedad hembra más difundida en Argentina. En el mundo hay disponibles otras variedades, con diferentes requerimientos ambientales y podrían



Mapa 1. Distribución geográfica de las estaciones meteorológicas utilizadas para la distribución de áreas con distinta aptitud para el cultivo del pistachero.

adaptarse a otros ambientes. Resulta importante que la introducción de variedades incluya un programa de evaluación de aspectos fenológicos y productivos en las condiciones locales.

2. La red de estaciones meteorológicas del SMN están distribuidas en todo el país cubriendo cada una, grandes áreas. Así las áreas delimitadas en este trabajo corresponden a grandes superficies. La incorporación de un mayor número de estaciones meteorológicas va a permitir en el futuro mayor precisión. Puede ocurrir que dentro de los límites de zonas aptas, condicionadas o no aptas existan sitios con características particulares o micro ambientales diferentes al resto, que requerirán un estudio más preciso.

3. Otros factores además de los ambientales pueden limitar la producción de pistachos. Las características y calidad de los suelos, la disponibilidad de agua, la distancia a la fábrica de procesado. Estos factores muy relevantes para la producción de pistacho permiten cierto grado de manejo y serán contemplados en una segunda etapa del estudio de zonificación.

4. En el mapa 5 se presenta el análisis de la probabilidad de heladas tardías críticas para el cultivo de pistachero durante la floración. El mapa fue construido determinando para cada estación meteorológica la probabilidad de que ocurra una helada crítica (temperatura igual o inferior a -3 °C) durante el periodo desde el 1 de septiembre hasta el 15 de Octubre, cuando ocurre la floración de los pistacheros. El riesgo de heladas fue categorizado como BAJO RIESGO cuando la probabilidad de ocurrencia de temperaturas críticas es inferior al 10%. RIESGO MEDIO para probabilidades entre el 10 - 30% y ALTO RIESGO para probabilidades de heladas superiores al 30%.

Factores climáticos considerados para la construcción de Tablas y Mapas

1- Factor Porciones de Frío (PF)

Verde: Apto (> 47 PF)

Amarillo: Condicionado (47 - 39,95 PF)

Rojo: No apto (< 39,95 PF)

2- Factor Grados Horas Desarrollo a floración (GHD)

Verde: Apto (> 4165 GHD). Valor que corresponde al 85% del requerimiento total de 4900 GHD.

Amarillo: Condicionado (4165 GHD - 3675 GHD)

Rojo: No apto (< 3675 GHD)

3- Factor Heladas en floración (HF)

Blanco: Bajo riesgo (probabilidad menor al 10% de ocurrencia de días con -3°C)

Celeste: Medio riesgo (probabilidad entre el 10% y 30% de ocurrencia de días con -3°C)

Azul: Alto riesgo (probabilidad superior al 30% de ocurrencia de días con -3°C)

4- Factor Grados Días de desarrollo a maduración (GDD)

Verde: Apto (> 2200 GDD)

Amarillo: Condicionado (2200 GDD - 1900 GDD)

Rojo: No apto (<1900 GDD)

5- Valoración Global

Verde: Apto (>47PF y >4165 GHD y > 2200 GDD)

Amarillo: Condicionado (47 - 39,95 PF ó 4165 - 3675 GHD ó 2200 - 1900 GDD)

Rojo: No apto (< 39,95 PF ó < 3675 GHD ó < 1900 GDD)

A partir de los factores ambientales considerados y para el área de estudio se observa que la región más adecuadas para el cultivo del pistachero abarca una franja que comienza en el Sur de San Juan descendiendo por el este de la provincia de Mendoza, sur de la provincia de San Luis, la franja longitudinal central de La Pampa y Río Colorado (Río Negro) (Mapa 6 y Tabla 2). Es importante destacar que la zona sur de la franja de aptitud cuenta como factores limitantes, alta probabilidad de heladas durante el periodo de floración, humedad relativa y precipitaciones relativamente altas, condiciones predisponentes para el desarrollo de enfermedades. Dentro de la franja de aptitud, las localidades de General San Martín (provincia de Mendoza), San Luis (provincia de San Luis) y Victorica (provincia de La Pampa) presentan algunos años con inviernos no lo suficientemente fríos y que pueden limitar la producción de pistachos. Las localidades de Tunuyán y San Rafael en el centro y sur de Mendoza, presentan inviernos lo suficientemente fríos para que pistachero cv. Kerman cubra la demanda de frío para la endodormancia, sin embargo, en algunos años las primaveras y veranos pueden no ser suficientemen-

Tabla 2. Información para la viabilidad agroclimática del pistacho en Argentina utilizando diferentes requerimientos del cultivo estimados para estaciones meteorológicas seleccionadas dentro del área de estudio.

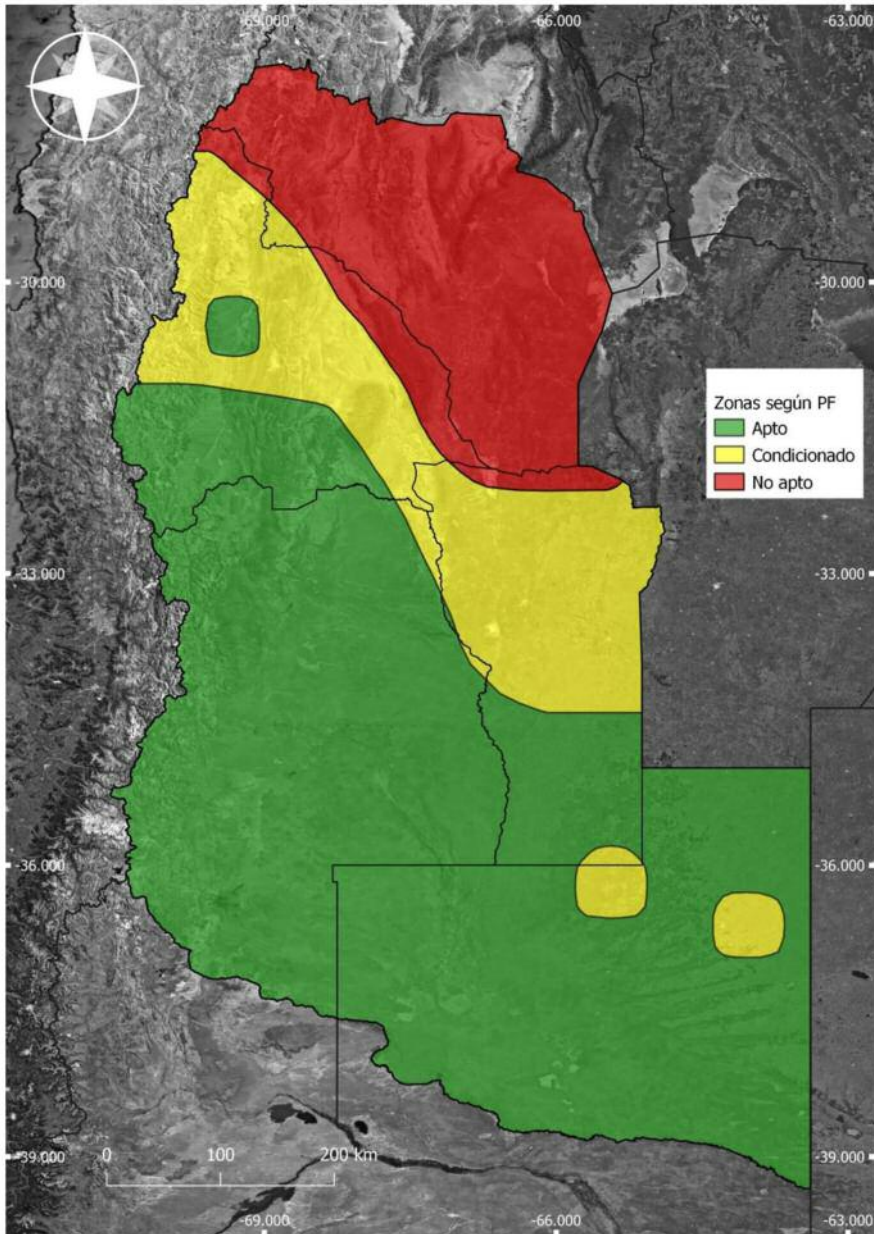
Provincia	Estación Meteorológica	Fuente	Lat (S)	Long (O)	Altitud (msnm)	Pp	HF	PF	GHD	GDD	VG
Catamarca	Catamarca Aero	SMN	28,60	65,77	454	411,1	0%	23	7236	2873	NA
	Tinogasta	SMN	28,07	67,57	1201	290,0	0%	26	6457	2982	NA
La Rioja	La Rioja Aero	SMN	29,38	66,82	429	410,3	0%	21,2	6893	2973	NA
	Chamical Aero	SMN	30,37	66,28	461	460,1	0%	24	6961	2873	NA
	Chepes	SMN	31,33	66,60	658	647,0	0%	31,2	7296	2989	NA
	Chilecito Aero	SMN	29,23	67,43	945	381	0%	32,7	6180	2673	NA
San Juan	San Juan Aero	SMN	31,37	68,32	618	90,6	10%	48,3	5142	2648	A
	Iglesias	SMN	30,41	69,22	1914	*	80%	47,4	3944	1923	C
	Jáchal	SMN	30,23	68,75	1175	123,4	36%	39,7	4981	2334	NA
Mendoza	Mendoza Aero	SMN	32,83	68,78	704	238,0	0%	53,4	5215	2411	A
	Agua Amarga	DCC	33,30	69,21	970	339,9	28%	63,4	3102	2028	NA
	Malargüe Aero	SMN	35,50	69,58	1425	320,6	81%	60	2382	1611	NA
	San Martín	SMN	33,08	68,42	653	263,0	0%	43,6	5521	2591	A
	San Carlos	INTA	33,73	69,12	940	339,5	0%	47	3379	1807	NA
	San Rafael Aero	SMN	34,58	68,40	748	363,0	9%	57,3	4052	2166	C
	Tunuyán	DCC	33,56	69,01	869	315,2	62%	52	3792	2175	C
	Uspallata	SMN	32,60	69,33	1891	*	63%	51,3	3156	1961	NA
San Luis	Vista Flores	DCC	33,73	69,12	940	274,5	65%	54,5	3690	2141	NA
	San Luis Aero	SMN	33,27	66,35	713	667,1	0%	42,2	5597	2445	C
La Pampa	Villa Reynolds	SMN	33,40	65,27	408	724,6	90%	36	4311	2084	NA
	Gral Pico Aero	SMN	35,70	63,75	145	885,2	27%	53,3	4464	2174	C
Neuquén	Victorica	SMN	36,13	65,26	278	578	0%	46,2	4480	2282	C
	Neuquén	SMN	38,95	68,07	270	211,7	27%	67,1	3621	2189	NA
Río Negro	Río Colorado	SMN	39,02	64,08	79	440	0%	58,7	4831	2517	A
	Viedma	SMN	40,8	63,00	12	383	63%	54,5	3352	1636	NA

Verde: corresponde a Apto (A) / Amarillo: corresponde a Condicionado (C) / Rojo: corresponde a No Apto (NA) / SMN: Servicio Meteorológico Nacional / DCC: Dirección de Contingencias Climáticas provincia de Mendoza / Lat: Latitud Sur / Long: Longitud Oeste / Altitud: altura sobre el nivel del mar (m) / Pp: precipitación anual (mm) / PF: Porciones de Frío / HF: probabilidad de heladas (temperaturas < -3°C) durante el periodo de floración / GHD: Grados Horas de Desarrollo / GDD: Grados Días de Desarrollo VG: Valoración Global / * Sin datos disponibles

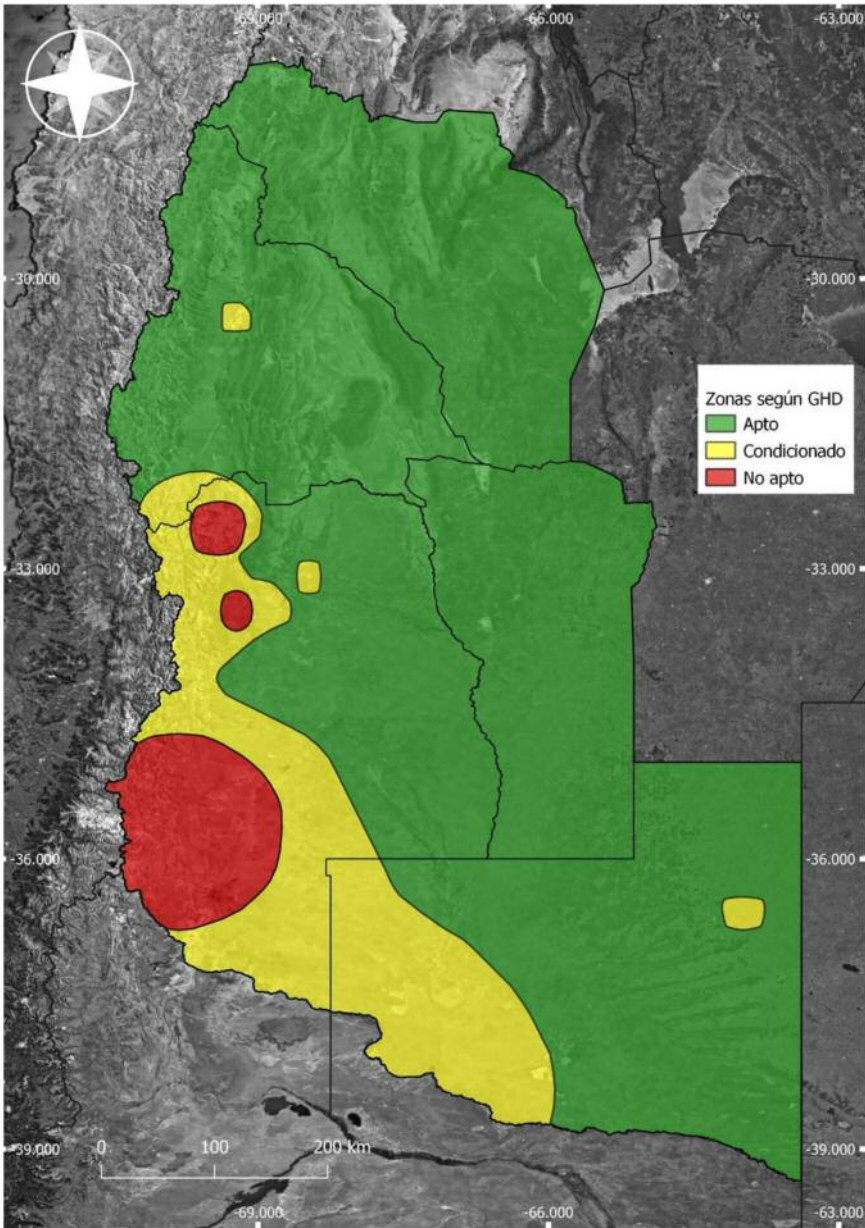
te cálidos, condicionando el normal desarrollo de la floración y maduración de los frutos. En San Juan, la localidad de Iglesias ubicada al noroeste y con gran altitud (1914 msnm) presenta inviernos con adecuada oferta de frío, aunque las primavera y veranos en algunos años no son lo suficientemente cálidos.

Catamarca y La Rioja no presentan zonas aptas para la producción del pistachero debido a la escasa oferta de frío invernal (PF). Lo mismo sucede con la localidad de Jáchal en el norte de la provincia de San Juan y Villa Reynold al centro-oeste de la provincia de San Luis. Estas regiones

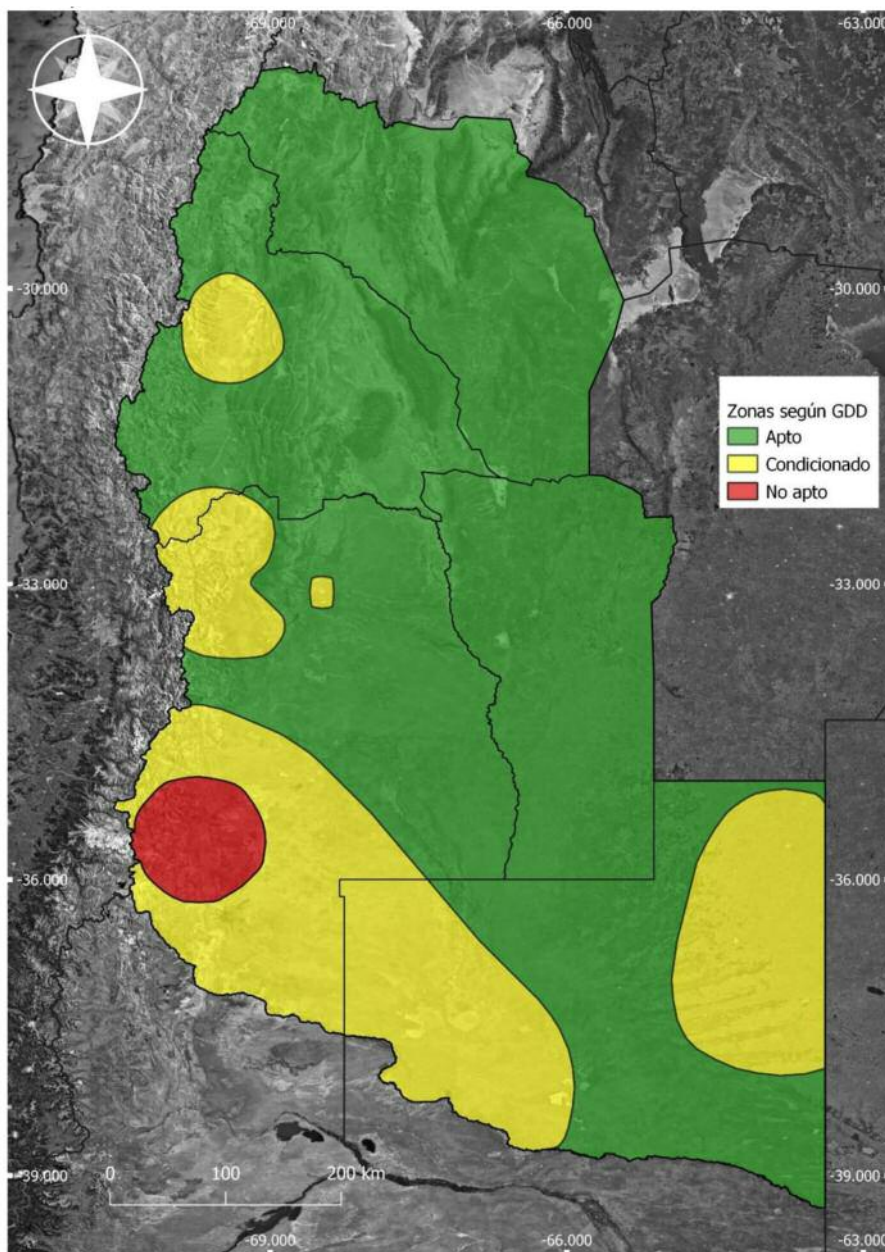
no presentaron limitaciones térmicas durante el periodo de primavera y verano. En contraste, en las localidades del oeste (Uspallata, Agua Amarga, San Carlos) y sur (Malargüe) en la provincia de Mendoza, las temperaturas primaverales y estivales limitan fuertemente el desarrollo de la floración y maduración de los frutos. Lo mismo ocurre al sur de la zona de estudio, Neuquén y Viedma. Cabe resaltar, que en los últimos sitios, si bien los inviernos presentan una oferta ambiental adecuada, la alta probabilidad de heladas tardías limitan también el desarrollo del cultivo (Mapa 5).



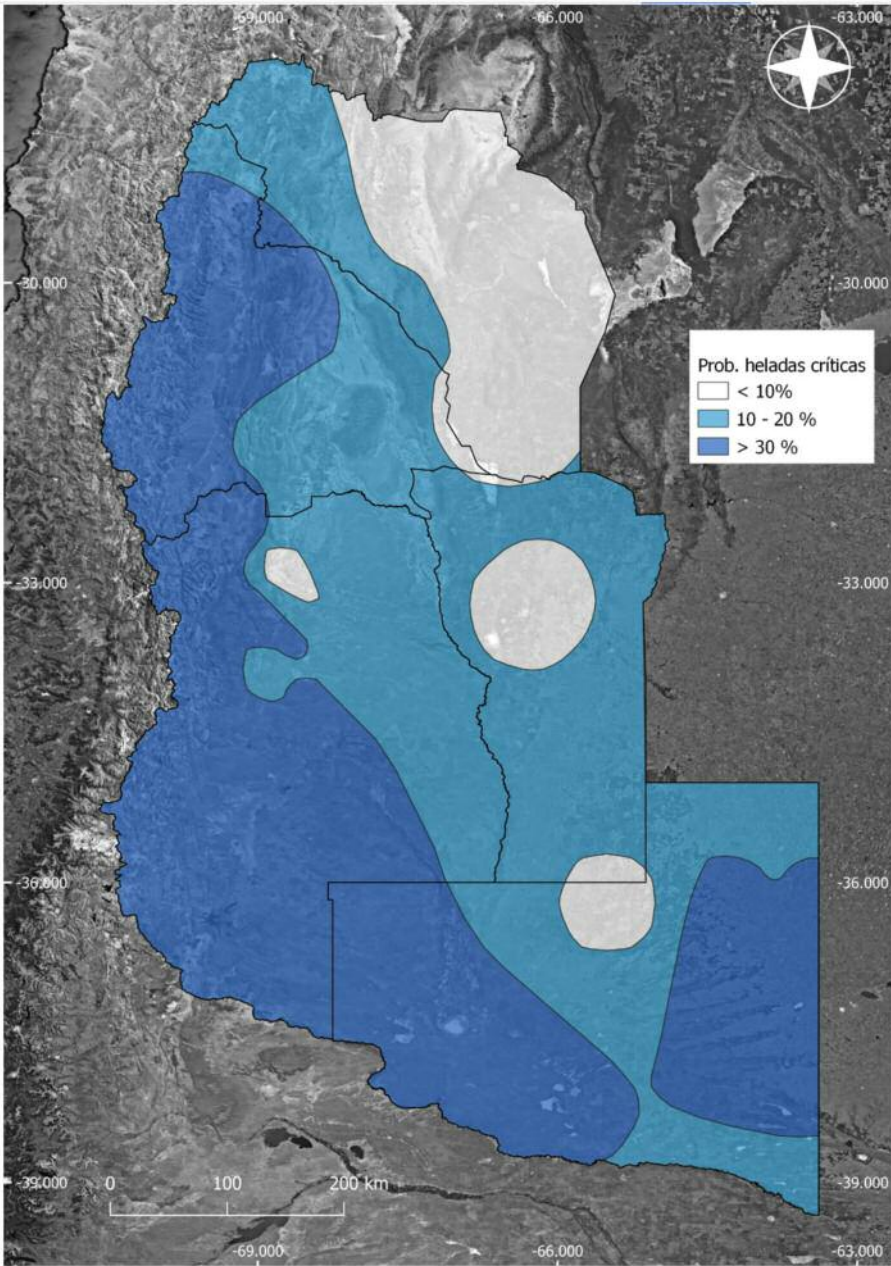
Mapa 2. Distribución geográfica de áreas de Argentina con diferente aptitud para el cultivo del pistachero basado en la acumulación de porciones de frío (PF) durante el periodo de endodormancia.



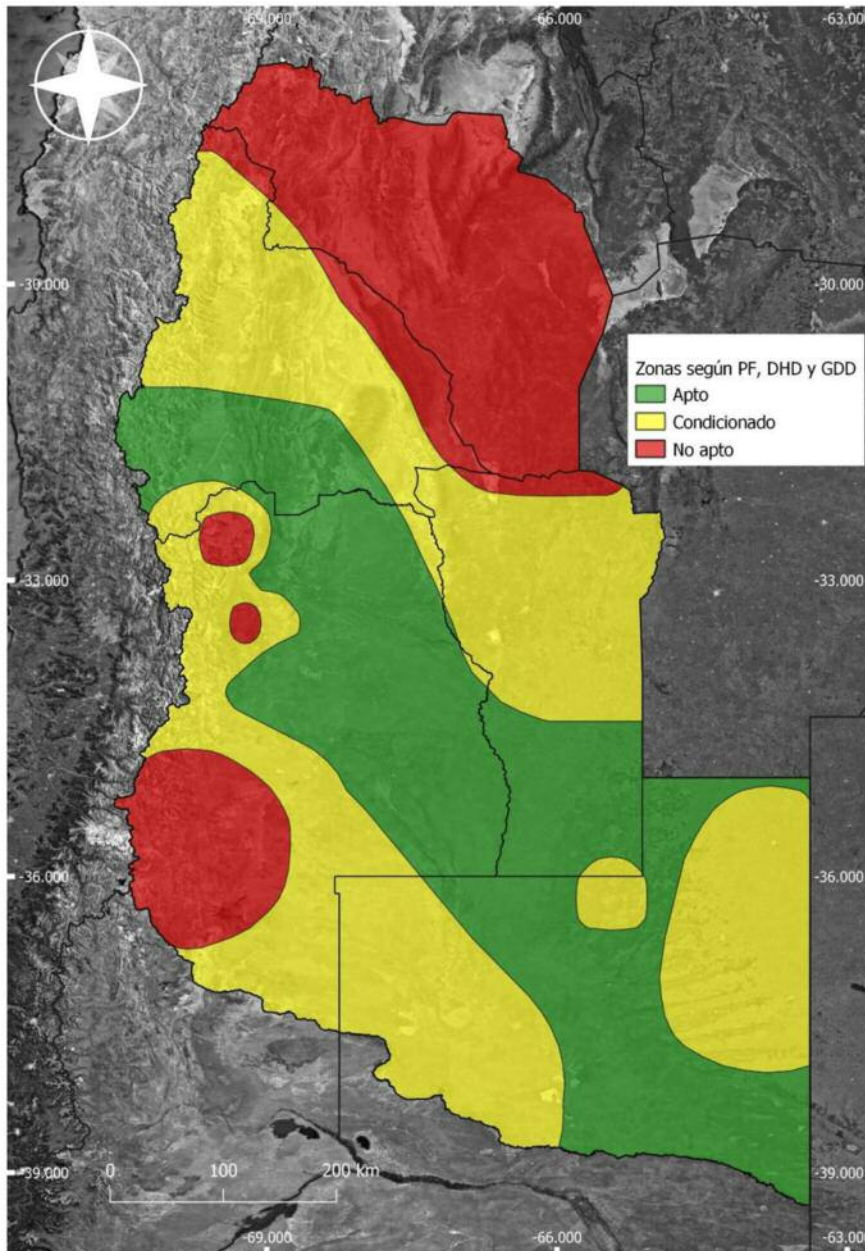
Mapa 3. Distribución geográfica de áreas de Argentina con diferente aptitud para el cultivo del pistachero basado en la acumulación de grados horas de desarrollo (GHD) durante el periodo de ecodormancia.



Mapa 4. Distribución geográfica de áreas de Argentina con diferente aptitud para el cultivo del pistachero basado en la acumulación de grados días de desarrollo (GDD) durante el periodo desde plena floración a madurez de cosecha de los frutos.



Mapa 5. Distribución geográfica de áreas de Argentina con diferente riesgo de heladas tardías inferiores a -3°C durante el periodo de floración de los pistacheros (1 Septiembre al 15 Octubre).



Mapa 6. Distribución geográfica de áreas de Argentina con diferente aptitud para el cultivo del pistachero basado en la valoración global de acumulación porciones de frío (PF), de grados horas de desarrollo (GHD) y grados días de desarrollo (GDD).

6. Conclusiones

Este trabajo presenta la primera aproximación a la estimación de los requerimientos ambientales del pistachero cv. Kerman para alcanzar la floración en Argentina. Los resultados son diferentes a los reportados por otros autores en otras regiones del mundo, requiriendo menos porciones de frío que en Irán, Turquía o Estados Unidos de América. El amplio rango de magnitudes en las variables porciones de frío (PF) y Grados horas de desarrollo (GHD) en torno a las fechas promedio

de final de la endo- y ecodormancia demuestran una potencialidad amplia para el desarrollo del cultivo en regiones distintas a la zona núcleo de producción en Argentina.

Se estandarizaron y analizaron datos meteorológicos (temperaturas horarias) para series de 11 años registrados en estaciones meteorológicas instaladas en las provincias de Catamarca, La Rioja, San Juan, Mendoza, San Luis, La Pampa, Neuquén y Río Negro. A partir de las temperaturas horarias se calcularon los indicadores ambientales para cada estación meteorológica y luego se construye-

ron los mapas. La superposición de los mapas individuales permitió obtener un mapa que indica las grandes zonas donde la producción de pistachos es Apta, Condicionada (algunos años la producción puede verse comprometida) o No Apta. El mapa aquí presentado constituye una herramienta útil para nuevos proyectos productivos, mejorar la toma de decisión en el manejo de plantaciones ya instaladas y delinear futuras acciones de trabajo.

El trabajo continuará incorporando nuevos datos fenológicos, meteorológicos y el desarrollo de nuevos indicadores.

Agradecimientos

A las Dra. Georgina Lemole (INTA-AER Iglesia, San Juan), al Ing. Manuel Viera (Asociación de Frutos Secos de Mendoza) y a la Ing. Mariana Cantaloube (Instituto de Desarrollo Rural de Mendoza).

Referencias bibliográficas

- Acar, I., & Kakani, V. G. (2010). The effects of temperature on in vitro pollen germination and pollen tube growth of *Pistacia* spp. *Scientia Horticulturae*, 125(4), 569-572.
- Andrieu, J., Lémole, G., & Novello, R. (2013). Perspectiva del cultivo del pistachero en la provincia de San Juan. EEA San Juan. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación.
- Armadoro, S., Rodrigo-Gómez, S., Armadoro, L., & Guerrero, J. (2023). Estudio preliminar de la respuesta fenológica de los principales cultivares de *Pistacia vera* L. en España frente al cambio climático. *Revista de Ciências Agrárias*, 46(August), 107–116.
- Ashcroft, G.L.; Richardson, E.A.; Seely, S.D. 1977. A statistical method of determining Chill Unit and Growing Degree Hour requirements for deciduous fruit trees. *HortScience* 12(4):347-348.
- Atkinson, C. J., Brennan, R. M., & Jones, H. G. (2013). Declining chilling and its impact on temperate perennial crops. *Environmental and Experimental Botany*, 91, 48-62.
- Bahramabadi, E. Z., Jonoubi, P., & Rezanejad, F. (2018). Some cytological and physiochemical features relating to non-storability of pistachio (*Pistacia vera* L.) pollen. *Grana*, 57(6), 456-463.
- Barand, A., Nasibi, F., Manouchehri Kalantari, K., & Moradi, M. (2020). The effects of foliar application of

melatonin on some physiological and biochemical characteristics and expression of fatty acid desaturase gene in pistachio seedlings (*Pistacia vera* L.) under freezing stress. *Journal of Plant Interactions*, 15(1), 257-265.

- Black, B., Frisby, J., Lewers, K., Takeda, F., & Finn, C. (2008). Heat unit model for predicting bloom dates in *Rubus*. *HortScience*, 43(7), 2000-2004.
- Benmoussa, H., Luedeling, E., Ghrab, M., Yahmed, J. B., & Mimoun, M. B. (2017). Performance of pistachio (*Pistacia vera* L.) in warming Mediterranean orchards. *Environmental and experimental botany*, 140, 76-85.
- Díez-Palet, I., Funes, I., Savé, R., Biel, C., de Herralde, F., Miarnau, X., & Aranda, X. (2019). Blooming under Mediterranean climate: Estimating cultivar-specific chill and heat requirements of almond and apple trees using a statistical approach. *Agronomy*, 9(11), 760.
- Elloumi, O., Fki, M., Benmoussa, H., Feki, M., Mimoun, M. B., & Ghrab, M. (2024). Agro-climatic requirements and reproductive potentials of pistachio pollinator specimens grown in warm area in North Africa. *Scientia Horticulturae*, 325, 112649.
- Erez, A., Fishman, S., Linsley-Noakes, G. C., & Allan, P. (1989, September). The dynamic model for rest completion in peach buds. In II International Symposium on Computer Modelling in Fruit Research and Orchard Management 276 (pp. 165-174).
- 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, Utah. En: LaMar-Anderson J. Editor. pp. 165-174.
- Fabani, M. P., Luna, L., Baroni, M. V., Monferran, M. V., Ighani, M., Tapia, A., ... & Feresin, G. E. (2013). Pistachio (*Pistacia vera* var Kerman) from Argentinean cultivars. A natural product with potential to improve human health. *Journal of Functional Foods*, 5(3), 1347-1356.
- Ferguson, L., & Buchner, R. (1990). Relative cold tolerance of four unbudded pistachio seedling rootstocks. *HortScience*, 25(9), 1089f-1089.
- Ferguson, L., Beede, R. H., Reyes, H., Sanden, B. L., Grattan, S. R., & Epstein, L. (2005). Pistachio rootstocks. *Pistachio production manual*, 3545, 65-74.
- Ferguson, L., Polito, V., & Kallsen, C. (2005). The pistachio tree: botany and physiology and factors that affect yield. *Pistachio production manual*, 4th ed. Davis, CA, USA, University of California Fruit & Nut Research Information Center, 31-39.
- Fishman, S., Erez, A., & Couvillon, G. A. (1987). The temperature dependence of dormancy breaking in plants: mathematical analysis of a two-step model involving a

- cooperative transition. *Journal of Theoretical Biology*, 124(4), 473-483.
- Hajivand, S., Kashanizadeh, S., & Javanshah, A. (2022). Effects of different antifreeze chemicals on late spring frost in pistachio. *Protoplasma*, 1-12.
 - Hokmabadi, H. (2010). Pistachio frost damage in Iran and new methods of frost protection. In XIV GREMPA Meeting on Pistachios and Almonds, Zaragoza: CIHEAM/FAO/AUA/TEI Kalamatas/NAGREF.
 - Hormaza, J. I., & Wünsch, A. (2007). Pistachio. In *Fruits and nuts* (pp. 243-251). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
 - Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC). 2021. Censo Nacional Agropecuario 2018: Resultados definitivos (1a ed.). Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
 - Jamshidi-Goharrizi, K., Momeni, M. M., Karami, S., Meru, G., Nazari, M., Ghanaei, S., & Moeinzadeh, A. (2024). H₂O₂ leaf priming improves tolerance to cold stress in pistachio rootstocks. *Acta Physiologiae Plantarum*, 46(2), 23.
 - Kallsen, C. E., Parfitt, D. E., & Maranto, J. (2020). UC pistachio cultivars show improved nut quality and are ready for harvest earlier than 'Kerman'. *California Agriculture*, 74(2).
 - Khezri, M., Heerema, R., Brar, G., & Ferguson, L. (2020). Alternate bearing in pistachio (*Pistacia vera* L.): A review. *Trees*, 34, 855-868.
 - Kitamura, Y. (2017). Studies on the temperature requirements for flower bud dormancy release in *Prunus mume*. *Kyoto University*, 83.
 - Lang, G. A., Early, J. D., Martin, G. C., & Darnell, R. L. (1987). Endo-, para-, and ecodormancy: physiological terminology and classification for dormancy research.
 - Lavin A, Arturo, Reyes M, Marisol y Almarza D, Patricio (2014) Pistacho (*Pistacia vera* L.) [en línea]. Cauquenes: INIA Raihuen. Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. no. 301. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/7853> (Consultado: 10 mayo 2024).
 - Marino, G., & Marra, F. P. (2019). Horticultural management of Italian Pistachio orchard systems: Current limitations and future prospective. *Italus Hortus*, 26(3), 14-23.
 - Memmi, H., Gijón, M. C., Couceiro, J. F., & Pérez-López, D. (2016). Water stress thresholds for regulated deficit irrigation in pistachio trees: Rootstock influence and effects on yield quality. *Agricultural Water Management*, 164, 58-72.
 - Memmi, H., Gijón, M. C., Guerrero, J., Couceiro, J. F., & Pérez-López, D. (2014). Characterization of pistachio fruit growth stages as a base for irrigation scheduling. *Acta Horticulturae*, 1028, 381-384.
 - Mila, A. L., Driever, G. F., Morgan, D. P., & Michailides, T. J. (2005). Effects of latent infection, temperature, precipitation, and irrigation on panicle and shoot blight of pistachio in California. *Phytopathology*, 95(8), 926-932.
 - Nikoogoftar Sedghi, M., ValizadehKaji, B., Karimi, R., & Abbasifar, A. (2021). Physiological and biochemical responses of 10 commercial Iranian pistachio cultivars to freezing. *Biologia*, 76, 329-339.
 - Norozi, M., ValizadehKaji, B., Karimi, R., & Solgi, M. (2020). Potassium and zinc-induced frost tolerance in pistachio flowers is associated with physiological and biochemical changes. *Trees*, 34, 1021-1032.
 - Pakkish, Z., Rahemi, M., & Panahi, B. (2011). Low temperature resistance of developing flower buds of pistachio (*Pistacia vera* L.) cultivars. *J. Biol. Environ. Sci.* 5(15):153-157.
 - Panahi, B., & Khezri, M. (2011). Effect of harvesting time on nut quality of pistachio (*Pistacia vera* L.) cultivars. *Scientia horticulturae*, 129(4), 730-734.
 - Polito, V. S., & Pinney, K. (1999). Endocarp dehiscence in pistachio (*Pistacia vera* L.). *International journal of plant sciences*, 160(5), 827-835.
 - Pope, K. S., Dose, V., Da Silva, D., Brown, P. H., & DeJong, T. M. (2015). Nut crop yield records show that budbreak-based chilling requirements may not reflect yield decline chill thresholds. *International journal of biometeorology*, 59, 707-715.
 - Richardson, E. A., Seeley, S. D., & Walker, D. R. (1974). A model for estimating the completion of rest for 'redhaven' and 'elberta' peach trees. *HortScience*, 9(4), 331-332.
 - Rohde A., Bhalerao R. (2007). Plant dormancy in the perennial context. *Trends in Plant Science* 12(5), 217-223.
 - Sáez-Sánchez, I. (2017). El cultivo del pistacho. Jaén, España: Degusta Jaén.
 - Sharifani, M., Esmaeili, M., Torabi, B., Dehghani, A., Avazabaian, A., & Hokmabadi, H. (2023). Investigation on dynamic of pollen flow and its relation with fruit set in pistachio (*pistachia vera*) trees. *Journal of Plant Production Research*, 30(4), 57-77.
 - Shuraki, Y. D., & Sedgley, M. (1994). Effect of pistil age and pollen parent on pollen tube growth and fruit production of pistachio. *Journal of Horticultural Science*, 69(6), 1019-1027.
 - Silva, S. y Lémole, G. (2018). Cartilla Fenológica: Cultivo Pistachero en San Juan. INTA Ediciones.
 - Spann, T. M., Beede, R. H., & DeJong, T. M. (2009). Contributions of short-and long-shoots to yield of 'Kerman' pistachio (*Pistacia vera* L.). *Scientia Horticulturae*, 121(4), 495-500.
 - Sperling, O., Kamai, T., Tixier, A., Davidson, A., Jarvis

Shean, K., Raveh, E., & Zwieniecki, M. A. (2019). Predicting bloom dates by temperature mediate kinetics of carbohydrate metabolism in deciduous trees. *Agricultural and Forest Meteorology*, 276, 107643.

- Tajabadipour, A., Fattahi, M., Zamani, Z., Nasibi, F., & Hokmabadi, H. (2018). Evaluation of physiological and biochemical changes of pistachio (*Pistacia vera* L. cv. Ahmad-Aghaii) on cold tolerant and sensitive rootstocks under freezing stress conditions. *Journal of Horticultural Science*, 32(3), 471-484.

- UÇAK, A. B. The Effects of Some Climate Parameters on Yield and Quality of Siirt Pistachio Variety (*Pistacia vera*, L) Grown in Semi-Arid Climate Conditions. *Innovative research in agriculture, forest and water issues*, 5.

- Weinberger, J.H. (1950). Chilling requirements of peach varieties. *Proc. Am. Soc. Hortic. Sci.* 56, 122–128.

- Yarahmadi, J., & Amini, A. (2021). Determining land suitability for pistachio cultivation development based on climate variables to adapt to drought. *Theoretical and Applied Climatology*, 143(3), 1631-1642.

- Zamani Bahramabadi, E., Jonoubi, P., & Rezanejad, F. (2018). Ultrastructural changes of pistachio (*Pistacia vera* L.) mature seeds and pollen in relation to desiccation. *Trees*, 32, 29-39.

- Zhang, J., & Ranford, T. (2021). Identification of key periods of temperature influence on 'Sirora' pistachio nut quality. *HortTechnology*, 31(3), 266-273.

- Zhang, L., Beede, R. H., Banuelos, G., Wallis, C. M., & Ferguson, L. (2019). Dust interferes with pollen–stigma interaction and fruit set in pistachio *pistacia vera* cv. Kerman. *HortScience*, 54(11), 1967-1971.

- Zwieniecki, M. A. comparison of phenological traits, growth patterns, and seasonal dynamics of non-structural carbohydrates in Mediterranean tree crop species.

En este documento se detallan los principales factores climáticos que afectan al cultivo del pistachero, como base para el entendimiento de las limitantes abióticas de la producción. Asimismo, se describen las características de su biología reproductiva, ya que al ser una especie dioica posee particularidades en el manejo de la polinización.

El gran número de inconvenientes sobre la producción como consecuencia de la falta de correspondencia entre el clima local y los requisitos de las especies vegetales cultivadas hace que la selección de sitios de producción adecuados sea clave para una producción económicamente viable y el crecimiento sostenido del pistachero en Argentina. Por ello, el objetivo principal del trabajo fue identificar y caracterizar las limitantes climáticas para el desarrollo del cultivo del Pistachero (variedad Kerman) en la Argentina y, a partir de la información generada, obtener mapas donde se visualicen diferentes áreas de aptitud climática para su desarrollo.

Para lograr este objetivo, se trabajó con datos fenológicos de producciones de Mendoza y San Juan y se utilizaron series de 11 años de datos meteorológicos relevadas de estaciones ubicadas en las provincias de Catamarca, La Rioja, San Juan, Mendoza, San Luis, La Pampa, Neuquén y Río Negro. La metodología y resultados presentados en este trabajo brindan información de gran valor para nuevas inversiones, mejorar el manejo en plantaciones en producción y determinar limitaciones de conocimiento abordar en futuros trabajos.



Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria



Ministerio
de Economía
República Argentina

Secretaría de Agricultura,
Ganadería y Pesca